

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



Tesis presentada como parte de los requisitos de la Universidad Nacional del Litoral, para la obtención del Grado Académico de: Doctor en Ciencia y Tecnología de Alimentos

TRATAMIENTOS SUAVES DE IMPREGNACIÓN POR VACIO PARA MEJORAR EL APORTE DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y LA CALIDAD SENSORIAL DE MANZANAS Y FRUTILLAS LISTAS PARA CONSUMO

Autora: Mg. María Auxiliadora Faicán Benenaula

Directora: Mg. María Élide Pirovani

Co-directora: Mg. Andrea Marcela Piagentini

Miembros del Jurado:

Dra. Sonia Cecilia SGROPPO

Dr. Raúl Esteban CIAN

Dr. Víctor Hugo ESCALONA

Área de Conservación de Alimentos

Instituto de Tecnología de Alimentos (FIQ-UNL)

2023

*Cualquier cosa es posible si tienes suficiente valor*  
*(J.K. Rowling)*

*Dedicado a:*

*Bertha y José, mis padres, mi ejemplo, mi motor, mi hogar.  
Mis hermanos, cuñada y sobrinos, la gran alegría de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis directoras Mariel Pirovani y Andrea Piagentini, por darme la oportunidad de realizar la presente tesis en el laboratorio de Conservación de Alimentos, por su valiosa dirección y orientación para que el trabajo se desarrolle de la mejor manera, gracias por su apoyo dentro y fuera del ámbito académico y las experiencias compartidas en este tiempo.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por otorgarme la beca interna doctoral que me ha permitido desarrollar la presente tesis.

Un especial agradecimiento a Mariel por transmitirme importantes conocimientos, por su tiempo, paciencia y disponibilidad para la ejecución del presente trabajo, de igual forma, por permitirme continuar con mi aprendizaje académico.

Al Instituto de Tecnología de Alimentos, en cuyas instalaciones pude ejecutar la tesis, a los profesores por los conocimientos transferidos, que me permiten desarrollarme como profesional.

A la Universidad Nacional del Litoral y la Facultad de Ingeniería Química por conceder los medios que permitieron realizar el presente trabajo.

Un agradecimiento para todos los integrantes del grupo de Conservación de Alimentos, quienes me han brindado su apoyo en el desarrollo de la presente tesis y por acompañarme también en el ámbito personal.

A mis queridos amigos del ITA y fuera de él, este tiempo habría sido diferente sin su presencia, su compañía, apoyo en las circunstancias positivas y negativas, agradezco tenerlos en mi vida, me han dado muchos momentos bonitos, entre café, mate, birra, deliciosas comidas, charlas, caminatas, experiencias de laboratorio, risas, fútbol y mucho más. Gracias a cada uno, porque estar lejos de casa ha sido llevadero con su presencia y su cariño, gracias también porque siempre aprendo algo de cada uno de Uds.

A los amigos que están lejos pero que han permanecido siempre cerca de mí a pesar de la distancia física.

A mi familia, para quienes no existe tiempo ni distancia que achique el gran amor que me dan, su presencia acompaña cada uno de mis días lejos de casa y finalmente a mi Ilich, mi compañerito de cuatro patas, por su hermosa compañía.

**El presente trabajo de Tesis dio lugar a las siguientes publicaciones:**

Faicán, M. A. F., Piagentini, A. M., & Pirovani, M. E. (2022). Vacuum impregnation of fresh-cut apples with osmotic solutions containing honey. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 75(3).

**Presentaciones en reuniones científicas:**

Faicán M, González G, Piagentini A, Pirovani M. Structural changes of fresh-cut apples subjected to mild vacuum impregnation. VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Córdoba-Argentina. Octubre del 2022

Faicán M, González G, Piagentini A, Pirovani M. Effect of vacuum impregnation time on potentially healthy properties of minimally processed strawberries impregnated by mild vacuum. VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Córdoba-Argentina. Octubre del 2022

Faicán M, González G, Piagentini A, Pirovani M. Influence of vacuum impregnation process conditions on bioactive compounds of fresh-cut apples. VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Córdoba-Argentina. Octubre del 2022

Faicán M, Piagentini A, Pirovani M. Ensayo preliminar de aplicación de impregnación por vacío sobre frutillas mínimamente procesadas para recuperar antocianinas. III Congreso Argentino de biología y tecnología postcosecha. Santa Fe-Argentina. Julio del 2021

Faicán M, Piagentini A, Pirovani M. Impregnación por vacío suave: cambios en el potencial saludable de manzanas mínimamente procesadas por adición de miel y ácidos. III Congreso Argentino de biología y tecnología postcosecha. Santa Fe-Argentina. Julio del 2021

Faicán M, Piagentini A, Pirovani M. Efecto del tiempo de vacío y relajación sobre algunos aspectos de calidad de frutillas mínimamente procesadas impregnadas por vacío suave. II Congreso Argentino de biología y tecnología postcosecha. Santiago del Estero-Argentina. Septiembre del 2019

Faicán M, Piagentini A, Pirovani M. Impregnación por vacío suave: aporte de compuestos bioactivos en frutillas mínimamente procesadas. XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de alimentos. Buenos Aires-Argentina. Noviembre del 2019.

Faicán M, Piagentini A, Pirovani M. Manzanas impregnadas por vacío suave: influencia de miel y adición de ácidos sobre algunos aspectos de calidad. 7° Congreso de Ciencias Farmacéuticas del Mercosur. Cascavel-Brasil. Noviembre del 2018.

<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>1</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>10</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1. GENERALIDADES DE FRUTILLAS, MANZANAS Y MIEL .....	14
1.1.1. Frutilla .....	14
1.1.2. Manzana .....	22
1.1.3. Miel .....	32
1.2. MÍNIMO PROCESAMIENTO DE FRUTAS .....	37
1.2.1. Etapas generales de mínimo procesamiento de frutas .....	38
1.3. LA IMPREGNACIÓN POR VACÍO (IV) COMO UN MÉTODO DE CONSERVACIÓN EN EL MÍNIMO PROCESAMIENTO DE FRUTAS.....	44
1.3.1. Fundamentos y parámetros característicos de la impregnación por vacío.....	46
1.3.3. Aplicaciones de la impregnación por vacío en frutas mínimamente procesadas .....	52
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>72</b>
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	73
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	73
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>74</b>
3.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE IMPREGNACIÓN POR VACÍO .....	75
3.2. ENSAYOS DE IMPREGNACIÓN POR VACÍO .....	76
3.2.1. Materia prima y procedimientos previos a la impregnación por vacío .....	76
3.2.2. Proceso de impregnación por vacío en frutillas .....	78
3.2.3. Proceso de impregnación por vacío en manzana .....	80
3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS .....	82
3.3.1. Determinación de parámetros de transferencia de masa .....	82
3.3.2. Sólidos Solubles, pH y contenido de humedad .....	83
3.3.3. Firmeza .....	83
3.3.4. Parámetros de color .....	84
3.3.5. Determinación de Vitamina C .....	85
3.3.6. Determinación de antocianinas totales en frutillas .....	90
3.3.9. Determinación del perfil de compuestos fenólicos en manzanas .....	95
3.3.10. Análisis microbiológicos.....	96
3.3.11. Análisis Sensorial .....	96
3.3.12. Análisis de imágenes de tejido vegetal por microscopía electrónica de barrido.	
101	
3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	101
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	105
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>107</b>
4.1. IMPREGNACIÓN POR VACÍO EN FRUTILLAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS .....	108
4.1.3. Optimización de respuestas múltiples y validación de los modelos predictivos en frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío. ....	152
4.1.4. Calidad microbiológica de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío bajo condiciones óptimas de procesamiento.....	156
4.1.5. Calidad sensorial de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío bajo las condiciones óptimas de procesamiento.....	157
4.1.6. Análisis de imágenes del tejido vegetal .....	158
4.2. IMPREGNACIÓN POR VACÍO EN MANZANAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS.....	163
4.2.1. Optimización de respuestas múltiples y validación de los modelos predictivos en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío. ....	215

4.2.2 Calidad microbiológica de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío bajo condiciones óptimas de procesamiento.....	220
4.2.3. Calidad sensorial de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío bajo las condiciones óptimas de procesamiento.....	221
4.2.4. Análisis de imágenes del tejido vegetal.....	222
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>228</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>235</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Composición nutricional en frutilla y manzana .....	29
<b>Tabla 1.2.</b> Contenido promedio de compuestos fenólicos presentes en frutilla y manzana .	30
<b>Tabla 1.3.</b> Contenido nutricional de la miel .....	34
<b>Tabla 1.4.</b> Compuestos fenólicos de la miel.....	35
<b>Tabla 1.5.</b> Estrategias de mínimo procesamiento de frutillas y manzanas para mantener su calidad y seguridad alimentaria .....	42
<b>Tabla 1.6.</b> Algunas propiedades fisicoquímicas y respuestas de impregnación por vacío en algunas frutas. ....	50
<b>Tabla 3.1.</b> Descriptores definidos para la evaluación sensorial de frutillas frescas y manzanas cortadas e impregnadas por vacío en el día de ejecución del tratamiento y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	97
<b>Tabla 3.2.</b> Diseño central compuesto con 11 corridas experimentales.....	102
<b>Tabla 4.1.</b> Ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) después del tratamiento de IV en frutillas frescas cortadas a 67,7 mbar.....	109
<b>Tabla 4.2.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) en el día 0.....	109
<b>Tabla 4.3.</b> Variación relativa de sólidos solubles ( $\Delta SS_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar. ....	114
<b>Tabla 4.4.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de sólidos solubles en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	114
<b>Tabla 4.5.</b> Variación relativa de ( $\Delta pHi$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar. ....	120
<b>Tabla 4.6.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de pH en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	120
<b>Tabla 4.7.</b> Variación relativa de firmeza ( $\Delta Fi$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar. ....	122
<b>Tabla 4.8.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de la firmeza en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	123
<b>Tabla 4.9.</b> Variación relativa de los parámetros de color ( $\Delta L^*i, \Delta a^*i, \Delta b^*i, \Delta C^*abi, \Delta habi$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	126
<b>Tabla 4.10.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	127
<b>Tabla 4.11.</b> Promedios de variación relativa de los parámetros de color ( $\Delta L^*i, \Delta C^*abi, \Delta habi$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	127
<b>Tabla 4.12.</b> Diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar. ....	129

<b>Tabla 4.13.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación total de color ( $\Delta E^*$ ) de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	129
<b>Tabla 4.14.</b> Variación relativa del contenido de antocianinas totales (ATi) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	131
<b>Tabla 4.15.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de antocianinas totales .....	131
<b>Tabla 4.16.</b> Variación relativa de las principales antocianinas presentes en frutillas ( $\Delta P3Gi$ , $\Delta C3Gi$ , $\Delta P3Ri$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	135
<b>Tabla 4.17.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	136
<b>Tabla 4.18.</b> Variación relativa del contenido de vitamina C (VCi) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	139
<b>Tabla 4.19.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de vitamina C en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	139
<b>Tabla 4.20.</b> Variación relativa del contenido de fenoles totales (FTi) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	144
<b>Tabla 4.21.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de fenoles totales en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	145
<b>Tabla 4.22.</b> Variación relativa de la capacidad antioxidante (CAi) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	148
<b>Tabla 4.23.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de la capacidad antioxidante en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	148
<b>Tabla 4.24.</b> Criterios de optimización para la aplicación de la tecnología de impregnación por vacío en frutillas frescas cortadas .....	153
<b>Tabla 4.25.</b> Valores predichos y experimentales para frutillas frescas cortadas frescas cortadas impregnadas bajo condiciones óptimas (tv=5,58 min, tr= 14 min) .....	154
<b>Tabla 4.26.</b> Valores promedios experimentales de las frutillas frescas cortadas bajo IV en las condiciones de tv y tr que optimizan el proceso. ....	155
<b>Tabla 4.27.</b> Resultados promedio del análisis sensorial descriptivo para frutillas frescas sin tratar y frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución de los tratamientos y después de 7 días de almacenamiento a 1,5 °C .....	157
<b>Tabla 4.28.</b> Ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) después del tratamiento de IV en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	163
<b>Tabla 4.29.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) en el día 0.....	164
<b>Tabla 4.30.</b> Variación relativa de sólidos solubles ( $\Delta SSi$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	171

<b>Tabla 4.31.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de sólidos solubles en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	172
<b>Tabla 4.32.</b> Variación relativa de ( $\Delta pHi$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar .....	178
<b>Tabla 4.33.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de pH en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	178
<b>Tabla 4.34.</b> Variación relativa de firmeza ( $\Delta Fi$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	180
<b>Tabla 4.35.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de la firmeza en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	180
<b>Tabla 4.36.</b> Variación relativa de los parámetros de color ( $\Delta L^*i, \Delta a^*i, \Delta b^*i, \Delta C^*abi, \Delta habi$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	186
<b>Tabla 4.37.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	186
<b>Tabla 4.38.</b> Diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	190
<b>Tabla 4.39.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación total de color ( $\Delta E^*$ ) de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	191
<b>Tabla 4.40.</b> Variación relativa de las principales antocianinas presentes en frutillas ( $\Delta AcCi, \Delta Cati, \Delta Epi$ y $\Delta Kai$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar. ....	196
<b>Tabla 4.41.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	196
<b>Tabla 4.42.</b> Variación relativa del contenido de vitamina C (VitCi) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	205
<b>Tabla 4.43.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de vitamina C en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	205
<b>Tabla 4.44.</b> Variación relativa del contenido de fenoles totales (FTi) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	209
<b>Tabla 4.45.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de fenoles totales en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	209
<b>Tabla 4.46.</b> Variación relativa de la capacidad antioxidante (CAi) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.....	211
<b>Tabla 4.47.</b> Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de la capacidad antioxidante en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	211
<b>Tabla 4.48.</b> Criterios de optimización para la aplicación de la tecnología de impregnación por vacío en manzanas frescas cortadas .....	217
<b>Tabla 4.49.</b> Valores predichos y experimentales para manzanas frescas cortadas frescas cortadas impregnadas bajo condiciones óptimas ( $t_v=5,74$ min, $t_r= 6,84$ min).....	218

**Tabla 4.50.**Resultados promedio obtenidos para las respuestas que no fueron consideradas para la optimización del proceso de impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas. .... 219

**Tabla 4.51.**Resultados promedio del análisis sensorial descriptivo para manzanas frescas sin tratar y manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución de los tratamientos y después de 7 días de almacenamiento a 1,5 °C. .... 221

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Estructura típica de la frutilla .....	15
<b>Figura 1.2.</b> Estructura básica de los flavonoides .....	18
<b>Figura 1.3.</b> Estructura química de las antocianinas.....	18
<b>Figura 1.4.</b> Compuestos fenólicos identificados en frutillas .....	20
<b>Figura 1.5.</b> Estructura típica de la manzana .....	24
<b>Figura 1.6.</b> Compuestos fenólicos encontrados en manzana.....	27
<b>Figura 1.7.</b> Efectos benéficos del consumo de miel. ....	36
<b>Figura 1.8.</b> Diagrama de flujo general para la producción de frutas frescas cortadas.....	39
<b>Figura 1.9.</b> Tecnologías de mínimo procesamiento para frutas.....	41
<b>Figura 1.10.</b> Esquema del proceso de Mecanismo Hidrodinámico (MHD).....	52
<b>Figura 1.11.</b> Micrografías de Cryo-SEM de piel de naranja y berenjena antes y después de IV .....	59
<b>Figura 1.12.</b> Micrografías SEM del de frutillas frescas y tratadas por IV.....	60
<b>Figura 1.13.</b> Micrografías TEM de tejido de frutillas frescas y tratadas por IV. ....	61
<b>Figura 1.14.</b> Micrografías SEM, del tejido de frutilla y papaya tratada por IV.....	62
<b>Figura 3.1.</b> Esquema del equipo de impregnación por vacío diseñado para el desarrollo de la tesis .....	75
<b>Figura 3.2.</b> Equipo de impregnación por vacío .....	76
<b>Figura 3.3.</b> Frutillas cultivadas en la localidad de Coronda-Santa Fe.....	77
<b>Figura 3.4.</b> Manzanas <i>var.</i> Granny Smith adquiridas en el mercado local .....	77
<b>Figura 3.5.</b> Proceso de impregnación por vacío para frutillas frescas cortadas con una solución osmótica de jugo natural de frutilla .....	79
<b>Figura 3.6.</b> Diagrama de flujo del proceso de impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas en una solución osmótica de miel a 30°Brix .....	81
<b>Figura 3.7.a)</b> Texturoméetro TA.XT Plus (Stable Micro System) empleado en el análisis b), curva de penetración tiempo(s) vs fuerza máxima (N) .....	84
<b>Figura 3.8.</b> Coordenadas de color en el sistema CIE Lab .....	85
<b>Figura 3.9.</b> Cromatógrafo líquido de alta resolución SHIMADZU serie LC-20A .....	86
<b>Figura 3.10.</b> Curva de calibrado de concentración de AAT (mg L <sup>-1</sup> ) vs área (mv.s).....	88
<b>Figura 3.11.</b> Curva de calibrado con AA del % de DPPH* remanente .....	93
<b>Figura 3.12.</b> Planilla de análisis sensorial descriptivo cuantitativo para frutillas frescas cortadas y frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío.....	99
<b>Figura 3.13.</b> Planilla de análisis sensorial descriptivo cuantitativo para manzanas frescas cortadas y manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío.....	100
<b>Figura 4.1.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo SG en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre frutillas frescas cortadas.....	110

<b>Figura 4.2.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo ganancia de sólidos (SG) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 0. ....	112
<b>Figura 4.3.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo para $\Delta SS_0$ en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre frutillas frescas cortadas.....	115
<b>Figura 4.4.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta SS_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 0. ...	116
<b>Figura 4.5.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta SS_7$ , para frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío, después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C.....	117
<b>Figura 4.6.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta SS_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío después de 7 días de almacenamiento .....	118
<b>Figura 4.7.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta F_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío.....	124
<b>Figura 4.8.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de firmeza ( $\Delta F_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día de aplicación de del tratamiento .....	124
<b>Figura 4.9.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta AT_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío.....	132
<b>Figura 4.10.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de antocianinas totales ( $\Delta AT_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero.....	133
<b>Figura 4.11.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta P3G_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío.....	136
<b>Figura 4.12.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido pelargonidin 3-O-glucósido ( $\Delta P3G_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7mbar en el día cero.....	137
<b>Figura 4.13.</b> Gráfica de interacción para el contenido pelargonidin 3-O-glucósido ( $\Delta P3G_0$ ) de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución del tratamiento....	137
<b>Figura 4.14.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta VC_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío.....	140
<b>Figura 4.15.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de vitamina C ( $\Delta VC_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero	141
<b>Figura 4.16.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta VC_7$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío.....	142
<b>Figura 4.17.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de vitamina C ( $\Delta VC_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	143

<b>Figura 4.18.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta FT_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío .....	146
<b>Figura 4.19.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de fenoles totales ( $\Delta CFT_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar .....	146
<b>Figura 4.20.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta CA_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío.....	150
<b>Figura 4.21.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de la capacidad antioxidante ( $\Delta CA_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero	150
<b>Figura 4.22.</b> Micrografías electrónicas de barrido de la superficie de frutillas en el día cero .....	159
<b>Figura 4.23.</b> Micrografías electrónicas de barrido de la superficie de frutillas en el día 7 ..	161
<b>Figura 4.24.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo SG en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre manzanas frescas cortadas .....	164
<b>Figura 4.25.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo ganancia de sólidos (SG) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 0. ....	165
<b>Figura 4.26.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo SG en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre manzanas frescas cortadas .....	166
<b>Figura 4.27.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo pérdida de agua (WL) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 0. ....	167
<b>Figura 4.28.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo WR en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre manzanas frescas cortadas .....	168
<b>Figura 4.29.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo reducción de peso (WR) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar el día 0 .....	169
<b>Figura 4.30.</b> Gráfica de interacción para la reducción de peso (WR) de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución del tratamiento.....	170
<b>Figura 4.31.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo para $\Delta SS_0$ en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre manzanas frescas cortadas ..	173
<b>Figura 4.32.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta SS_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero	173
<b>Figura 4.33.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta SS_7$ , para manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío, después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C.....	175
<b>Figura 4.34.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta SS_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C .....	176
<b>Figura 4.35.</b> Gráfica de interacción para la variación de sólidos solubles al día siete ( $\Delta SS_7$ ) de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío .....	176

<b>Figura 4.36.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta F_0$ , para manzanas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío .....	181
<b>Figura 4.37.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta F_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar, en el día de aplicación del tratamiento .....	182
<b>Figura 4.38.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta F_7$ , para manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día siete. ....	183
<b>Figura 4.39.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta F_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 7. ....	184
<b>Figura 4.40.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta a^*_0$ , para manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día siete .....	187
<b>Figura 4.41.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del parámetro de color a ( $\Delta a^*_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día de ejecución del tratamiento .....	188
<b>Figura 4.42.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta E^*_0$ , para manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día cero.....	192
<b>Figura 4.43.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo diferencia total de color ( $\Delta E^*_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día de ejecución del tratamiento. ....	193
<b>Figura 4.44.</b> Gráfica de interacción para la diferencia total de color en el día cero ( $\Delta E^*_0$ ) de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío .....	193
<b>Figura 4.45.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta AcC_0$ , para manzanas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío .....	197
<b>Figura 4.46.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de ácido clorogénico ( $\Delta AcC_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero.....	198
<b>Figura 4.47.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta Cat_7$ , para manzanas frescas cortadas en el día siete.....	199
<b>Figura 4.48.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de catequina ( $\Delta Cat_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día siete. ....	200
<b>Figura 4.49.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta Ka_0$ , para manzanas frescas cortadas en el día de aplicación del tratamiento .....	202
<b>Figura 4.50.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de catequina ( $\Delta Ka_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día de aplicación del tratamiento. ....	203
<b>Figura 4.51.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta VitC_0$ , para manzanas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío .....	206

<b>Figura 4.52.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de vitamina C ( $\Delta\text{VitC}_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero. .....	207
<b>Figura 4.53.</b> Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo $\Delta\text{CA}_0$ , para manzanas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío .....	212
<b>Figura 4.54.</b> Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de la capacidad antioxidante ( $\Delta\text{CA}_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero, .....	213
<b>Figura 4.55.</b> Micrografías electrónicas de barrido de la superficie de manzanas en el día cero .....	223
<b>Figura 4.56.</b> Micrografías electrónicas de barrido de la superficie de manzanas en el día siete .....	226

## RESUMEN

El trabajo de tesis tuvo como objetivo optimizar la tecnología aplicada en el procesamiento y conservación de frutillas y manzanas mínimamente procesadas, poniendo énfasis en la retención y/o incremento del potencial saludable mejorando también sus propiedades sensoriales, mediante la aplicación de tratamientos de impregnación por vacío suave (IV).

La optimización del proceso de IV se realizó empleando la metodología de superficie de respuesta. Se modeló el efecto del tiempo de vacío ( $t_v = 1,14-14$  min) y el tiempo de relajación ( $t_r = 1,14-14$  min) sobre los atributos de calidad de frutillas y manzanas.

Para el caso de las frutillas, las condiciones de proceso fueron ( $P=67,7$  mbar, relación fruta:solución osmótica = 1:10 p/p,  $T=22^\circ\text{C}$ , solución osmótica (SO) isotónica de jugo natural de frutilla con adición de 1% de ácido ascórbico (AA) y 1% de ácido cítrico (AC). De la misma manera se estudió la IV en manzanas frescas cortadas empleando una SO de miel a 30°Brix con adición del 0,5% de AA y 0,5% de AC. Se evaluaron los parámetros de transferencia de masa (%): ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) y cambio total de color ( $\Delta E^*_0$ ) en referencia a la materia prima. Asimismo, se determinó la variación porcentual ( $\Delta i$ ): contenido de sólidos solubles ( $SS_i$ ), pH, firmeza ( $F_i$ ), parámetros de color ( $L^*_i$ ,  $a^*_i$ ,  $b^*_i$ ,  $C^*_{abi}$  y  $h_{abi}$ ), antocianinas totales ( $AT_i$ ), vitamina C ( $VC_i$ ), perfil de compuestos fenólicos Pelargonidin-3-O- Glucósido ( $P3G_i$ ), cianidin 3-O-glucósido ( $C3G_i$ ), pelargonidin 3-O-rutinósido ( $P3R_i$ ), ácido clorogénico ( $AcC_i$ ), catequina ( $Cat_i$ ), epicatequina ( $Epi$ ), kaempferol ( $Ka_i$ ), fenoles totales ( $FT_i$ ), actividad antioxidante ( $CA_i$ ), tanto en el día de procesamiento ( $i=0$ ) como luego de 7 d de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$  ( $i=7$ ).

Se obtuvieron modelos predictivos para frutillas: %SG,  $\Delta F$ ,  $\Delta AT$ ,  $\Delta P3G$ ,  $\Delta VC$ ,  $\Delta FT$  y  $\Delta CA$  en el día cero. A partir de los modelos para cada respuesta se procedió a optimizar el proceso, buscando mejorar el aporte de compuestos bioactivos o reponer su pérdida durante el mínimo procesamiento. Se determinaron las condiciones óptimas de  $t_v$  y  $t_r$ , empleando la función de deseabilidad de Derringer. Para ello se fijaron las siguientes funciones objetivo en las respuestas maximizar el contenido de antocianinas totales, pelargonidin 3-O-glucósido, fenoles totales, capacidad

antioxidante y minimizar la ganancia de sólidos y el contenido de vitamina C. Las condiciones óptimas de proceso obtenidas fueron  $t_v = 5,8$  min y  $t_r = 14,0$  min. Se efectuaron ensayos de validación bajo los tiempos establecidos que incluyeron, además, análisis microbiológicos, análisis sensorial descriptivo cuantitativo y análisis de imágenes por microscopía electrónica de barrido (SEM). El ensayo de validación mostró concordancia entre los valores experimentales obtenidos y los predichos para las respuestas; %SG,  $\Delta F$ ,  $\Delta AT$ ,  $\Delta P3G$ ,  $\Delta FT$  y  $\Delta CA$ , sin embargo, el valor de VC fue mayor al predicho. Efectivamente se consiguió una mejora en el potencial bioactivo de la frutilla tratada dado que se incrementó el contenido de antocianinas totales (12,25%), pelargonidin-3-O- glucósido (15,80%), vitamina C (108,29%), fenoles totales (4,52%) y capacidad antioxidante (19,15%). Por otro lado, se obtuvo una ligera pérdida de sólidos de un 0,43% y reducción de la firmeza de aproximadamente el 21%. La calidad microbiológica de la fruta impregnada fue adecuada, en el día 0 y 7. El análisis sensorial descriptivo cuantitativo indicó que no se evidenciaron diferencias entre frutillas tratadas por IV respecto la fruta fresca sin tratar en el día 0, sin embargo, en el día 7 las frutillas tratadas presentaron un moderado olor y sabor extraños. Respecto al análisis SEM, se observaron diferencias, la fruta tratada mostró descompartmentalización celular, espacios intercelulares amplios, paredes celulares deformadas, situaciones que fueron más notorias en el día 7, incluyendo ruptura de la pared celular.

En el caso de manzanas, se obtuvieron modelos predictivos para: %SG, % WL, %WR,  $\Delta SS$ ,  $\Delta F$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta E^*$ ,  $\Delta VC$ ,  $\Delta AcC$ ,  $\Delta VC$  y  $\Delta CA$  en el día 0. A partir de los modelos se procedió a optimizar el proceso haciendo uso de la función de Derringer con el objetivo de mejorar el aporte de compuestos bioactivos de la fruta y retrasar el pardeamiento de la misma. Se determinaron las condiciones óptimas de  $t_v$  y  $t_r$ , con las siguientes funciones objetivos: maximizar ganancia de sólidos, sólidos solubles, las variaciones porcentuales de firmeza, vitamina C, ácido clorogénico y capacidad antioxidante, minimizar pérdida de agua, reducción de peso, cambio total del color y la variación porcentual de  $a^* = 0\%$ . Las condiciones óptimas de proceso obtenidas fueron  $t_v = 5,7$  min y  $t_r = 6,8$  min. Se efectuaron ensayos de validación bajo dichas condiciones, que incluyeron, además, análisis microbiológicos, análisis sensorial descriptivo cuantitativo y análisis de imágenes por SEM. El ensayo de validación

mostró acuerdo entre los valores experimentales obtenidos y los predichos para las respuestas; %SG, %WL, %WR,  $\Delta$ SS,  $\Delta$ F,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta E^*$  y  $\Delta$ CA, sin embargo, los valores de VC y AcC fueron mayores que los predichos. Se consiguió mejorar el potencial bioactivo de las manzanas tratadas alcanzando aumentos en el contenido de vitamina C (>8000%), ácido clorogénico (151%), capacidad antioxidante (223,5%). Asimismo, se alcanzó una SG de 2,81%, WL de 2,12% y ganancia de agua de 0,70%, incrementos de SS= 25,5% y del parámetro  $a^*$ = 31,1% y se evidenció una diferencia total de color perceptible ( $\Delta E^*$ = 4,8) entre fruta tratada, respecto a la fruta fresca. Se presentó disminución de la firmeza en un 14%.

Por otro lado, la calidad microbiológica de la manzana impregnada fue satisfactoria, en el día 0 y 7. El análisis sensorial descriptivo cuantitativo mostró características similares entre fruta tratada respecto la fruta fresca el día 0, sin embargo, la manzana impregnada presentó olor y sabor a miel con mejor apariencia respecto a la fruta sin tratar, en el día 0 y 7, se presentó pardeamiento leve en el día cero; asimismo en el día 7, posiblemente debido al color de la miel impregnada en la fruta que es más oscuro, asimismo las frutas IV fueron menos firmes y el sabor típico fue menos perceptible con presencia de leve sabor extraño. El análisis de imágenes por SEM, arrojó diferencias entre la manzana fresca y tratada, se pudo observar extensión y deformación de las paredes celulares, espacios intercelulares más grandes y cierta ruptura celular en la fruta tratada en el día 0, mientras que en el día 7 se observó descompartimentalización de las células, deformación celular y mayor ruptura de la pared celular.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. GENERALIDADES DE FRUTILLAS, MANZANAS Y MIEL

### 1.1.1. Frutilla

#### *Generalidades sobre el cultivo y producción*

La producción mundial de frutillas ha crecido un 42% entre los años 2009 y 2019 (2,6 millones de toneladas), en la actualidad la producción mundial es de 8,89 millones de toneladas, tres países representan el 50% de la producción, la mayor participación la tiene China (36%), seguida de Estados Unidos (11%) y México (10%); y la mayor parte de la exportación mundial (58%) corresponde al producto en fresco, mientras que el resto (42%) corresponde al producto congelado (FAO, 2019).

El cultivo de frutillas en Argentina tiene lugar primordialmente en el área metropolitana de Buenos Aires y en la zona de Mar del Plata (provincia de Buenos Aires), en Lules (Tucumán) y en Coronda (Santa Fe). Si bien en estas localidades se encuentra la mayor parte del área implantada, también se cultiva en provincias del NOA, del NEA y en la Norpatagonia (Carciofi et al., 2021). En todo el país hay alrededor de 1700 hectáreas de frutilla y se calcula que el consumo promedio por persona es de 1 kg/año (Garbuslky, 2022). Las provincias de Santa Fe, Tucumán y Buenos Aires representan alrededor del 70% de la producción total del país. Aproximadamente el 60% de la fruta se consume fresca y el 40% se procesa.

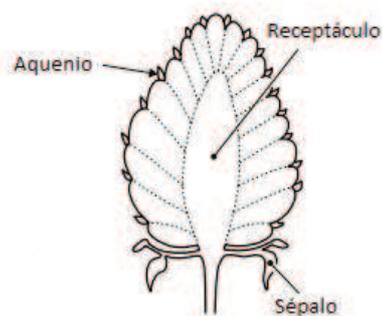
En la provincia de Santa Fe, se cosecha frutilla en las zonas de Arroyo Leyes, Santa Rosa de Calchines y principalmente en Coronda, en donde, actualmente hay 90 frutilleros y cultivan cerca de 320 hectáreas y producen entre 9 y 10 millones de kilos por temporada. La mitad de lo producido va al mercado como producto fresco y el otro 50% a la industria (Revista Agroclave, 2021). En esta zona se ubican numerosas agroindustrias dedicadas a su procesamiento, elaborándose pulpas, congelados, mermeladas y dulces. El cultivo de frutilla en

Santa Fe se caracteriza por la amplia difusión de tecnologías de desinfección de suelo, micro túneles y macro túneles (Sordo et al. 2017).

### ***Estructura y composición***

Las frutillas pertenecen al género *Fragaria*, ya la familia Rosaceae. La variedad de frutillas de mayor importancia cultivadas en la actualidad corresponde a un híbrido de dos especies del nuevo mundo *Fragaria virginiana* Duch y *Fragaria chiloensis* (L.) Duch, y se designa como *Fragaria x ananassa* Duch (Husaini y Zaki. 2016).

El cultivo *Fragaria x ananassa* forma parte regular de la dieta de millones de personas, debido a su delicado sabor y contenido de vitaminas, la frutilla se cultiva en todas las regiones cultivables del mundo desde el ártico hasta zonas tropicales. El fruto de la frutilla es un “agregado” o “falso” y está compuesto de numerosos ovarios, cada uno con un solo óvulo, se lo llama agregado o falso ya que cubre a las semillas llamadas aquenios que son el verdadero fruto. El embrión consta de dos grandes cotiledones semielípticos que contienen proteína y grasa, pero no almidón. El receptáculo está compuesto por una capa epidérmica, una corteza y una médula. Las dos últimas capas están separadas por haces vasculares que suministran nutrientes a los embriones en desarrollo (Figura 1.1).



**Figura 1.1.** Estructura típica de la frutilla

La frutilla es un fruto no climatérico ya que su maduración se inicia y progresa sin que se produzca un pico en la producción de etileno ni un aumento en la respiración, su madurez se genera en la planta (Giovannoni, 2001).

Por otra parte, las frutillas contienen muchos elementos dietarios incluyendo vitaminas, minerales, folato y fibra, además es una rica fuente de compuestos fitoquímicos, en su mayoría representados por los polifenoles. En ese sentido, las frutillas se constituyen en una opción de consumo saludable. En primer lugar, por su fibra dietaria y contenido de fructosa presente en la misma, contribuye a la regulación de los niveles de azúcar en la sangre por digestión lenta, su alto contenido en fibra contribuye al control de la ingesta de calorías debido a su efecto saciante. Asimismo, aunque en menor medida, las frutillas son una fuente de ácidos grasos saludables debido a la presencia de aceite proveniente de los aquenios, es rico en ácidos grasos insaturados ( $\approx 72\%$ ); asimismo se ha reportado la presencia de carotenoides y tocoferoles (Tabla 1.1) (Giampieri et al. 2012).

Las frutillas constituyen una fuente importante de vitamina C, asimismo contiene folato; esta fruta es uno de los recursos naturales más ricos en este último micronutriente esencial; su contenido está considerado en el rango de 20 a 25  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  de peso fresco. De acuerdo a los datos disponibles, la ingesta de folato dietario mediante el consumo de frutillas es interesante, por ejemplo, 250 g de frutillas ( $\approx 60\ \mu\text{g}$  de folato en promedio), pueden suplir el 30% de la ración diaria de folato recomendada en Europa y Estados Unidos (Giampieri et al., 2012). Esta fruta también, aunque en menor medida, es una fuente de algunas otras vitaminas como tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B6, vitamina K, vitamina A y vitamina E.

Esta fruta además es rica en manganeso, una porción correspondiente a 8 frutos de tamaño medio, equivalen a 144 g y pueden proveer más de 20% de la ingesta diaria adecuada para este mineral. La misma porción de frutillas puede abastecer alrededor del 5% de la ingesta adecuada de potasio, y ha sido calificada como una buena fuente de yodo, magnesio, cobre, hierro y fósforo. Además de estos compuestos nutritivos las frutillas contienen una variedad de compuestos no nutritivos como los fitoquímicos fenólicos (flavonoides, ácidos fenólicos, lignanos y taninos) (Giampieri et al., 2012).

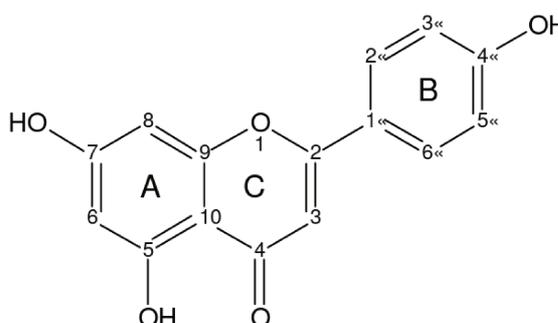
Los ácidos orgánicos son los componentes menores en frutillas, pero son importantes para el sabor y en combinación con los azúcares, tienen un impacto importante en la calidad sensorial de las frutillas. Existen varias diferencias en el contenido de ácidos orgánicos entre los distintos genotipos. Los dos principales ácidos orgánicos presentes en las frutillas son málico y cítrico. El ácido cítrico se encuentra en mayor cantidad (entre 82-84%) (Gündüz, 2015).

El contenido de azúcar es importante para el sabor de las frutillas y está altamente correlacionada con la aceptación por parte del consumidor. Glucosa, fructosa y sacarosa son por lejos los componentes solubles más abundantes en las frutillas; se ha visto que los niveles de sacarosa son muy bajos, y sus niveles son bajos en comparación con fructosa y glucosa. Las cantidades de fructosa y glucosa en la fruta son un tanto diferentes, dependiendo del genotipo (Gündüz, 2015).

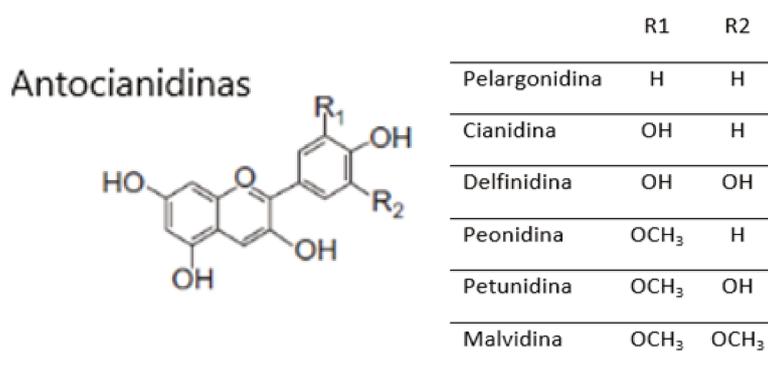
Por otra parte, las frutillas son una buena fuente de polifenoles. Los compuestos fenólicos son producto del metabolismo de las plantas y son conocidos por su actividad antioxidante, dichos compuestos están conformados por uno o más anillos aromáticos, unido a uno o más grupos hidroxilo (Figura 1.2). Se encuentran en los alimentos en un rango de tamaño que va desde moléculas simples a oligómeros grandes. Están generalmente como glucósidos y los azúcares adjuntos hacen a estos compuestos más solubles en el agua (Gündüz, 2015). Los flavonoides, y en particular las antocianinas, comprenden aproximadamente el 40% del total de los compuestos fenólicos en frutillas. Como se indicó anteriormente, los compuestos fenólicos están glucosilados, en ese sentido, las antocianidinas en la naturaleza están invariablemente glucosiladas, formando antocianinas, la mayoría de glucosilaciones ocurren en el carbono 3, aunque también son comunes en los carbonos 7 y 5. No presentan un grupo cetona en el carbono 4 y poseen un OH en el C3, y dos dobles enlaces en el anillo C; debido a sus características estructurales son los únicos flavonoides iónicos. El esqueleto básico de las antocianidinas es el catión flavilo, lo que confiere a estos flavonoides propiedades únicas: constituyen el grupo más grande y probablemente el más importante de pigmentos vegetales solubles en

agua y su color cambia en relación al pH de la matriz como se puede ver en la Figura 1.2. (Laura et al.,2019). Las antocianinas más abundantes en las frutillas son pelargonidin-3-Glucósido, junto con cianidin-3-glucósido y pelargonidin-3-rutinosido (Moreno et al., 2014).

Las antocianinas dan coloración a diferentes frutas que pueden ir desde el color rojo hasta el azul (Moreno et al., 2014), dependiendo del pH toman distintos colores; un bajo pH produce color rosa; en condiciones neutras se genera un color púrpura y en condiciones básicas, el color es amarillo verdoso; volviéndolas un indicador natural de pH. Si el pH es muy alcalino, son incoloras (Laura *et al.*,2019).



**Figura 1.2.** Estructura básica de los flavonoides



**Figura 1.3.** Estructura química de las antocianinas.

Adaptado de: Laura *et al.*,2019

Las antocianinas protegen a la planta de los efectos de la radiación UV y contra la contaminación viral y microbiana; además atraen a los polinizadores y por ende sus semillas se dispersan. Adicionalmente, se conoce que las antocianinas juegan un rol importante en tratamientos de prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, entre otras; asimismo tienen beneficios antiinflamatorios sobre la salud humana (Moreno et al., 2014). Estos compuestos presentan alta actividad antioxidante; diferentes estudios han demostrado su contribución significativa sobre la capacidad antioxidante total. Las frutas ricas en compuestos fenólicos (principalmente antocianinas), a menudo contienen las capacidades antioxidantes más altas. Existe una fuerte correlación entre el contenido de fenoles totales, antocianinas, mientras más altos son sus valores, la capacidad antioxidante es mayor. La concentración de antocianinas en las diferentes variedades de frutillas es distinta, incluso se han visto diferencias en la misma variedad, dependiendo de la fecha de cosecha, indicando la fuerte influencia del grado de madurez, factores climáticos y almacenamiento postcosecha sobre el contenido de antocianinas.

La importancia de la capacidad antioxidante de este tipo de elementos radica en que, los antioxidantes neutralizan las moléculas que se generan después del metabolismo de productos en el cuerpo humano, que, aunque son de vida corta, tienen efectos negativos, estos son llamados radicales libres. Si los radicales libres se producen en gran cantidad, generan daños en el grado de citoblastos y pueden causar tumores que a su vez generan cáncer, como resultado de algunas clases de activación de enzimas. Es así que una dieta rica en antioxidantes disminuye este riesgo. Los flavonoides de las frutillas son una fuente importante de compuestos fenólicos con capacidad antioxidante (Gündüz, 2015).

De igual forma, a más de las antocianinas, existen otros compuestos fenólicos en las frutillas, tales como flavonoles, que se encuentran en grandes cantidades, incluida la quercetina 3-O-glucorónido; asimismo se pueden encontrar monómeros de flavan-3-ols como la catequina, epicatequina, galocatequina, galato, epicatequingalato y galato de epilocatequina, junto con proantocianidinas, los cuales son dímeros o polímeros que son conocidos como

taninos condensados; también están presentes los elegitaninos y conjugados del ácido elágico, conjugados del ácido cinámico (Figura 1.4) (Moreno et al., 2014).



**Figura 1.4.** Compuestos fenólicos identificados en frutillas

Adaptado de: Moreno *et al.*, 2014

### ***Efectos sobre la salud del consumidor***

Los antioxidantes presentes en la frutilla tienen la capacidad de combatir el estrés oxidativo, se ha reportado que el consumo de frutillas puede tener un potencial efecto benéfico en la salud humana. Se han reportado de manera particular en estudios de intervención en humanos que el consumo de frutillas está asociado con una disminución en la prevalencia de enfermedades cardiovasculares, como lo demuestran las mejoras en varios marcadores plasmáticos, como el colesterol LDL y la lipemia postprandial, entre otros (Moreno *et al.*, 2014). Van de Velde *et al.*, (2019); estudiaron las propiedades antiinflamatorias de compuestos fenólicos en extractos obtenidos de frutillas *var* San Andrés y zarzamoras *var* Black Satin; se evaluaron extractos enriquecidos con antocianinas (AEF) y enriquecidos con proantocinidinas (PEF), los extractos PEF mostraron alta reducción de las especies reactivas de oxígeno, en comparación con los AEF. De igual forma, los extractos con polifenoles de frutilla fueron más activos en contra de la expresión genética de las citoquinas proinflamatorias IL-1 $\beta$  y IL-6; en comparación con las zarzamoras; siendo a su

vez los PEF más activos que los AEF, suprimiendo la expresión genética de las citoquinas mencionadas en un 75%, asimismo PEF tuvo una fracción más activa en contra de óxido nítrico sintasa, inhibiendo en un 50% su expresión genética. Por otra parte, en la evaluación del proceso de cicatrización de heridas, se observó que los AEF para las dos frutas estudiadas, generaron una migración de fibroblastos de alrededor del 50% de lo registrado para el control positivo, lo que indica una mejoría en el proceso de cicatrización, siendo los compuestos polifenólicos de estas frutas, una alternativa natural para la cicatrización, por lo tanto, a investigación en esta área merece ser explorada más a fondo. En otro estudio, Van de Velde *et al*, (2019), evaluaron los cambios en la capacidad antioxidante, antiinflamatoria y las propiedades de curación de heridas de frutillas después del almacenamiento en atmósferas enriquecidas en O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>; en ese sentido, se ha indicado que el uso de atmósferas con altas concentraciones de estos compuestos, extienden la vida útil de frutillas pero también , se ha visto que atmósferas con concentración de O<sub>2</sub> superior al 60%, promueven la síntesis de compuestos fenólicos por parte de la fruta como una respuesta fisiológica al estrés por activación del mecanismo fenilpropanoide, en relación a esto, los investigadores encontraron que el almacenamiento de frutillas con 70% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> mantuvieron o disminuyeron ligeramente las propiedades de antioxidantes, antiinflamatorias, después 20 días de almacenamiento. Sin embargo, al trabajar con atmósferas 90% O<sub>2</sub> + 10% CO<sub>2</sub> se obtuvo mejoría de la capacidad antioxidante, se incrementó la reducción de la expresión de genes proinflamatorios, tales como Cox-2 e iNOS, asimismo se promovió una mayor migración de fibroblastos mejorando la cicatrización de heridas, después de 5 y 10 días de almacenamiento, esto indica que a más de las propiedades beneficiosas inherentes a la fruta fresca, existen diferentes alternativas para mejorar la bioactividad de las frutillas.

## 1.1.2. Manzana

### ***Generalidades sobre el cultivo y producción***

La producción mundial de manzana fue de aproximadamente 81,6 millones de toneladas durante la temporada 2021/2022, logrando un incremento del 15% respecto al obtenido a principios de la década anterior, el mayor productor es China que contribuye con el 55% del volumen global, seguido de la Unión Europea con un 15% del volumen mundial, Estados Unidos (5,3%), el mayor productor de manzana en el hemisferio sur es Chile, aportando el 1,3% de la producción total mundial (Marabol, 2022).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos hizo su pronóstico para la actividad frutícola de la Norpatagonia y proyectaron que la producción de manzanas frescas a 2021/22 aumentará solo en un 2%, y la estimó en 570.000 toneladas.

En Argentina, la provincia de mayor producción de manzana es Río Negro, seguida de Neuquén y Mendoza. Las principales variedades son Red Delicious y sus clones (84%), *Granny Smith* (4%) y otras (12%) (principalmente Gala) (INTA, 2016). La producción de Argentina se proyecta en más de 563 mil toneladas. Las principales variedades de manzanas que se producen en Argentina son: *Red Delicious*, *Granny Smith*, *Fuji*, *Royal Gala*, *Rome Beauty*, *Red Chief*, *Braeburn*. Dentro de la producción de manzana, el 41% se destina a la industria, como materia prima, el 42% al mercado interno y el 17% a la exportación (Danasa, 2018).

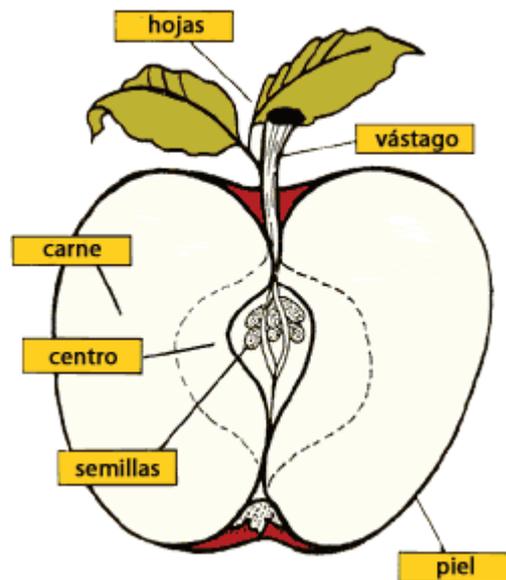
La manzana es el segundo producto de exportación en Argentina, con una participación del 20% del total exportado, en 2020 las exportaciones fueron del 12,2% menos en comparación con 2019 y el nivel más bajo desde 2002. Su valor registra una tendencia descendente, aunque bajo un horizonte de tiempo más largo (desde 2011), esta tendencia obedece principalmente a una menor oferta exportable (por la retracción de la producción) (Ministerio de Desarrollo Productivo de Argentina, 2022). La principal limitante para el cultivo de manzano

en regiones más templadas de Argentina como la región central de la Provincia de Santa Fe, es el requerimiento de horas de frío. Las variedades menos exigentes originalmente necesitan un mínimo de 700 horas de frío al año, pero como resultado del mejoramiento genético, existen variedades con exigencias menores a las 400-500 horas de frío. Los principales cultivares de bajo requerimiento de frío utilizados en Argentina son *Anabela*, *Caricia*, *Eva* y *Princesa*. La producción se distribuye en las provincias de Córdoba, Misiones, y Santa Fe como una alternativa productiva para la región. Su producción y superficie cultivada es pequeña, sin embargo, es posible observar un aumento paulatino de la misma. Dichas variedades tienen la ventaja de que se cosechan en verano, pero antes que las de otras regiones, época en que disminuye la oferta de manzanas provenientes del sur del país (Rio Negro y Neuquén) (Rodríguez-Arzuaga, 2015)

### ***Estructura y composición***

El género de las manzanas, *Malus*, pertenece a la subfamilia Pomoideae de la familia Rosaceae. Otro árbol frutal importante, el peral (*Pyrus*), pertenece a la misma subfamilia. Hay más de 30 especies primarias de manzana y la mayoría se pueden hibridar fácilmente (Hancock et al., 2008).

La manzana es una fruta de pomo o pomácea, es un fruto carnoso complejo, resultado del desarrollo del ovario de la flor y de los tejidos que lo envuelven. Tiene forma más o menos redondeada y su zona central está dividida en cinco partes, una por carpelo, en el cual resguardan a las semillas, su piel puede tener diferente color según la variedad, las células de la piel tienen pared celular con celulosa no modificada que le dan permeabilidad permitiendo la migración de agua e intercambio gaseoso, asimismo es una barrera de protección del fruto y un índice de calidad visual (Figura1.5) (Sinha, 2006).



**Figura 1.5.**Estructura típica de la manzana

La manzana es una de las frutas de mayor consumo ya que es bien tolerada por la mayoría de personas y puede combinarse sin problemas con cualquier otro alimento, contiene compuestos que confieren a la fruta su carácter antioxidante, por lo tanto, es recomendada en dietas de prevención de riesgo cardiovascular, degenerativas y cáncer. Desde el punto de vista nutritivo, la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta y, su consumo habitual, en fresco, reporta grandes beneficios para la salud. Es rica en fibra y entre su contenido mineral sobresale el potasio, necesario para la transmisión, generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, e interviene en el equilibrio de agua fuera y dentro de la célula (Boyer y Liu, 2004).

El 85% de la composición de una manzana es agua y dentro la fracción sólida, entre el 12 y 14% corresponde a carbohidratos, siendo este el macro componente mayoritario en el fruto. Aproximadamente el 80% de los carbohidratos presentes en las manzanas son azúcares solubles y el contenido total de fibra dietaria es de alrededor del 2% (Sinha et al.,2012). Los azúcares contribuyen a la calidad nutricional y sensorial de las manzanas. Fructosa, glucosa, sacarosa y sorbitol son los predominantes, y en menor medida están

presentes otros compuestos como D-Xilosa, galactosa, arabinosa, manosa y maltosa (Fuleki et al., 1994). Por otra parte, la manzana contiene sustancias pécticas, entre el 0,5-1%. El contenido de proteínas es bajo, se ha identificado que juega un rol importante en la fisiología de maduración del fruto. Por otra parte, los principales aminoácidos que se encuentran en esta fruta son: alanina, aspartato, serina y ácido glutámico (Wu et al., 2007).

El contenido total de lípidos presentes en la manzana es de aproximadamente 0,17%, siendo los ácidos grasos de mayor predominancia el palmítico y el linoleico con un contenido de entre el 70-80% (Jihong, 2007). En un estudio sobre la composición lipídica en la semilla de distintas variedades se identificó que los ácidos grasos presentes en mayor proporción son el ácido palmítico (5,8–8,3%), oleico (20,7–29%) y linoleico (59,4–68%) y se encontró también fitoesteroles y escualeno (isoprenoide con actividad antioxidante y precursor de esteroides, colesterol y vitamina D) (Gornás y Seglina, 2014).

En cuanto a su composición de ácidos orgánicos, el ácido málico representa aproximadamente el 90% del contenido de ácido de las manzanas; los ácidos: cítrico, succínico, y trazas de otros ácidos conforman el resto (Ackermann y Amado, 1992)

La manzana además es una fuente de vitaminas, el tipo y la cantidad de vitaminas en esta fruta, depende de la variedad, siendo la vitamina C la de mayor importancia. Se reportó que variedades producidas en Alemania tienen mayor contenido de vitamina C (hasta 26,4 mg/100 mg) (Hulme, 1971). Las manzanas contienen Vitamina A, y se han identificado pequeñas cantidades de vitaminas del complejo B como ácido pantoténico, ác. Nicotínico, tiamina. Es también una fuente discreta de vitamina E (Hulme, 1971).

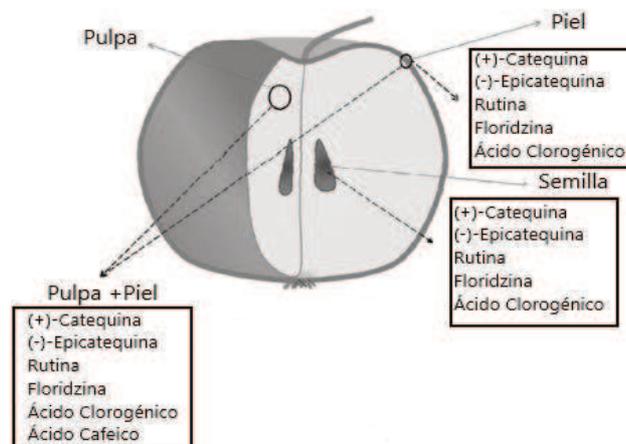
Los minerales son muy importantes en la bioquímica de la manzana. El potasio, el fósforo y el calcio son los minerales de mayor importancia y su deficiencia afecta notablemente el comportamiento fisiológico del fruto. La función del potasio es la regulación de la acidez; variedades con mayor acidez tienen un contenido más alto. El fósforo participa en la generación de

compuestos de energía para procesos de síntesis. El calcio, se ha relacionado con la firmeza del fruto (Dražeta, 2002).

El contenido de fibra es de alrededor del 2%, existiendo fibra soluble y no soluble compuesta generalmente por polisacáridos (Pectinas, hemicelulosa y celulosa). Renard, 1991, determinó que el contenido de fibra es mayor en la cáscara que en la pulpa. La fibra principalmente está compuesta por ácido galacturónico (32,5% de fibra insoluble total) y glucosa (43,1% de fibra soluble total) y seguido de arabinosa (6-9%).

### ***Compuestos fenólicos***

La manzana presenta alta actividad antioxidante que se debe principalmente a su contenido en fenoles y flavonoides, la presencia de estos compuestos fitoquímicos tiene beneficios importantes sobre la salud. La concentración de estos compuestos dependerá de factores como: variedad, cosecha, almacenamiento, procesamiento y también varía entre la piel y la pulpa. Los componentes encontrados en la cáscara son: procianidinas, catequina, epicatequina, ácido clorogénico, floridzina, y conjugados de quercetina. En la pulpa existen algunas catequinas, procianidinas, epicatequinas y floridzina, en bajas concentraciones en relación con la cáscara. Los conjugados de quercetina se encuentran exclusivamente en la cáscara, por lo tanto, ésta tendrá mayor actividad antioxidante y alta bioactividad (Figura 1.6) (Boyer y Liu, 2004). Por otra parte, según Vrhovsek *et al.*, (2004), existe gran diferencia en el contenido de polifenoles totales entre las distintas variedades de manzana y encontraron que el contenido total en 8 variedades está entre 66,2 -219,9 mg/100 g de fruta fresca. El almacenamiento en general, no afecta de manera significativa el contenido de fitoquímicos, sin embargo, el procesamiento de la manzana para obtención de jugo resulta en una disminución significativa de compuestos fenólicos, ya que quedan retenidos en la cáscara que es eliminada en el proceso (Boyer y Liu, 2004; Piagentini y Pirovani, 2017).



**Figura 1.6.** Compuestos fenólicos encontrados en manzana  
Adaptado de: Francini y Sebastiani, 2013

### ***Efectos sobre la salud del consumidor***

Las manzanas son populares, debido a la gran cantidad de formas en las que pueden ser consumidas, su conveniencia y durabilidad, esta fruta se ha convertido en un símbolo de salud: “An apple a day keeps the doctor away”, es un aforismo que hace referencia al aporte positivo a la salud por parte de este fruto (Janick y James N, 1996). En ese sentido, existe una asociación positiva entre los compuestos presentes en las manzanas y los beneficios sobre la salud. La ingesta generalizada y creciente de manzanas y jugos o productos de manzana y su rico perfil fitoquímico sugieren su importante potencial sobre la salud de las poblaciones que los consumen. Existen estudios *in vitro* e *in vivo* que indican que estas frutas pueden reducir el riesgo de enfermedades crónicas por varios mecanismos, incluyendo actividad antioxidante, antiproliferativa y efectos sobre la señalización celular (Hyson, 2011). Existen diferentes estudios que han demostrado los efectos quimiopreventivos de los polifenoles dietéticos, especialmente las subclases más abundantes, que incluyen los flavonoides (60% del total de polifenoles) y los ácidos fenólicos (30% del total) (Tu *et al.*, 2017).

Tu *et al.* (2017), a través de estudios *in vivo*, encontraron que adicional a la capacidad antioxidante de las manzanas, sus compuestos fenólicos tienen

efectos significativos sobre las vías de señalización que controlan la supervivencia, crecimiento y proliferación celular y, han demostrado que el flavonoide floretina, presente en esta fruta, inhibe la proliferación e induce la apoptosis de células de cáncer de pulmón, dependiendo de la dosis; asimismo, la floretina potencia significativamente el ADN inducido por paclitaxel (medicamento utilizado para tratar diferentes tipos de cáncer), en la formación de células de hepatoma humano, asimismo encontraron que este polifenol inhibe el cáncer colorectal y las células cancerígenas del hígado, mediante la inhibición del transportador de glucosa GLUT2, proporcionando evidencia adicional de la hipótesis que plantea que la terapia de privación de glucosa tiene efectos beneficiosos sobre el tratamiento del cáncer. Para probar este supuesto, se evaluó la actividad antiproliferativa de zumos de manzana *in vitro* sobre células de cáncer de mama, los resultados del estudio mostraron que el jugo de manzana “Pelingo” de tiene efectos prometedores para inhibir la proliferación de las células de este tipo de cáncer. De la misma manera, varios estudios han demostrado que tanto la floretina como la floridzina tiene efectos antidiabéticos al inhibir la absorción de glucosa (Shao *et al.*, 2008)

El consumo de manzana también tiene efectos positivos sobre enfermedades cardiovasculares, asma y enfermedad de Alzheimer. Su consumo puede estar asociado con mejores resultados relacionados al deterioro cognitivo del envejecimiento normal, diabetes, manejo del peso, salud de los huesos, función pulmonar y protección gastrointestinal (Hyson, 2011). Fathy *et al.*, 2015, estudiaron los efectos protectores del jugo de manzana Ana egipcia y el extracto de cáscara de manzana sobre la peroxidación lipídica, las enzimas antioxidantes y el estado inflamatorio en el páncreas de ratas Wistar diabéticas, para ello alimentaron las ratas con jugo de manzana (15 mL/kg) y extracto de cáscara de manzana (1g/kg) por 21 días, al final del estudio, se midieron los parámetros del perfil lipídico y nivel de peroxidación lipídica en muestras de suero, la actividad enzimática antioxidante y nivel de inflamación en muestras de tejido pancreático. El estudio concluyó que la suplementación con jugo de manzana y el extracto puede tener efectos protectores contra complicaciones nocivas de diabetes

mellitus debido a sus efectos antioxidantes, generando efectos hipoglucémicos al reducir la respuesta inflamatoria, mitigar el estrés oxidativo y normalizar el perfil lipídico alterado, siendo una alternativa para su uso como agentes terapéuticos útiles en la protección contra la diabetes mellitus.

### ***Nutrientes y polifenoles presentes en frutilla y manzana***

Se ha realizado una comparación de la composición nutricional de frutillas y manzanas que se puede observar en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1.** Composición nutricional en frutilla y manzana

<b>Compuesto</b>	<b>Frutilla (por 100 g de FF<sup>1</sup>)</b>	<b>Manzana (por 100 g de FF<sup>1</sup>)</b>
<b>MACRONUTRIENTES</b>		
Agua (g)	89,6	85,56
Proteínas (g)	0,7	0,26
Lípidos (g)	0,5	0,17
Carbohidratos (g)	7,0	13,81
Fibra (g)	2,2	2,4
<b>VITAMINAS</b>		
Tiamina (mg)	0,02	0,017
Riboflavina (mg)	0,04	0,026
Equivalentes de niacina (mg)	0,6	0,091
Vitamina B6 (mg)	0,06	0,041
Folato (µg)	20,0	3,0
Vitamina C (mg)	60,0	4,6
Vitamina A: equivalente de retinol (µg)	1,0	3,0
Caroteno provitamina A (µg)	4,0	27,0
Vitamina E (mg)	0,2	0,18
<b>MINERALES</b>		
Calcio (mg)	25,0	6,0
Hierro (mg)	0,8	0,12
Magnesio (mg)	12,0	5,0
Zinc (mg)	0,1	0,04
Sodio (mg)	2,0	1,0
Potasio (mg)	190,0	107,0
Fósforo (mg)	26,0	11,0
Selenio (µg)	Tr	0,0

Fuente: USDA, 2022; <sup>1</sup> FF: fruta fresca

La Tabla 1.2 es una comparación del contenido de los compuestos fenólicos presentes en frutillas y manzanas:

**Tabla 1.2.** Contenido promedio de compuestos fenólicos presentes en frutillas y manzanas

		<b>Frutillas (mg/100g FF<sup>1</sup>)</b>	<b>Manzanas (mg/100 g FF<sup>1</sup>)</b>	
<b>Flavonoides</b>				
Antocianinas	Cianidina	0,50	Cianidin 3-O-arabinosido	0,06
	Cianidin 3-O-(6"-succinil-glucósido)	1,22	Cianidin 3-O-galactosido	0,81
	Cianidin 3-O-glucósido	2,88	Cianidin 3-O-xilosido	0,06
	Pelargonidina	4,31		
	Pelargonidin 3-O-(6"-malonyl-glucósido)	4,78		
	Pelargonidin 3-O-(6"-succinil-glucósido)	10,44		
	Pelargonidin 3-O-arabinosido	0,42		
	Pelargonidin 3-O-glucósido	47,14		
	Pelargonidin 3-O-rutinosido	1,32		
Flavanoles	(+)-Catequina	6,36	(+)- Catequina	1,22
	(+)-Galocatequina	0,05	(-)-Epicatequina	8,37
	(-)-Epicatequina	7,50e-03	Dímero de procianidina B2	14,56
	(-)-Epicatequina 3-O-gallato	0,28		
	(-)-Epigalocatequina	0,06		
	Dímero de procianidina B1	0,62		
	Dímero de procianidina B2	0,03		
	Dímero de procianidina B3	1,10		
	Dímero de procianidina B4	0,13		
	Trímero de procianidina EEC	0,50		
Flavonoles	Kampferol 3-O-glucósido	0,32	Quercetina	0,13
	Kampferol 3-O-glucorónido	0,20	Quercetina 3-O-arabinosido	1,40
	Morin	0,06	Quercetina 3-O-galactosido	2,36
	Quercetina 3-O-glucorónido	1,74	Quercetina 3-O-glucósido	0,64
			Quercetina 3-O-ramnosido	1,33
			Quercetina 3-O-rutinosido	0,22
			Quercetina 3-O xilosido	0,78

Dihidrochalconas			3-hidroxifloretin 2'-O-glucósido	0,11
			Floretin 2'-o- xilosil-glucósido	2,58
			Floridzina	2,69
<b>Ácidos fenólicos</b>				
Ácidos hidroxibenzóicos	4-ácido hidroxibenzóico 4-O-glucósido	1,53	Ácido gentísico	0,22
	5-O-Ácido galloilquinico	0,05	Ácido siríngico	0,90
	Ácido Elágico	1,24		
	Glucósido del ácido elágico	2,85		
Ácidos hidroxicinámicos	Ácido 5- cafeoilquinico (ácido Clorogénico)	1,93	Ácido 5- cafeoilquinico (ácido Clorogénico)	13,3 7
	Cafeoil glucosa	0,10	Ácido 4- cafeoilquinico	0,54
	Ácido cinámico	0,22	Ácido 4-p-cumaroilquinico	2,25
	Feruloil glucosa	0,10	Ácido-5-p-cumaroilquinico	1,05
	Ácido p-cumárico	0,21	Ácido cafeico	0,33
	Ácido p-cumárico 4-O-glucósido	0,15	Ácido Ferúlico	0,07
	p-Cumaroil glucosa	4,36	Ácido cumárico	0,27
<b>Estilbenos</b>				
Estilbenos	Resveratrol	0,35		

Fuente: <http://phenol-explorer.eu/contents/food/23>; <sup>1</sup> FF: fruta fresca

En cuanto a los macronutrientes, el contenido de carbohidratos es superior en manzanas. En lo referente a las de vitaminas, se puede observar que la cantidad de folato en frutilla supera ampliamente al contenido presente en manzanas, lo mismo ocurre con la vitamina C, sin embargo, la manzana cuenta con mayor proporción de vitamina A. En cuanto a los minerales, las frutillas presentan un alto contenido de calcio en comparación con la manzana, lo mismo ocurre con la cantidad de magnesio y fósforo. De la misma manera, el aporte de compuestos fenólicos varía entre las dos frutas, destacándose el aporte de antocianinas en las frutillas, principalmente la pelargonidin 3-O- glucósido, así como también el aporte de epicatequina, quercetina 3-O glucorónido, glucósido del ácido elágico y resveratrol; mientras que los compuestos fenólicos mayoritarios presentes en manzana son ácido clorogénico como el principal, así

como también catequina, dímero de procianidina B2, quercetin 3-O-galactósido, floridzina, y floretín 2'-O-xilosil-glucósido.

### **1.1.3. Miel**

La producción mundial de miel natural presenta un crecimiento sostenido desde el año 2000. En el período 2000 -2017 la producción mundial se incrementó a un ritmo de 2,3% por año, acumulando un crecimiento de prácticamente el 50%, con una producción que en 2018 alcanzó las 1.815.000 toneladas de miel. China es actualmente el principal productor con una participación del 24% del volumen total producido en 2018, después le siguen la Unión Europea (14%), Turquía (6%), Argentina, Irán, Estados Unidos, Ucrania y Rusia, estos últimos todos con participaciones de mercado que rondan el 4% (entre 79.000 y 67.000 toneladas anuales). En 2018, los cinco principales exportadores en volumen de miel representaron el 50% del total exportado, liderados por China con un 18%, y luego por Argentina (10%), India (8%), México (8%) y Ucrania (7%) (FAOSTAT, 2020).

Argentina es el segundo exportador de miel del planeta con un volumen promedio superior a las 75 mil toneladas anuales, sin embargo, el consumo interno es de 6 mil toneladas. Los productores más numerosos provienen de las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos y Santa Fe. No obstante, la apicultura argentina es una actividad con marcado perfil federal, se desarrolla en 22 provincias (Jujuy, Salta, Catamarca; La Rioja, Tucumán, Santiago del Estero, San Juan, San Luis, Mendoza Córdoba, Santa Fe, Chaco; Formosa, Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Buenos Aires, La Pampa; Rio Negro, Neuquén, Chubut y Santa Cruz) (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2021).

La producción de miel es relevante en el territorio argentino, tal es el caso que en el presente año la FAO lanzó el programa “Un País” destinado a promocionar productos agrícolas especiales de diferentes países, en el caso de Argentina el producto seleccionado es la miel para trabajar en 3 aspectos básicos: mejorar la producción y la productividad; aumentar la sostenibilidad ambiental y la resiliencia climática; y brindar valor agregado y acceso a los

mercados. El objetivo es lograr un análisis del mercado y el desarrollo de estrategias para diferenciar a la miel argentina en los mercados internacionales, para pasar a exportar un producto más consolidado y con valor agregado. La actividad apícola en la Argentina se desarrolla en casi todas las provincias y utiliza un 95% de insumos de producción nacional. Se estima que hay poco más de 35 mil productores apícolas y, de acuerdo con el número de colmenas que tienen, el 85% de ellos son pequeños y medianos y un 15% son de escala más grande. También hay productores independientes y otros que trabajan agrupados (FAO, 2022).

### ***Generalidades***

La miel es un alimento dulce y de buen sabor, que se consume desde hace mucho tiempo debido a su alto valor nutricional y sus efectos beneficiosos sobre salud humana. Es una solución natural sobresaturada de azúcares como fructosa (38%) y glucosa (31%). De igual forma, este producto contiene pequeñas cantidades de otros constituyentes tales como minerales, proteínas, vitaminas, ácidos orgánicos, flavonoides, ácidos fenólicos, enzimas y otros fitoquímicos que contribuyen a sus efectos antioxidantes. Los componentes responsables de la actividad antioxidante son los flavonoides, ácidos fenólicos, ácido ascórbico, catalasa, peroxidasa, carotenoides y productos de la reacción de Maillard. Sin embargo, la cantidad de estos componentes varía ampliamente, dependiendo de su origen floral y geográfico. Adicionalmente, el procesamiento, la manipulación y el almacenamiento de la miel pueden influenciar en su composición. En ese sentido es importante determinar el potencial antioxidante de los tipos de miel, los que pueden variar, dependiendo de la fuente. Los ácidos fenólicos y flavonoides son considerados como potenciales marcadores para conocer su origen botánico y son importantes debido a sus potenciales usos terapéuticos en medicina alternativa. La presencia de compuestos fenólicos y flavonoides particulares en la miel, determinan su color, aroma y potenciales efectos benéficos sobre la salud humana. Se cree que la miel tiene diferente actividad biológica basada en el contenido de compuestos fenólicos. Alimentos como la miel, que contiene antioxidantes, puede jugar un rol esencial en la

prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer, enfermedades neurodegenerativas, incluyendo Parkinson y Alzheimer, así también problemas inflamatorios generados por el envejecimiento celular y cutáneo (Afroz et al., 2015) (Tabla 1.3).

**Tabla 1.3.** Contenido nutricional de la miel

<b>Compuesto</b>	<b>Cantidad</b>
<b>MACRONUTRIENTES</b>	
Agua (g/100 g)	17,1
Energía (Kcal/100 g)	304
Proteína (g/100g)	0,3
Lípidos totales (g/100 g)	0,0
Carbohidratos (g/100 g)	82,4
Fibra dietaria total (g/100 g)	0,2
Azúcares (g/100 g)	82,12
<b>VITAMINAS</b>	
Vitamina C (mg/100 g)	0,5
Tiamina(mg/100 g)	0
Riboflavina (mg/100 g)	0,038
Niacina (mg/100 g)	0,121
Vitamina B-6 (mg/100 g)	0,024
Vitamina C (mg/100 g)	0,5
Tiamina(mg/100 g)	0
Riboflavina (mg/100 g)	0,038
<b>MINERALES</b>	
Calcio (mg/100 g)	6
Hierro (mg/100 g)	0,42
Magnesio(mg/100g )	2
Fósforo(mg/100 g)	4
Potasio (mg/100 g)	52
Sodio(mg/100 g)	4
Zinc(mg/100 g)	0,22
Cobre(mg/100 g)	0,036
Selenio (µg/100 g)	0,8
Folatos totales (mg/100 g)	2
Cloro (mg/100 g)	2,2

Fuente: USDA (2022)

**Compuestos fenólicos**

El contenido de compuestos fenólicos en la miel depende principalmente de su origen floral; por lo tanto, esto puede ser usado como una herramienta para su clasificación y autenticación, especialmente en el caso de variedades uniflorales. Los compuestos fenólicos más comunes en la miel, se muestran en la Tabla 1.4; es posible comparar los compuestos fenólicos identificados en diferentes tipos de miel.

**Tabla 1.4.** Compuestos fenólicos de la miel

<b>Flavonoides</b>	
Apigenina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
Catequina	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>
Crisina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>
Galangina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
Genisteína	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
Isoramnetina	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>
Kampferol	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>
Luteolina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>6</sub>
Miricetina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>8</sub>
Pinobanksina	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>
Pinocembrina	C <sub>15</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>
Quercetina	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>
Rutina	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>
<b>Ácidos fenólicos</b>	
2-cis, 4- <i>trans</i> ácido abscísico	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
2-ácido hidroxicinámico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>
Ácido cafeico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>
Ácido clorogénico	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>
Ácido cinámico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
Ácido Elágico	C <sub>14</sub> H <sub>6</sub> O <sub>8</sub>
Ácido ferúlico	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>
Ácido gálico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub>
Ácido <i>p</i> -cumárico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>
Ácido <i>p</i> -hidroxibenzóico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>
Ácido protocatecuico	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub>
Ácido sinápico	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>
Ácido siringico	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>
Ácido vanílico	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>

Fuente: Cianciosi *et al.*, (2018)

### **Efectos sobre la salud del consumidor**

La miel es un producto natural formado a partir del néctar de flores por las abejas melíferas (*Apis mellifera*; Familia: Apidae). La miel ha sido utilizada por los humanos desde tiempos antiguos, hace aproximadamente 5500 años. Diferentes civilizaciones la han consumido por su valor nutricional y sus propiedades medicinales. La miel es el único producto natural derivado de insectos con valor industrial, nutricional, cosmético y terapéutico. No necesita refrigerarse, no se deteriora, se puede almacenar sin abrir a temperatura ambiente en un lugar seco. La miel ha sido utilizada como endulzante natural debido a su alto nivel de fructosa. Existe evidencia que sugiere que este producto tiene diferentes efectos beneficiosos sobre la salud; presenta beneficios al actuar como agente antioxidante, antiinflamatorio, antibacterial, antidiabético, además de presentar efectos sobre el sistema respiratorio, gastrointestinal, cardiovascular y efectos protectores sobre el sistema nervioso (Figura 1.7) (Samarghandian y Samini, 2017).



**Figura 1.7.**Efectos benéficos del consumo de miel.

## 1.2. MÍNIMO PROCESAMIENTO DE FRUTAS

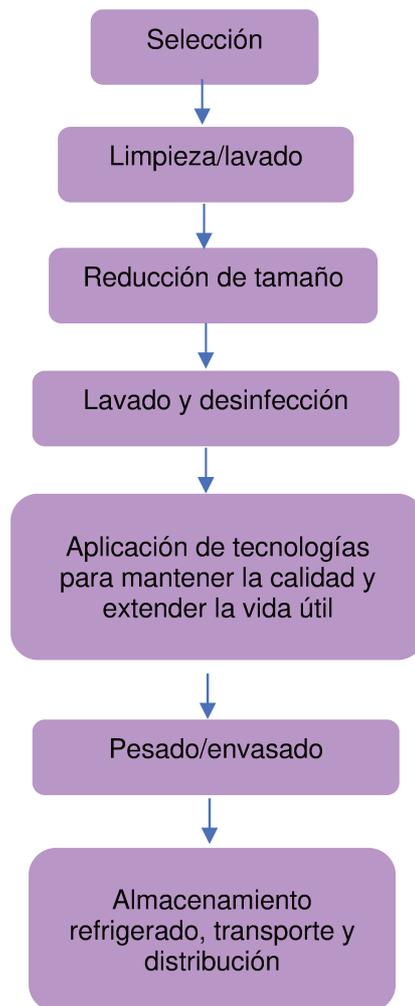
Las frutas frescas cortadas que presentan ventajas sobre la salud del consumidor y mantienen su calidad de producto “fresco”, han ganado popularidad entre los consumidores, siendo uno de los mayores segmentos en crecimiento en los establecimientos de venta de alimentos, sin embargo, estos productos aún se encuentran bajo estudios debido a las dificultades en el mantenimiento de su calidad de “fresco” durante periodos prolongados de tiempo ya que se deterioran de manera rápida en relación con otro tipo de productos sometidos a otros procesamientos (Soliva-Fortuny y Martín Belloso, 2003; Ma *et al.*, 2017). Los diferentes métodos de mínimo procesamiento tales como pelado, corte, trituración, etc., generan daños en el alimento, disminuyendo su tiempo de vida útil y su calidad, debido a la presencia de una serie de problemas como ablandamiento del tejido, amarronamiento o pardeamiento de la superficie cortada, disminución del valor nutricional, presencia de *off-flavors* o daño microbiológico durante el almacenamiento (Pirovani *et al.*, 2006, Ma *et al.*, 2017).

En general, los métodos tradicionales de conservación de frutas y hortalizas frescas cortadas, se pueden clasificar en tres categorías: tecnologías de conservación física, tecnologías de conservación química y tecnología de biopreservación (Ma *et al.*, 2017). Una vez que las tecnologías tradicionales de procesamiento han sido capaces de lograr vegetales mínimamente procesados microbiológicamente seguros con características de calidad aceptable, el siguiente paso es diseñar nuevos tratamientos suaves y confiables con la finalidad de obtener productos con calidad de “frescos” con alto valor nutricional.

La creciente demanda de productos mínimamente procesados con las mismas garantías de inocuidad que aquellos obtenidos por métodos tradicionales de conservación, han instado a los investigadores en enfocar sus esfuerzos en estudiar nuevas formas de extensión de la vida útil para estos productos (Soliva-Fortuny y Martín-Belloso, 2003).

### **1.2.1. Etapas generales de mínimo procesamiento de frutas**

El término “mínimamente procesado” hace referencia al uso de uno o más métodos, técnicas o procedimientos para transformar alimentos derivados de plantas en productos listos para el consumo manteniendo sus características nutricionales y sensoriales del producto fresco. La aplicación exitosa del mínimo procesamiento, retrasa la pérdida de nutrientes y los cambios indeseables en la textura, el color, el sabor y el aroma, relacionados con la maduración o el deterioro microbiano (Velderrain-Rodríguez *et al.*, 2019). El mínimo procesamiento incluye varias operaciones tales como selección y clasificación, lavado, pelado y/o corte, lavado y desinfección, secado, envasado, almacenamiento, como se puede observar en el siguiente diagrama de flujo:



**Figura 1.8.**Diagrama de flujo general para la producción de frutas frescas cortadas.

Adaptado de Pirovani *et al.*, (2015), (Yousuf, B *et al.*, (2020)

### ***Selección y clasificación de materia prima***

Esta etapa tiene por objeto asegurar la homogeneidad y calidad de la materia prima. Se descartan aquellos productos que presentan defectos físicos o que hayan sufrido daño mecánico durante la recolección o transporte. La calidad final y vida útil de los productos frescos cortados depende directamente de la calidad de la materia prima (Sinha *et al.*, 2012; Pirovani *et al.*, 2015; Artes y Allende, 2016).

### ***Limpieza y lavado***

Generalmente las frutas y verduras posterior a la cosecha pueden estar cubiertas con tierra, barro, arena, etc.; por lo tanto, deben ser cuidadosamente limpiadas antes de procesar, el lavado debe ser ejecutado antes del pelado y/o corte 2004; (Ahvenainen, 1996).

### ***Pelado, corte y reducción de tamaño***

Esta etapa incluye procesos de pelado y/o corte; en el corte, se procede a la reducción del tamaño o troceado de los productos frutihortícolas. Se deben obtener trozos más pequeños que sean uniformes en forma y tamaño. Este proceso puede ser esencial para mejorar la digestibilidad y conveniencia de consumo. Existen diferentes formatos: rodajas, cubos, tiras, esferas, mitades, cuartos. Los procesos de troceado aceleran la respiración, producen daño mecánico y ablandamiento vegetal, por lo que resulta conveniente seleccionar adecuadamente el tipo de corte y el instrumento para llevarlo a cabo (Van de Velde, 2014). El pelado puede ser llevado a cabo de forma mecánica, química o mediante peladoras de vapor a altas presiones (Ahvenainen, 1996).

### ***Lavado y desinfección***

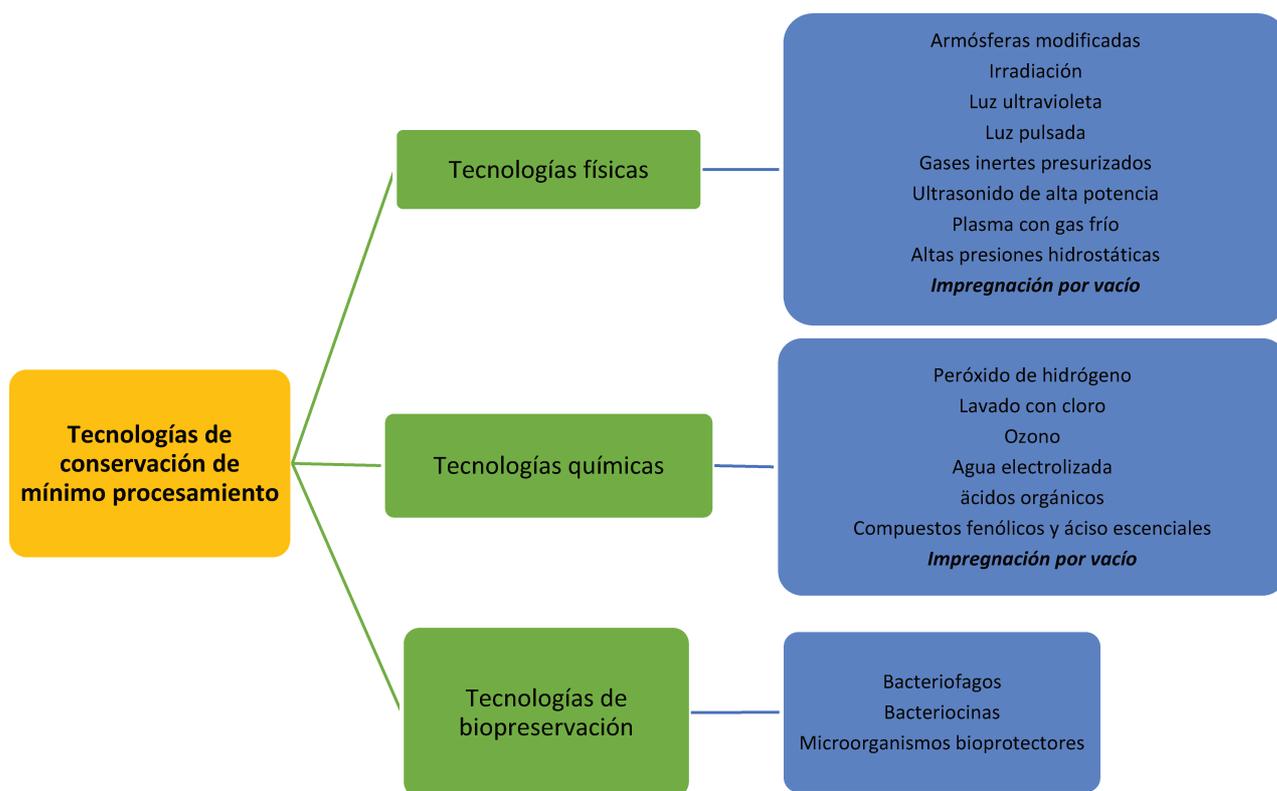
El lavado y desinfección después del pelado y/o son críticos en la cadena de producción ya que son los únicos pasos en donde se puede reducir en la carga microbiana, minimizando las poblaciones de patógenos potenciales, está indicado para remover fluidos celulares producidos por las operaciones de pelado y corte, para remover suciedades, residuos de pesticidas (Artes y Allende, 2005, Van de Velde, 2014, Pirovani *et al.*, 2006). El lavado puede efectuarse con diferentes desinfectantes como hipoclorito de sodio/calcio o cloro (gas); peróxido de hidrógeno, ácido peracético, dióxido de cloro, ozono, agua electrolizada (IFPA, 2003)

### **Remoción de agua**

Tiene por objetivo reducir el contenido de humedad y eliminar células que promueven el crecimiento microbiano, es un proceso que debe realizarse con cuidado para evitar daño en el tejido vegetal (Pirovani *et al.*, 2003). Los sistemas de remoción incluyen drenaje, absorción, secado con centrífuga, bastidores vibratorios, transportadores rotativos, hidro-tamices, aire forzado y túneles de secado (Artes y Allende, 2005)

### **Aplicación de diferentes tecnologías de mínimo procesamiento para mantener la calidad y extender la vida útil**

Se han investigado diferentes métodos no convencionales para el mínimo procesamiento de frutas y hortalizas. En la Figura 1.9 se muestran diferentes tecnologías de conservación en mínimo procesamiento de frutas y hortalizas.



**Figura 1.9.** Tecnologías de mínimo procesamiento para frutas.

Fuente: Pirovani *et al.*, 2006; Ma *et al.*, 2017; De Corato, 2019; Ali *et al.*, 2018; Yousuf, B *et al.*, 2020

Diferentes autores han empleado distintas tecnologías de mínimo procesamiento para la conservación y extensión de la vida útil de frutillas y manzanas, la Tabla 1.5 muestra un resumen de diferentes estrategias empleadas para las frutas mencionadas.

**Tabla 1.5.** Estrategias de mínimo procesamiento de frutillas y manzanas para mantener su calidad y seguridad alimentaria

<b>Tratamiento</b>	<b>Fruta</b>	<b>Efecto buscado</b>	<b>Autor</b>
Luz UV	Manzana	Reducción significativa de reacciones generadas durante el almacenamiento	Yousuf, B <i>et al.</i> , (2020); Ma <i>et al.</i> , (2017)
Luz pulsada	Manzana	Inhibición efectiva del pardeamiento y crecimiento microbiano	Yousuf, B <i>et al.</i> , (2020)
Plasma frío	Manzana	65% de reducción del área de pardeamiento	
Recubrimiento comestible	Frutilla	Reducción del recuento de microorganismos	
Gases inertes presurizados (Ar+Xe)	Manzana	Extensión de la vida útil, disminución del crecimiento de <i>E. Coli</i> y <i>S. cereviciae</i>	Ma <i>et al.</i> , (2017)
Luz pulsada + recubrimiento comestible	Manzana	Retraso efectivo del deterioro microbiano y mantenimiento de la calidad sensorial	
Plasma frío	Frutilla	Reducción del recuento microbiano (hongos y levaduras)	
Agua ácida electrolizada	Manzana	Inactivación efectiva de microorganismos	
Aplicación de nanotecnología (nano partículas de ZnO en recubrimiento de cloruro de polivinilo)	Manzana	Inhibición del crecimiento microbiano, retraso del proceso de maduración al disminuir la pérdida de masa y el ablandamiento	
Nanopartículas de quitosano tripolifosfato	Manzana	Actividad antimicrobiana efectiva sobre hongos y levaduras, bacterias mesófilas y psicrotrofas	

Ozono	Manzana	Reducción del recuento total de bacterias y reducción en la producción de etileno y la actividad de la PPO y POD	
Bacteriofagos	Manzana	Descontaminación, sin embargo no elimina todos los patógenos transmitidos por alimentos	
Bacteriocinas	Manzana	Reducción significativa de <i>L. monocytogenes</i>	
Uso de microorganismos bioprotectores (bacterias LAB)	Manzana	Inhibición de Salmonella	
Ozono	Frutilla	Disminución de la carga microbiana y extensión de la vida útil	De Corato, (2019)*
Peróxido de hidrógeno	Frutilla	Agente desinfectante	
Soluciones a base de Ca (Lactato de Calcio)	Frutilla	Agente reafirmante	
Uso de aceites esenciales y compuestos fenólicos	Manzana	Prolongación de la vida útil, disminución de la carga microbiana	
Envasado en atmósferas modificadas altas en O <sub>2</sub>	Frutillas	Efectiva extensión de la vida útil	De Corato, (2019), Van de Velde <i>et al.</i> ,(2019).
Tratamientos con quitosano + aceites esenciales	Frutilla	Disminución de la carga microbiana	De Corato, (2019)
Agua electrolizada	Manzana	Reducción de la carga microbiana	Ali <i>et al.</i> , (2018)
Ultrasonido	Frutilla	Eficiente descontaminación y reducción de la carga microbiana	
Película comestible	Manzana	Incremento en la producción de compuestos volátiles de aroma por adición de isoleucina en la película	

***Envasado***

Esta etapa se considera, después de la disminución de la temperatura del producto, una etapa crucial para prolongar la vida comercial de las frutas y hortalizas cortadas. Prácticamente todos los productos recién cortados se

refrigeran bajo atmósferas modificadas para alcanzar una vida útil adecuada. El diseño y la selección de la película polimérica adecuada para las bandejas o envases, así como para el sellado, son cruciales (Van de Velde, 2014; Artes y Allende, 2005).

### **Almacenamiento**

El conocimiento sobre las condiciones de tiempo y temperatura en la cadena de frío de frutas y hortalizas mínimamente procesadas es importante para evitar la pérdida de calidad y reducción de la vida útil del producto. Generalmente en todos los productos de la cadena de distribución deben mantenerse a 1–5 ° C para garantizar la calidad y la vida útil (Pirovani *et al.*, 2006; Artes y Allende, 2005).

### **1.3. LA IMPREGNACIÓN POR VACÍO (IV) COMO UN MÉTODO DE CONSERVACIÓN EN EL MÍNIMO PROCESAMIENTO DE FRUTAS**

La impregnación por vacío (IV) es una tecnología que permite la introducción de ingredientes alimentarios, directamente en el producto a través de sus poros, en una forma controlada, de acuerdo al modelo del mecanismo hidrodinámico (MHD) (Fito, 1994; Zhao y Xie, 2004; Andrés *et al.*, 2001; Radziejewska *et al.*, 2014; Fito *et al.*, 2001). La IV ha sido ampliamente utilizada como tratamiento previo complementario a otras etapas de procesamiento tales como secado, congelado, envasado y freído. En algunos casos, permite modificar la composición del alimento para el desarrollo de nuevos productos con una disminución significativa en el tiempo de procesamiento, dependiendo de la porosidad efectiva y las propiedades mecánicas del producto (Andrés *et al.*, 2001; Zhao y Xie, 2004). El proceso de IV es rápido en comparación con la deshidratación osmótica (DO) a presión atmosférica ya que puede durar unos minutos en comparación con la DO que puede llevar horas. Durante la IV, la solución que contiene diferentes elementos penetra en el tejido de la matriz alimentaria, lo que puede mejorar o cambiar de manera significativa las propiedades del alimento; los componentes son introducidos en los espacios

intercelulares y capilares para generar distintas ventajas: incremento en el valor nutritivo (enriquecimiento con polifenoles, probióticos, vitaminas, minerales, etc.), extensión de la vida útil (reducción del pH, aw, antimicrobianos, conservantes, etc.) o modificación de los atributos sensoriales (introducción de azúcar, edulcorantes, mejoradores de textura).

Es esencial determinar el potencial de esta técnica para modificar las características físico-químicas y los atributos sensoriales de los productos, asimismo es importante seleccionar los parámetros adecuados para asegurar el efecto deseado (Andrés, *et al.*, 2001; Zhao y Xie, 2004; Radziejewska *et al.*, 2014). La IV es una tecnología que puede aplicarse en el mínimo procesamiento de frutas y hortalizas, como una alternativa de conservación de dichos productos o para mejorar las propiedades nutricionales y sensoriales, ya que el tejido vegetal tiene espacios intercelulares que pueden contener una fase de gas o líquido que son susceptibles a la impregnación con una solución externa. Por lo tanto, la estructura porosa de las frutas y vegetales los hace idóneos para desarrollar productos de alta calidad (Zhao y Xie, 2004).

La principal ventaja de la IV en la elaboración de frutas y hortalizas mínimamente procesadas es que la transferencia de masa es más rápida debido al MHD, que aumenta la superficie de contacto con la fase líquida. Otra ventaja de esta tecnología es que es efectiva a temperaturas bajas, próximas a la temperatura ambiente, lo cual minimiza el daño térmico que puede ocasionar en las propiedades organolépticas (color, sabor, textura) y además reduce el daño sobre cualquier nutriente sensible al calor. Asimismo, la alta concentración de soluto circundante evita la decoloración en el producto final (Zhao y Xie, 2004).

### **1.3.1. Fundamentos y parámetros característicos de la impregnación por vacío**

Como se ha indicado anteriormente, la IV permite la introducción de diferentes elementos en el interior de una matriz alimentaria porosa de manera controlada; durante el proceso de IV se llenan los espacios libres del alimento debido a la diferencia de presión inducida de forma mecánica. El proceso consiste en dos etapas: la fase de presión reducida y la fase de presión atmosférica. La impregnación del material ocurre como consecuencia de dos fenómenos: mecanismo hidrodinámico (HDM) y el fenómeno de deformación-relajación (DRP), que permite el llenado de los capilares intracelulares (Radziejewska *et al.*, 2014).

Las cinéticas de transferencia de masa son mucho más rápidas en los procesos de deshidratación osmótica bajo condiciones de vacío, en comparación con procesos llevados a cabo a presión atmosférica. Estos resultados pueden entenderse si se toma en cuenta la estructura porosa de las frutas, junto con la existencia de espacios intercelulares, en los cuales existe cierta cantidad de gas ocluido, que es comprimido cuando el líquido exterior (solución osmótica SO) penetra como resultado del efecto combinado de la acción capilar y los gradientes de presión impuestos al sistema. La penetración del líquido, generado por los gradientes de presión que actúan como fuerza motora, es reversible y es controlado por la compresión o expansión del gas ocluido en los espacios intercelulares. Este fenómeno de transferencia de masa es llamado mecanismo hidrodinámico (Fito y Pastor, 1994).

El HDM ocurre cuando las estructuras porosas son sumergidas en una fase líquida. Esto implica el ingreso del líquido externo a través de los poros capilares, controlado por la expansión/compresión del gas interno. Este mecanismo es responsable del proceso de IV de productos posos cuando se aplican presiones bajas en el sistema sólido-líquido (etapa de vacío, tiempo de vacío,  $t_v$ ), seguida de una restauración de la presión atmosférica (etapa de relajación, tiempo de relajación,  $t_r$ ). Durante la etapa de vacío, el gas al interior de los poros del producto se expande y sale parcialmente. Todos esto está relacionado con la

penetración capilar como función de la tensión interfacial del líquido y el diámetro de los poros. En la etapa de presión atmosférica, el gas residual es comprimido y el líquido externo fluye hacia el interior de los poros en función del grado de compresión (Fito y Pastor, 1994). Sin embargo, los cambios en la presión pueden promover deformaciones del producto debido a las propiedades viscoelásticas de la matriz sólida. La relación del HDM con el fenómeno de Deformación-Relajación (DRP) de la matriz sólida del producto ha sido descrito y modelado por varios investigadores (Andrés, *et al.*, 2001; Fito *et al.*, 1996), quienes mostraron que el volumen cambia al final de las etapas de vacío y de presión atmosférica, y que también la porosidad efectiva afecta la fracción volumétrica del producto impregnado con el líquido externo. Mujica *et al.*, (2003) analizaron diferentes frutas, encontraron que los valores de la fracción volumétrica de muestra impregnada ( $X$ ) y, consecuentemente, la porosidad efectiva ( $\epsilon_e$ ), están influenciados por el número y diámetro de poro, así como las propiedades mecánicas de la matriz alimentaria. Por esta razón, frutas como la manzana no solo presentan valores altos de  $\epsilon_e$ , sino que también su respuesta a la aplicación de vacío es lineal, lo que significa que la matriz sólida sufre menor deformación debido a los cambios de presión. Frutas con menor porosidad que la manzana, tales como papaya y melón, también presentan bajos problemas de deformación mecánica. Por el contrario, la estructura de la banana, durazno, mamey y mango, muestran mayor deformación cuando incrementa el nivel de vacío, reduciendo o incrementando de esta forma la capacidad de impregnación.

Son varios los factores del proceso (Fito *et al.*, 1996), así como las características propias del material a impregnar que influyen en el desarrollo del proceso y en las características de producto final obtenido luego de aplicar la tecnología de IV:

- Estructura del tejido (poros y distribución del tamaño)
- El tiempo de vacío y relajación
- Propiedades mecánicas del material
- Tasa de transporte de HDM como función de la estructura (tamaño y forma de los poros) y de la viscosidad de la solución.
- Tamaño y forma de la muestra

- Presión de vacío

Es posible calcular parámetros característicos de la IV tales como: la fracción volumétrica de muestra impregnada ( $X$ ) ( $m^3$  de líquido/ $m^3$  de muestra a  $t=0$ ), el volumen de deformación de la muestra ( $Y$ ) ( $m^3$  de deformación de la muestra/ $m^3$  de la muestra a  $t=0$ ) y la porosidad efectiva de la muestra ( $\epsilon_e$ ) ( $m^3$  de gas en el interior de los poros/ $m^3$  de la muestra), por acción del Mecanismo Hidrodinámico. La naturaleza viscoelástica del tejido de la fruta y los gradientes de presión impuestos al sistema durante el proceso de IV son las razones por las cuales hay una relación entre los mecanismos de impregnación y deformación. Los niveles de fracción volumétrica de impregnación y el volumen de deformación en las frutas pueden ser medidos al final del tiempo de vacío ( $X_i$  y  $Y_i$ ) y al final del proceso de IV ( $X$  y  $Y$ ). La cinética rápida de IV en las frutas es una característica importante en este mecanismo de transferencia de masa. Unos pocos minutos (5-15min, dependiendo del tamaño y la porosidad de la fruta) son suficientes para desgasificar la estructura.

Los valores de  $Y_i$  observados para cada producto, muestran que la deformación de la matriz sólida (expansión del volumen) ocurre debido a la expansión interna del gas durante el período de vacío. Valores negativos de la fracción volumétrica de impregnación ( $X_i$ ) en el periodo de vacío pueden deberse a las pérdidas de líquido nativo generadas por la expansión del gas y el flujo en el poro. Valores negativos altos de  $X_i$ , se han obtenido para manzana (G. Smith y R. Chief), piña, melón, banana, berenjena y cáscara de naranja, mientras que las frutas que se expandieron en mayor proporción durante el periodo de vacío fueron el mango y el kiwi.

Los valores de  $Y$  representan el cambio del volumen neto al final del proceso de IV, como resultado de una expansión inicial en todo el período de vacío y una posterior compresión en la segunda etapa de la IV, ambos fenómenos asociados al proceso de impregnación. Es notable que la cáscara de naranja y el mango alcanzaron una notable expansión que implica un incremento del volumen del poro, útil para la impregnación. La expansión (en menor proporción) ocurrió en pera, piña y zucchini. La berenjena mostró la mayor

reducción de volumen y la manzana (Golden), pera (Catherine) y frutilla también están compactadas. En otras frutas, no existen diferencias significativas en el cambio de volumen o no se ha observado una compresión del volumen.

Los valores de  $X$  representan el nivel neto de impregnación al final del proceso de IV. Sin embargo, si se alcanzan valores negativos de  $X_i$ , el líquido total externo que ha penetrado en la fruta durante la IV sería  $X + X_i$ , y esta suma representa la efectividad actual de la IV para promover cambios composicionales, usando una solución externa de composición controlada. Entonces, en la Tabla 1.6 se puede observar la impregnación real ( $X + X_i$ ) mostrada como los valores de  $X$ . La cáscara de naranja es el producto con mayor impregnación, seguido de las manzanas y el mango. Estos resultados reflejan la idoneidad de estos productos a las operaciones de transferencia de masa, empleando la tecnología de IV. Por otra parte, no se ha visto una impregnación neta significativa para las frutillas, sin embargo, tomando en cuenta el valor de  $X_i$ , el 2% (v/v) de líquido puede ser reemplazado. En la piña y el melón, el nivel neto de impregnación ( $X$ ) fue similar a  $X_i$ ; lo que significa que el líquido nativo fue intercambiado por la solución externa.

Por otra parte, la porosidad de las frutas y hortalizas es muy importante dentro del proceso de IV, ya que los valores de porosidad efectiva incluyen, no solamente el volumen de poro ocupado por gas sino también por el líquido nativo reemplazado.

La relación de la porosidad efectiva/ porosidad real ( $\epsilon_e/ \epsilon_r$ ) es también un parámetro notable; esta relación representa la fracción porosa de la fruta, que está disponible para la acción del mecanismo hidrodinámico. Esto significa que la mayoría de las frutas mencionadas en la Tabla 1.6, tienen entre el 69-95% de fracción porosa que puede ser llenada por líquido luego de aplicar un tratamiento de IV, para este caso, con una presión de vacío de 50 mbar. Sin embargo, hay algunos otros productos con  $\epsilon_e/ \epsilon_r > 1$ , solamente aquellos con una gran parte de sus espacios intercelulares (poros) ocupados por líquido nativo, como lo indican los valores de  $X_i$ .

En la etapa de vacío ocurren dos flujos opuestos en los poros de la fruta, relacionados con la salida del líquido nativo ( $X_{LN}<0$ ) y la entrada capilar de la solución externa ( $X_c>0$ ). (Fito *et al.*, 2001).

**Tabla 1.6.** Algunas propiedades fisicoquímicas y respuestas de impregnación por vacío en algunas frutas.

Fruta	Muestra	$X_i$	$Y_i$	X	Y	$\epsilon_e$	$\frac{\epsilon_e}{\epsilon_r}$	$X_{LN}^a$
Manzana <i>G. Smith</i>	Cilindros de 2x2 cm	-4,2	1,7	19,0	-0,6	21	0,8	8,5
Manzana <i>R. Chief</i>	Cilindros de 2x2 cm	-5	2,1	17,9	-2,4	20,3	0,9	10,6
Manzana <i>Golden Delicious</i>	Cilindros de 2x2 cm	-2,7	2,8	11,2	-6,0	17,4	0,7	7,5
Mango <i>Tommy Atkins</i>	Rebanadas de 1cm	0,9	5,4	14,2	8,9	5,9	0,6	0,7
Frutilla <i>Chandler</i>	Fruta entera	-2,1	2,9	1,9	-4,0	6,4	1,0	3,4
Kiwi <i>Miraflores</i>	Fruta en cuartos	-0,2	6,8	1,1	0,8	0,66	0,3	0,3
Durazno <i>Hayward</i>	Cubos de 2,5cm de lado	-2,3	2,0	6,5	2,1	204,7	1,8	-
Durazno <i>Catherine</i>	Cubos de 2,5cm de lado	-1,4	0,5	4,4	-4,2	9,1	1,1	2,2
Albaricoque <i>Bulida</i>	Fruta en mitades	-0,2	1,5	2,1	0,1	2,2	1,1	0,8
Piña <i>Española Roja</i>	Rebanadas de 1cm	-6,5	1,8	5,7	2,3	3,7	1,8	8,0
Pera <i>Passa Crasana</i>	Cubos de 2,5cm de lado	-1,3	2,8	5,3	2,2	3,4	0,7	1,6
Ciruela Pasa <i>Presidente</i>	Fruta en mitades	-1,0	0,6	1,0	-0,8	2,0	1,1	1,4
Melón <i>Inodorus</i>	Cilindros de 2x2 cm	-4,0	2,0	5,0	-0,4	6,0	1,4	5,1
Banana <i>Giant Cavendish</i>	Rebanadas de 0,5-2cm de alto	-6,1	3,6	10,6	1,3	10,1	-	8,9
Berenjena	Cubos de 1 x 1 cm	-9,6	2,4	15	-37	53,8	0,9	24,4
Zucchini	Cubos de 2,5cm de lado	-2,5	3,2	5,8	3,3	2,6	0,1	3,2
Piel de naranja <i>Navel late</i>	2,5 x 6cm	-6	5	40	14	20	0,7	11,5

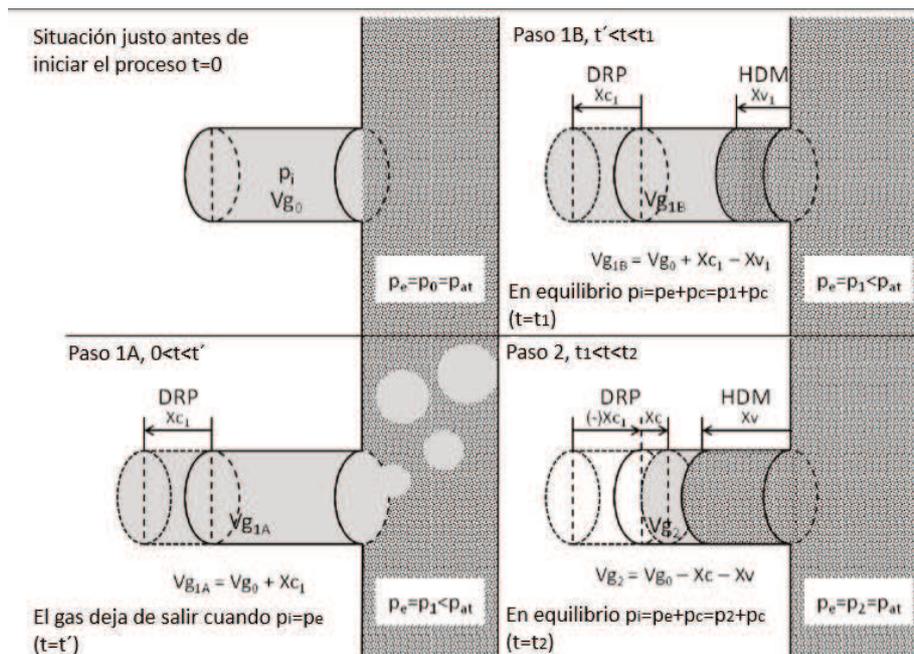
<sup>a</sup> Fracción de volumen (porcentaje) de líquido nativo perdido durante la etapa de vacío. (Fito *et al.*, 2001).

### **Mecanismo Hidrodinámico (MHD)**

El MHD puede explicarse de forma más detallada de la siguiente manera: después de la inmersión del material en la solución a tiempo cero ( $t_0$ ), la presión en el interior ( $p_i$ ) y en el exterior ( $p_e$ ) del capilar se igualan a la presión atmosférica

( $p_i=p_e=p_{at}$ ). El volumen inicial del capilar ( $V_{g0}$ ) se llena con gas. En la primera fase del proceso, la presión se reduce ( $p_1 < p_{at}$ ) y como resultado de la diferencia de presiones, el gas es removido del capilar. La presión reducida actúa desde afuera generando deformación y expansión del capilar, lo cual forma parte de la primera etapa del DRP. El volumen del capilar se incrementa ( $V_{g1A} = V_{g0} + X_{C1}$ ); esta etapa dura hasta que se alcanza el equilibrio de presión ( $p_i=p_e$ ), después, el capilar empieza a ser parcialmente llenado con líquido como resultado del HDM; la presión en el interior del capilar se incrementa ligeramente, mientras que el volumen libre en el interior disminuye  $V_{g1B} = V_{g0} + X_{C1} - X_{V1}$  (Figura 1.8).

En la segunda fase de la impregnación por vacío, la presión del sistema retorna al valor de la presión atmosférica; esto genera la transición del DRP a la fase de relajación. El capilar se contrae incluso más que antes del inicio del proceso, al mismo tiempo, como resultado de la acción de la presión en el capilar y la descompresión se observa una entrada intensa de líquido desde el exterior hacia el interior del capilar y el volumen final de gas en su interior disminuye a  $V_{g2} = V_{g0} - X_c - X_v$ . La fase de relajación es particularmente importante desde el punto de vista práctico, dado que la impregnación del tejido se produce en esta etapa. La interrupción del vacío no debe ser tan rápida ya que un equilibrio de la presión excesivamente rápido puede generar el cierre de los vasos capilares y la inhibición del mecanismo hidrodinámico (Figura 1.10) (Radziejewska *et al.*, 2014).



**Figura 1.10.** Esquema del proceso de Mecanismo Hidrodinámico (MHD). El MHD y el DRP contribuyen al llenado ideal del capilar con el líquido durante la IV. ( $t$ = tiempo,  $t'$ = tiempo requerido para que se igualen la presión interna y presión externa;  $t_1$ = tiempo de vacío aplicado (tiempo de vacío);  $t_2$ = tiempo a presión atmosférica (tiempo de relajación):  $p_0$ = presión inicial;  $p_1$ = presión de vacío;  $p_2$ = presión final;  $p_i$ = presión interna,  $p_e$ = presión externa;  $p_c$ = presión capilar;  $p_{at}$ = presión atmosférica;  $V_{g0}$ = volumen inicial de gas atrapado en el capilar;  $V_{g1A}$ ,  $V_{g1B}$ ,  $V_{g2}$ = volumen de gas atrapado en el capilar después de cada etapa de la impregnación por vacío;  $X_{c1}$ = incremento del volumen de gas atrapado en el capilar como resultado de DRP;  $X_c$ = reducción del volumen de gas atrapado en el capilar como resultado de DRP;  $X_{v1}$ = disminución parcial del volumen de gas atrapado en el capilar como resultado del HDM;  $X_v$ = disminución del volumen de gas atrapado en el capilar como resultado del HDM). Adaptado de: Radziejewska *et al.*, 2014.

### 1.3.3. Aplicaciones de la impregnación por vacío en frutas mínimamente procesadas

Como ya se ha mencionado, la existencia de espacios intracelulares en el tejido de frutas y hortalizas, hace posible introducir en su interior diferentes elementos: crioprotectores, agentes antipardeantes, enzimas, componentes que compactan el tejido e inhiben el ablandamiento, elementos que reducen la actividad de agua, compuestos nutricionales y/o bioactivos, etc. A continuación,

se presentan algunos resultados obtenidos por la aplicación de estos elementos en frutas y hortalizas sometidas a IV.

### ***Cambios en las propiedades fisicoquímicas***

Las frutas y vegetales tienen gran parte de su volumen interno ocupado por gas (Bauman y Henze, 1983; Calbo y Sommer, 1987). En base a ello, se pueden obtener productos con diferentes características, lo que conlleva cambios en distintas propiedades de la matriz alimentaria.

#### **Cambios en el pH**

El principal factor que influye en la seguridad microbiológica de un alimento está asociado al pH. La reducción del pH disminuye la resistencia térmica de los microorganismos y su tasa de crecimiento, mientras que previene el crecimiento de esporas. La introducción de ácidos orgánicos al tejido vegetal por IV facilita la reducción de pH en la materia prima (Radziejewska *et al.*, 2014, Derossi *et al.*, 2013).

Métodos de disminución de pH tales como escaldado utilizando soluciones con diferente concentración de iones de hidrógeno en relación a la materia prima, comprende tiempos de proceso frecuentemente largos, especialmente el remojo; mientras que por su parte, la IV mejora la porosidad del tejido debido a la expansión del gas atrapado en los poros haciendo que un mayor volumen de materia prima esté disponible en el proceso de impregnación al restablecer la presión atmosférica (Radziejewska *et al.*, 2014), lo que permite acortar los tiempos de disminución de pH por ingreso de la solución circundante en la matriz alimentaria porosa debido a la aplicación de dicha tecnología.

Mierzwa *et al.*, (2022), estudiaron la aplicación de la impregnación por vacío en arándano empleando una solución acuosa que contenía el 2% de ácido cítrico y encontraron una disminución en el valor de pH en la fruta impregnada en relación a la fruta sin tratar, los autores indicaron que la disminución de pH es el resultado de la presencia de ácido ascórbico en la solución osmótica que se

incorpora en el tejido de la fruta. Este fenómeno ocurre por incremento en la tasa de difusión de iones hidrógeno como resultado del aumento en la superficie de contacto de la solución de ácido láctico y el tejido de la materia prima (Derossi et al., 2010)

La acidificación por IV es útil para mejorar la reducción de pH en diferentes alimentos ya que favorece el incremento del área de contacto entre el tejido vegetal y la solución ácida, sin embargo, la estructura del tejido de la materia prima, la distribución de los espacios intercelulares y la porosidad efectiva, influyen en el efecto de disminución del pH ya que estructuras con una porosidad alta tienen un mayor espacio de ingreso de la solución de impregnación, permitiendo un mayor llenado de los espacios intracelulares durante el tv mientras que, frutas con mayor tortuosidad tienden a retener en menor manera la solución de impregnación.(Derosi *et al.*, 2010; Derosi *et al.*, 2011).

Actividad de agua (aw), Pérdida de agua (WL), Ganancia de sólidos (SG), Reducción de peso (WR).

Como se había indicado anteriormente, la IV ha sido utilizada como un pretratamiento para la aplicación de diferentes procesos tecnológicos tales como secado, deshidratación, congelación, etc. ya que su aplicación permite la obtención de alimentos parcialmente deshidratados; esta tecnología permite mejorar el intercambio de masa y el flujo capilar, pudiendo ocasionar disminución de aw y dependiendo de las condiciones del proceso, ganancia o pérdida de agua.

Existen diferentes estudios en donde se ha determinado la influencia de las condiciones del proceso de IV sobre estos parámetros. Mujica-Paz *et al.*, (2003) estudiaron el efecto de la presión de vacío y la concentración de la SO en diferentes frutas, notando que en manzanas *var Golden Delicious*, las condiciones de vacío produjeron una mayor disminución en los valores de aw al trabajar con una SO de concentración alta (50°Bx) mientras que, al trabajar con

SO de bajas concentraciones, la presión de vacío tuvo una influencia menor sobre la disminución de  $a_w$ . Asimismo, los investigadores obtuvieron valores positivos y negativos de WL, los valores negativos indican ganancia de agua, generada por la impregnación de la SO en el tejido; este fenómeno se genera al emplear  $SO < 50^\circ\text{Brix}$  ya que el sistema operativo de baja viscosidad se impregna de forma masiva en el producto y resulta en una ganancia de agua. Por el contrario, al trabajar con SO de concentraciones  $> 50^\circ\text{Brix}$ , el sistema operativo es de alta viscosidad y tiene dificultad de penetrar en los poros del tejido vegetal y con una mayor presión osmótica se favorece la salida de agua del producto. Paes *et al.*, (2007), obtuvieron mayor WL en manzanas *var. Gala* tratadas con una solución osmótica de  $50^\circ\text{Bx}$  y un tiempo de vacío alto, mientras que aquellas tratadas con una solución de  $21,8^\circ\text{Bx}$  presentaron ganancia de agua, siendo esta ganancia mayor con un  $t_v = 10$  min y  $t_r = 30$  min.

Para frutas como papayas frescas cortadas, Moreno *et al.*, (2004), encontraron que la mayor reducción de  $a_w$  se generó en aquellas frutas tratadas con una SO de  $65^\circ\text{Brix}$ , en comparación con las tratadas a  $55^\circ\text{Brix}$ ; independientemente del tratamiento aplicado, es decir que ese comportamiento se observó tanto en procesos de DO a presión atmosférica, así como en tratamientos con impregnación por vacío. Por su parte, Tapia *et al.*, (1999), determinaron que papayas frescas cortadas sometidas a IV con presión de 60 mbar presentaron un gran incremento en el nivel de sólidos solubles y una mayor WL y disminución de  $a_w$  que aquella fruta tratada por DO. Los investigadores determinaron una gran reducción de  $a_w$  al aplicar la tecnología de IV con un tiempo total de tratamiento mayor a  $t = 20$  min; en comparación con los tratamientos de DO (180 a 240 min). Los valores de  $a_w$  alcanzados luego de la IV fueron: 0,972; 0,965; 0,974; 0,966; 0,969 y 0,966 con  $t_v = 5, 10, 15, 20, 25$  y 30 min respectivamente; mientras que la fruta tratada por DO presentó un  $a_w$  de 0,976 en el tiempo máximo de tratamiento a 240 min.

Por su parte, Shi y Fito, (1993), encontraron que en frutas como albaricoque, frutilla y piña frescas cortadas sometidas a IV, la WL puede ser más rápida en sistemas de baja presión (IV) en comparación con DO a presión atmosférica. Los

tratamientos de IV permitieron un importante incremento en la WL: 24,3% en piña; 24,2% en durazno y 15,2% en frutilla en comparación con los tratamientos de DO. Los tratamientos de vacío fueron beneficiosos para acelerar la difusión de agua con menor tiempo de reducción del contenido de agua en la fruta. Esto corrobora los resultados obtenidos por otros autores respecto a la diferencia entre la DO a presión atmosférica y la IV, la cual, permite mejorar la deshidratación con un tiempo lo menor posible. Los resultados distintos de WL obtenidos para cada fruta se deben a que los tratamientos de vacío son más efectivos en la difusión de agua de las frutas con mayor porosidad debido a la rápida eliminación del gas intercelular, en ese sentido la piña tuvo mayor WL. Para otras frutas, Mújica *et al.*, (2003) determinaron que los niveles más bajos de aw en mango se obtuvieron al impregnar la fruta con una SO de 50°Bx y una presión de vacío de 674 mbar; y en melón con una SO de 57°Bx y una presión de 593 mbar. Los valores de WL, incrementaron, a medida que la concentración de la SO fue mayor.

En lo referente a la ganancia de sólidos (SG), Paes *et al.*, (2007), estudiaron la influencia de la concentración de la SO y los tiempos de vacío y relajación sobre diferentes características de manzanas mínimamente procesadas tratadas por IV y observaron que la SO de mayor concentración (50° Brix) generó mayor SG (máximo aproximado del 23%), en comparación con una SO de 21,8° Brix en donde la SG no superó el 10%, lo cual concuerda con los resultados obtenidos para los sólidos solubles, ya que al emplear la SO de concentración alta, hubo mayor incremento en su contenido. La ganancia de sólidos más alta se dio con una combinación de  $t_v = 25$  min y un  $t_r = 15$  min con SO de 50 °Brix.

Por otro lado, Mujica *et al.*, (2003) observaron que en manzanas frescas cortadas e impregnadas por vacío, el valor de SG incrementó bajo ciertas condiciones; se determinó que a una presión de vacío máxima (647 mbar) y una concentración de SO= 47°Brix se alcanzó el valor más alto de SG (10%), y con concentraciones más bajas de SO se produjo menor incremento de SG. El melón por su parte presenta la máxima SG con una presión de vacío alta (647 mbar) y una SO de concentración alta (60° Brix), esto puede deberse a una deformación

del tejido durante el tv por aplicación de una alta presión que permite el ingreso de una SO de alta viscosidad, que no saldrá de la fruta durante el tiempo de relajación; en el caso del mango se presenta un comportamiento similar al melón, pero al aplicar una baja presión de vacío difícilmente la SO penetrara en el tejido debido a la baja porosidad de esta fruta; este hecho se corrobora con lo descrito por Shi y Fito, (1993), quienes determinaron que la SG en frutas dependerá en gran parte de sus características biológicas y que la SG está estrechamente relacionada con la porosidad de las frutas; ellos determinaron que aquellas frutas con una mayor porosidad efectiva presentan mayor SG, en ese sentido, la piña que tiene alta porosidad (mayor que durazno y frutilla), necesita más cantidad de azúcar en el tejido al trabajar con SO hipertónicas de sacarosa. Las frutas con una porosidad alta son más idóneas para la aplicación de tratamientos de impregnación por vacío

En cuanto a la reducción de peso (WR); Paes *et al.*,(2007) determinaron que manzanas frescas cortadas tratadas por IV (40 mbar), con tv= 15 min, tr=25 min y una SO isotónica de sacarosa a 21,8°Brix; dio como resultado valores de WR negativos, lo cual indica que existió ganancia de peso, los autores observaron que a pesar de que una cantidad de líquido nativo sale de la muestra en el transcurso del tv, al restaurar la presión atmosférica durante el tr, gran cantidad de SO ingresa en el tejido, lo cual es predecible ya que la SO isotónica tiene mayor proporción de agua e ingresa con mayor facilidad al tejido. Por otra parte, también corroboraron que, al emplear una solución isotónica, con un tv alto (40 min) y tr de 0min se generó una WR cercana al 5%, esto puede deberse a la pérdida del líquido nativo en un periodo de vacío largo y, al no existir un tr, no se produce recuperación del líquido; esto concuerda con la WL alcanzada bajo estas mismas condiciones que fue la más alta obtenida en el estudio.

Shi y Fito, (1993), encontraron una mayor WR en piñas, albaricoques y frutillas mínimamente procesadas, tratadas por IV en comparación con aquellas sometidas a DO; debido al intercambio sólido líquido generado durante el proceso de IV que permite tener una mejor transferencia de masa. Se obtuvieron incrementos de WR del 32,34% para piña, 29,32% para albaricoque y 15,88%

para frutillas, esta diferencia puede atribuirse a la porosidad de las frutas, que como se había indicado anteriormente, es mayor para la piña, por lo tanto, la WR es más alta.

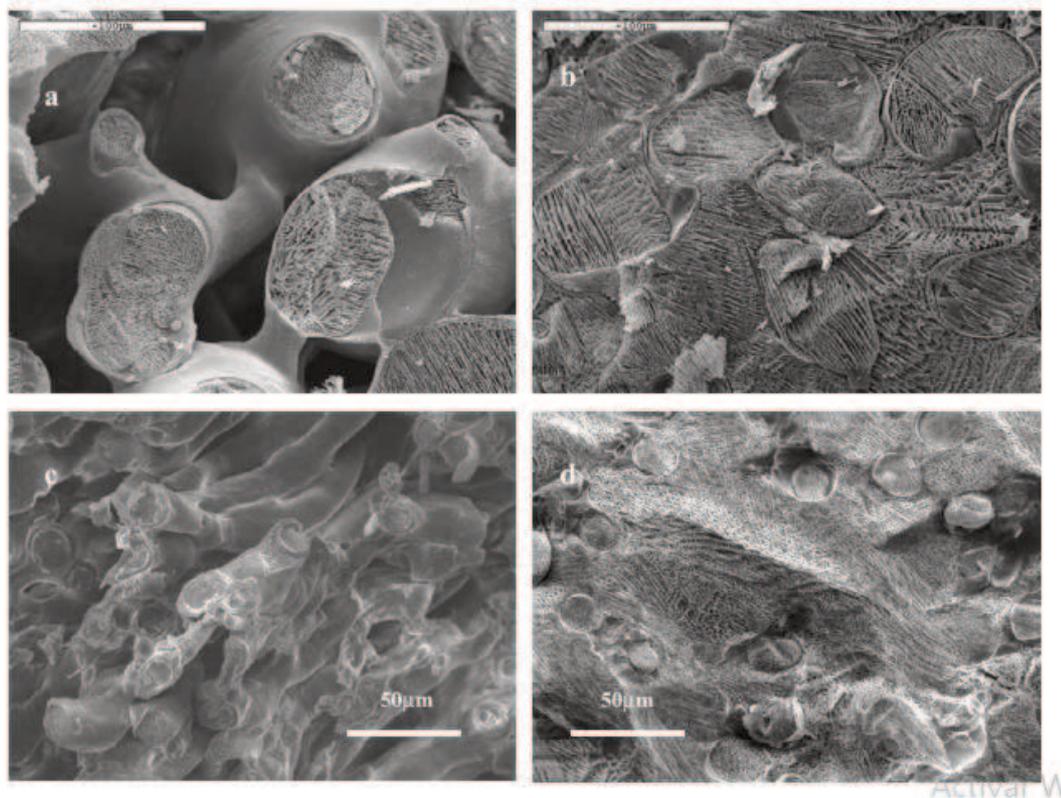
Por otro lado, Mujica *et al.*,(2003), observaron que la WR de manzana, melón y mango frescos cortados sometidos a IV es dependiente de la concentración de la SO, a medida que esta incrementa, la WR es mayor, aunque en manzanas se observan valores negativos para WR, es decir ganancia de peso, cuando la SO tuvo baja concentración, ellos concluyeron que este comportamiento se debe a la porosidad alta de la manzana, que permite un mayor ingreso de la SO cuanto esta es más diluida, no ocurre lo mismo con melón y mango que tienden a deshidratarse debido a su baja porosidad.

#### Microestructura y textura

Las propiedades físicas de los alimentos se correlacionan muy a menudo con su estructura microscópica. Características microestructurales tales como cambios de forma y tamaño en los espacios celulares e intercelulares, están directamente ligados a las propiedades mecánicas del producto por lo tanto su análisis es fundamental dado que la textura es una de las propiedades sensoriales más importantes para el consumidor al momento de la elección de un producto, en ese sentido es interesante observar los cambios generados en la estructura del tejido, para ello se pueden emplear técnicas microscópicas, que permitan ver los cambios de deformación-relajación de la pared celular.

Fito *et al.*, (2000) estudiaron la aplicación por impregnación por vacío y deshidratación osmótica en el desarrollo de alimentos frescos funcionales, fortificados, para ello estudiaron el proceso sobre cilindros de berenjena y cáscara de naranja empleando soluciones osmóticas isotónicas de sacarosa que contenían calcio y sales de hierro, con una presión de vacío de 50 mbar por un tiempo de vacío de 15 min y un tiempo de relajación de 15 min. Ellos evaluaron la efectividad del proceso de IV mediante observaciones con microscopio electrónico de barrido comparando los tejidos impregnados con aquellos no

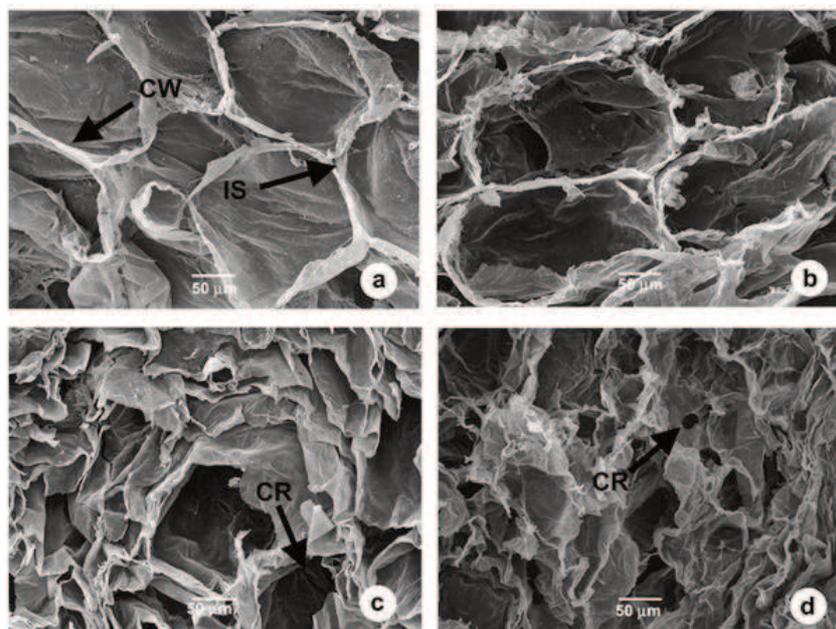
tratados pudieron observar las células presentes en cada tejido vegetal, observado que el parénquima de la berenjena tiene una estructura similar al albedo presente en la cáscara de naranja. Observaron en las muestras impregnadas la presencia de la solución externa que llena los espacios de la muestra, que se refleja a través del aspecto dentrítico continuo de la muestra (Figura 1.11). Ellos concluyeron que la IV permite introducir cantidades controladas de una solución en una estructura porosa con la finalidad de obtener alimentos funcionales.



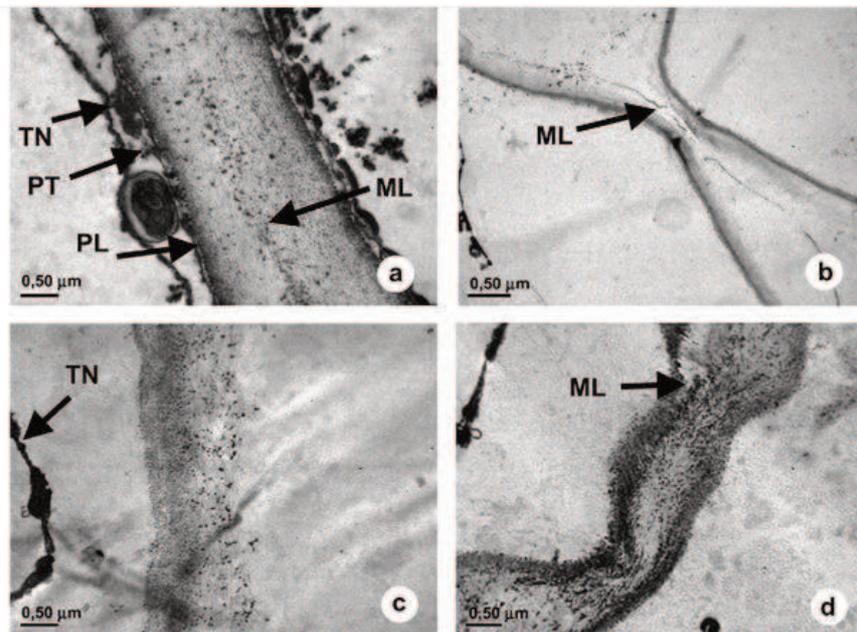
**Figura 1.11.** Micrografías de Crio-SEM de piel de naranja y berenjena antes y después de IV. Piel de naranja (a) y (b) y berenjena (c) y (d) antes (a) y (c) y después (b) y (d) de la impregnación por vacío con una solución osmótica externa. Los espacios intercelulares (IS) en los tejidos, aparecen llenos por la solución externa después de la aplicación de IV.

Moreno et al., (2011) estudiaron el efecto del calentamiento óhmico y la impregnación por vacío en las cinéticas de deshidratación osmótica y la microestructura de frutillas frescas cortadas. El análisis de la microestructura se efectuó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión

(TEM). Ellos observaron que al aplicar el calentamiento óhmico durante la deshidratación osmótica (DO) se observaron efectos significativos sobre la microestructura de las muestras tratadas, las microscopías mostraron también que se produjo una ruptura celular significativa en las frutillas tratadas por deshidratación osmótica + calentamiento óhmico (CO), en comparación con aquellas tratadas por IV+ calentamiento óhmico. Las muestras frescas estaban compuestas por numerosas células que están estrechamente unidas entre sí (Fig.1.12a) por medio de una laminilla media bien limitada (Fig. 1.13a). En las células, una gran vacuola ocupaba la mayor parte del protoplasto, y el plasmalema y el tonoplasto estaban cerca de la pared celular (Fig. 1.12a). Los investigadores observaron que la deshidratación osmótica indujo plasmólisis en las células, estas se deformaron y colapsaron (Figs. 1.12b y 1.13b), los espacios intercelulares se contrajeron y deformaron. El protoplasto pareció retraerse al centro de la célula en plasmólisis (Fig. 1.13b, c y d). Se desprendieron las paredes celulares y se dañó la lámina central (Fig. 1.13b, c y d).

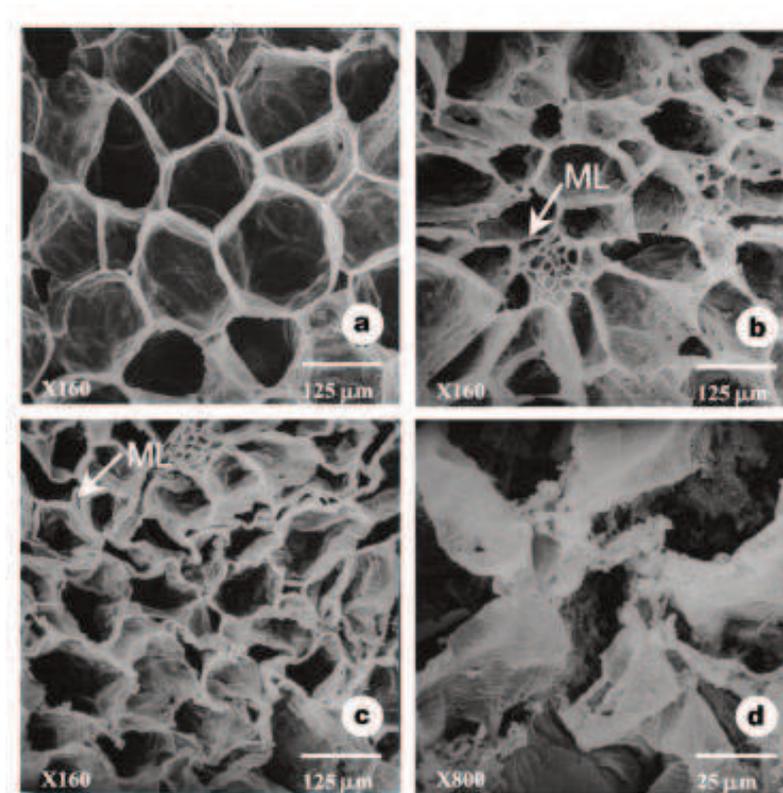


**Figura 1.12.** Micrografías SEM del de frutillas frescas y tratadas por IV. Micrografías de tejido de parénquima de frutillas frescas y tratadas con una solución de sacarosa de 65°Brix a 50 °C. (a) fruta fresca, (b) DO, (c) DO+CO y (d) IV+CO. ES: espacio intercelular. CR: ruptura celular. CW: pared celular.



**Figura 1.13.** Micrografías TEM de tejido de frutillas frescas y tratadas por IV. Tejido de parénquima de frutillas frescas y tratadas con una solución de sacarosa de 65 Brix a 50 C. (a) fruta fresca, (b) DO, (c) DO+CO y (d) IV+CO ML: laminilla media. PL: plasmalema. TN: tonoplasto. PT: protoplasto

Moreno et al., (2004), estudiaron la aplicación de deshidratación osmótica e impregnación por vacío de papaya chilena y su influencia sobre las propiedades fisicoquímicas. Emplearon soluciones osmóticas hipertónicas de sacarosa, la presión de vacío empleada fue de 50mbar. Las observaciones de la microestructura se realizaron con microscopio electrónico de barrido, las microscopías permitieron observar que la DO generó cambios estructurales en la forma y provocó reducción de tamaño de las células de la papaya, asimismo se evidenciaron diferencias entre la aplicación de DO e IV. Ellos observaron el espesor de la laminilla media, mismo que fue mayor en las muestras tratadas por IV (Figura 1.14), lo cual indica que la textura y palatabilidad de las muestras impregnadas por vacío fueron mejores en relación con las muestras tratadas por DO.



**Figura 1.14.** Micrografías SEM, del tejido de frutilla y papaya tratada por IV. Papaya. (a) fruta fresca, (b) DO, (c) (d) IV. ML = laminilla media.

Los procesos internos generados por la aplicación de la tecnología de IV en una matriz alimentaria porosa pueden inducir diferentes cambios celulares que conllevan a la modificación de la estructura y el tejido, en algunos casos se generan mejoras, dependientes de los elementos que componen la SO, o, por el contrario, las condiciones del proceso aplicadas producen una disminución de la calidad sensorial de las frutas u hortalizas debido a cambios desfavorables en su textura.

Las condiciones de procesamiento de IV deben ser las adecuadas para evitar la pérdida de calidad ya que la textura se constituye en uno de los atributos más importantes para determinar la aceptabilidad de frutas frescas por parte de los consumidores. En ese sentido, Faicán *et al.*, (2018) estudiaron la influencia de las variables del proceso en la obtención de manzanas mínimamente procesadas sometidas a IV con SO de sacarosa a 30°Brix y determinaron que manzanas impregnadas a presión de vacío alta (667,3 mbar) perdieron

aproximadamente el 31% de la firmeza, independientemente del tiempo de tratamiento ( $t_v/t_r = 3$  min y  $t_v/t_r = 10$  min) pero observaron que una combinación de presión de vacío baja (66,7 mbar) y tiempos de vacío y relajación cortos (3 min), generaron un incremento leve de la firmeza ( $\approx 1\%$ ) lo cual puede deberse a que una presión de vacío alta genera mayor deformación del tejido, por ruptura de las membranas celulares e incremento de los espacios intercelulares lo que hace que la fruta pierda la resistencia a la fuerza aplicada sobre ella, en cambio una presión de vacío baja mantiene de mejor manera la textura de la fruta. De la misma forma, Faicán *et al.*, (2018), estudiaron el impacto del  $t_v$  y  $t_r$  sobre la textura de manzanas frescas cortadas tratadas por IV con SO de sacarosa a 30°Brix ( $P = 67,7$  mbar  $t_v$  y  $t_r$  en un rango de 1,14 a 14 min). Mediante optimización de respuestas múltiples establecieron que las condiciones del proceso adecuadas para evitar cambios desfavorables en la fuerza máxima (firmeza) y distancia lineal (textura crujiente), implicaron un  $t_v$  intermedio = 7,4 min y  $t_r$  bajo = 1,5 min. De la misma manera, encontraron que tiempos de vacío altos generaron efectos negativos en la textura, ya que los valores de las respuestas estudiadas disminuyeron luego de aplicar los tratamientos de IV.

Por otra parte, Zhao y Xie, (2004), determinaron que la textura de los alimentos sometidos a IV depende del tipo de SO aplicada, ellos observaron que soluciones isotónicas o hipotónicas no generan cambios de firmeza en manzanas frescas cortadas, pero encontraron que la firmeza se reduce al trabajar con soluciones hipertónicas ya que se genera deshidratación del producto de manera simultánea, con pérdida de turgor y elasticidad, asimismo altera la resistencia celular. El incremento de su carácter viscoso, genera cambios en las fracciones de aire y líquido en el producto y en la forma y tamaño del mismo. La pérdida de presión de la turgencia se debe a la plasmólisis o la ruptura del tonoplasto y plasmalema de las células vegetales. La pérdida de la elasticidad se debe al intercambio aire-líquido durante las operaciones de vacío (Alzamora *et al.*, 1997).

La impregnación por vacío puede usarse como una tecnología para mejorar la textura y limitar el goteo del líquido celular. En este caso, se aplica como pre

tratamiento en la materia prima mediante la introducción de iones calcio dentro del tejido. El mecanismo de este proceso se explica por la quelación de los iones calcio por los grupos carboxilo de la pectina, lo cual permite la formación de un gel a bajo pH. Se ha observado que la IV puede facilitar la impregnación de los iones calcio de manera más efectiva en el tejido en comparación con tratamientos de escaldado o de inmersión (Radziejewska *et al.*, 2014).

En este mismo sentido, Quintanilla *et al.*, (2018), indicaron que la mayor concentración de pectina está presente en la laminilla media del tejido, donde el calcio juega un papel importante en el mantenimiento de la estructura de la pared celular formando una estructura firme similar a un gel. La pectina de bajo metoxilo (LMP) forma un gel en presencia de calcio, que actúa como un puente entre los pares de grupos carboxilo de las moléculas de pectina sobre las cadenas de polímeros adyacentes muy cercanos. Las interacciones entre los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y los grupos carboxilo de la pectina se describen por el modelo de la caja de huevos. La pectinmetilesterasa (PME) que es una enzima nativa en frutas y hortalizas, también puede aumentar la firmeza de estos alimentos mediante la desmetilación de la pectina endógena, que formaría LMP que será fácilmente entrecruzada por el calcio. En ese sentido, estos autores estudiaron diferentes agentes para mejorar la firmeza de frambuesas rojas por aplicación de la tecnología de IV, ya que estas frutas tienen un tejido frágil que las vuelve fácilmente perecibles. Para ello usaron varias soluciones de impregnación a diferentes concentraciones: pectina de bajo metoxilo (LMP) (10g LMP/Kg de solución); Cloruro de calcio (30 g Ca/Kg de pectina diluida en agua); pectinmetilesterasa (PME) (10 g/Kg de solución) y Cloruro de Calcio (10 g Ca/Kg de solución). Evaluaron tres presiones de vacío = 33,9 kPa; 50,8 kPa y 67,8 kPa, tres  $t_v$  = 5, 7 y 15 min y dos temperaturas = 20 y 40°C. Definieron que un nivel de vacío de 50,8 kPa con un  $t_v$  = 7 min a una temperatura de 20°C en la solución de cloruro de calcio en pectina, son la mejor alternativa para mejorar la firmeza e integridad de las frambuesas y este tratamiento puede ser usado como un pretratamiento para la congelación de estos frutos. Por su parte, Xie y Zhao, (2003), evaluaron la firmeza de manzanas frescas cortadas sometidas a IV con

jarabe de maíz de alta fructosa (HFCS) a dos concentraciones de SO (20 y 50%), más adición de una mezcla de gluconato de calcio más lactato de calcio al 5,24% y 7,5% (GC) y un SO del 0,04% de lactato de Zinc (LZ). Las muestras tratadas con SO de 50% de concentración generaron una reducción de la fuerza máxima de las manzanas, mientras que aquellas tratadas con SO al 20% resultaron menos afectadas. De la misma forma, la integración del 5,4% de GC en la SO incrementó significativamente la fuerza máxima de la fruta, obteniéndose un valor similar a la manzana fresca. La adición de GC generó un incremento en la resistencia mecánica de los tejidos, debido a un mejoramiento de la cohesión celular y aumento de la integridad de la pared celular. Según los autores, la pérdida de elasticidad en manzana sometida a IV en una solución isotónica se atribuye al intercambio líquido-aire durante la operación de vacío; mientras que la IV con SO hipertónicas genera descenso de la firmeza de forma significativa debido a la pérdida de turgor celular generada por la desunión celular y reducción del módulo mecánico de los tejidos vegetales.

De la misma manera, Guillermin *et al.*, (2008), observaron que la tecnología de IV puede ser empleada para adicionar pectinmetilesterasa en piezas de fruta de manera más rápida y homogénea que al usar tratamientos como el escaldado, con la finalidad de mejorar la firmeza de manzanas tratadas térmicamente. Degraeve *et al.*, (2003) estudiaron el efecto de fortalecimiento de la estructura de manzana, frutillas y frambuesas frescas cortadas que posteriormente fueron pasteurizadas; para ello se aplicó un tratamiento previo de IV con una solución de pectinmetilesterasa (PME) e iones calcio, observándose que las frutillas y las manzanas son buenas candidatas para la aplicación del tratamiento de IV con la finalidad de reducir la pérdida de firmeza luego de aplicar tratamientos de pasteurización en las frutas.

Senturk *et al.*, (2018), estudiaron la aplicación de un recubrimiento comestible basado en una solución de alginato de sodio, aplicado a melón fresco cortado, por un tratamiento de inmersión y por la tecnología de IV llevada a cabo bajo tres presiones=50, 100 y 150 mbar, tiempos de vacío de 4, 10 y 15 min y  $t_r$ = 15 min; obteniéndose el mayor incremento de firmeza (13,4%) con una

presión de 100 mbar y  $t_v=10$ min, mientras que el mayor incremento de la firmeza por el tratamiento de inmersión fue del 9,3%. Los investigadores concluyeron que los dos procesos mejoraron la firmeza de las frutas, sin embargo, la aplicación de IV generó mejores resultados.

### Sabor y color

Por otra parte, se conoce que la IV puede modificar los atributos sensoriales como el sabor y el aroma, y dependiendo de la naturaleza del alimento se pueden emplear diferentes soluciones osmóticas, en general para las frutas se usan azúcares y para hortalizas, sales. Blanda *et al.*, (2008), aplicaron un tratamiento de IV en manzanas frescas cortadas con soluciones hipertónicas que contenían dextrosa, sacarosa, ácido ascórbico, cloruro de calcio y cloruro de sodio. Después de la IV las muestras fueron congeladas. Se generó un incremento importante en el dulzor de las manzanas y aquellas que no fueron impregnadas no fueron sensorialmente aceptadas, además sufrieron pérdidas de los jugos celulares.

Radziejewska *et al.*, (2014), observaron una extensión del tiempo en el cual se mantenía el sabor de lichi sometido a IV con SO hipertónicas de sacarosa, cisteína, ácido ascórbico y 4-hexilresorcinol; la aceptabilidad en cuanto al sabor del fruto sometido a IV con las diferentes SO se mantuvo después de 4 días de almacenamiento, mientras que muestras sometidas a DO a presión atmosférica en una SO de agua, disminuyeron su aceptabilidad.

Roble *et al.*, (2011); Ferreira *et al.*, (2010) y Martin-Belloso *et al.*, (2005), observaron que manzanas frescas cortadas sin ningún tratamiento adicional, tienen la peculiaridad de presentar pardeamiento enzimático, afectando así las características sensoriales y bioquímicas; concluyendo así que el uso de tratamientos a base de ácido cítrico (AC) (reductor de pH y quelante de  $Cu^{+}$ ) y AA (agente reductor y secuestrante de oxígeno) son indispensables para mantener o mejorar la calidad “de fresco” de vegetales frescos cortados. El

pardeamiento enzimático es uno de principales procesos de deterioro en la calidad de frutas y hortalizas frescas cortadas. Es ocasionado por la oxidación enzimática de fenoles y quinonas por acción de enzimas, típicamente polifenoloxidasas, en presencia de oxígeno. Las quinonas se forman y luego son sometidas a nuevas reacciones, induciendo a la generación de pigmentos coloreados oscuros (Ozoglu y Bayindirli, 2002). Sustancias químicas como AA, AC y sulfitos, son usados tradicionalmente para prevenir reacciones de pardeamiento indeseables, sin embargo, también existe interés en identificar agentes anti pardeantes naturales, en ese sentido, la miel, ha sido investigada por su actividad antioxidante y sus potenciales aplicaciones como agente anti pardeante natural en alimentos. La miel posee actividad antioxidante que se atribuye a una variedad de fuentes e ingredientes funcionales que incluyen vitamina C, péptidos pequeños, flavonoides y otros compuestos fenólicos, enzimas (glucosa oxidasa y catalasa), y su bajo pH (Jeon y Zhao, 2005). Oszmianski y Lee, (1990), sugirieron que la miel no solamente inhibe la oxidación enzimática de polifenoles, sino también convierte una parte de las *o*-quinonas en sus polifenoles originales. Se conoce que este tipo de reacción ocurre con ácido ascórbico, el cual rápidamente invierte las *o*-quinonas a polifenoles. Se espera que los compuestos fenólicos de la miel, inactiven eficientemente varias especies reactivas de oxígeno con alto potencial (Robards *et al.*, 1999). A pesar de que estos compuestos fenólicos tienen doble rol, como antioxidantes y como substratos para reacciones oxidativas de oscurecimiento, existe un gran interés en su influencia positiva sobre la reacción de pardeamiento enzimático. Las enzimas en la miel también pueden actuar como antioxidantes promoviendo la remoción de oxígeno. Un péptido de peso molecular de 600 en miel puede además contribuir al efecto inhibitorio de la actividad de la polifenoloxidasa en uvas blancas y manzanas frescas cortadas (Oszmianski y Lee, 1999). El contenido antioxidante de la miel está influenciado por la región geográfica de la fuente floral (Chen *et al.*, 2000; Gheldof *et al.*, 2002).

Jeon y Zhao, (2004), observaron que los tratamientos de IV favorecen el ingreso de miel en el interior de las frutas haciendo más efectivo el proceso de

prevención del pardeamiento enzimático, en comparación con una simple inmersión de la fruta; sin embargo también corroboraron que al usar una miel oscura, se puede generar una reducción inicial en los valores de L\*, causando un problema potencial en frutas de color claro como la manzana ya que la fruta llega a tornarse de un color similar a la miel. Por su parte Chen *et al.*, (2000), trabajaron con manzanas frescas Red Delicious, las cuales fueron trituradas y homogenizadas en un estomacher con 1% de miel y otros antioxidantes como AA (0.1%) para corroborar la inhibición del pardeamiento y vieron que la miel con AA generó una inhibición del pardeamiento 3 veces superior a aquella obtenida con adición de miel sola.

### Potencial saludable

La impregnación por vacío es una alternativa para la incorporación de nuevos compuestos y/o restituir pérdidas o retener elementos nutritivos y/o bioactivos, que se pierden durante las diferentes operaciones de procesamiento y almacenamiento.

Gonzalez-Perez *et al.*, 2022 estudiaron la impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas empleando una solución osmótica de jugo de uva y evaluaron diferentes condiciones del proceso, tales como presión de vacío (100-500 mmHg), tiempo de tratamientos (10- 30 min) y concentraciones de la SO (40- 60°Brix), efectivamente ellos encontraron un incremento del potencial bioactivo de las manzanas impregnadas por vacío dado por el aumento en contenido total de antocianinas monoméricas, actividad antioxidante y contenido de fenoles totales, ya que consiguieron incorporar el jugo de uva, en ese sentido ellos vieron que una presión de vacío más alta (500 mmHg) y un tiempo de vacío menor a 10 min para obtener mayor incremento de compuestos bioactivos sin modificaciones considerables en la morfología del producto.

Cortez *et al.*, (2021) estudiaron la optimización de las condiciones del proceso de impregnación por vacío para mejorar la calidad y el potencial saludable de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío empleando una

solución osmótica de sacarosa a 30°Brix que contenía ácido ascórbico y ácido cítrico, con una presión de vacío de 67,7 mbar, variando los tiempos de vacío y relajación en un rango de 1,14 min a 14 min, ellos encontraron incrementos en el potencial bioactivo dado el aumento del contenido de compuestos bioactivos como la vitamina C obtenido incrementos de hasta 53 veces en su contenido. Los tiempos de vacío y relajación óptimos obtenidos para conseguir este objetivo y a su vez minimizar la tasa de respiración y maximizar propiedades relacionadas a la propiedades sensoriales fue de 10,18 y 6,21 min respectivamente.

Nawirska-Olszanska et al., (2019) estudiaron la tecnología de impregnación como método incorporación de compuestos bioactivos en frutos de chokeberry como tiramiento previo al secado, para ello emplearon jugo de manzana y pera. con tres niveles de presión de vacío (4, 6 y 8 kPa), el tratamiento de IV permitió incrementar el contenido de polifenoles a excepción de antocianinas, que no se encuentran presentes en la SO y generó una protección de las propiedades bioactivas del fruto secado, asimismo, se demostró un efecto positivo de la impregnación sobre la estabilidad de los compuestos antioxidantes de la fruta después del secado. Una presión de vacío de 4 kPa demostró ser la más idónea; para la obtención de un mejor producto en términos del contenido de compuestos bioactivos.

Krecisz et al., (2021) estudiaron la influencia de diferentes métodos de secado y la impregnación por vacío como pre tratamiento al secado sobre papas dulces mínimamente procesadas. Emplearon 4 soluciones osmóticas: solución de cloruro de sodio (4°Brix), jugo de col + cloruro de sodio (6,5°Brix), jugo de cebolla + Cloruro de sodio (10,5°Brix) una solución osmótica de jugo col+ jugo de cebolla+ cloruro de sodio (9,6°Brix) con un tiempo total de impregnación de 26 min, llevado a cabo en tres etapas, la primera aplicando una presión de vacío de 6kPa por 2min en la muestra sin SO, seguida de una etapa en la que se adicionó 700 g de la SO manteniendo un tiempo de vacío de 4min y finalmente se restauró la presión osmótica por un tiempo de 20min. Ellos encontraron que la impregnación por vacío como pretratamiento al secado permitió obtener un

producto con un alto incremento en el contenido de compuestos fenólicos, carotenoides y clorofilas al ser impregnadas con jugo de col y cebolla, respecto a las patatas que fueron secadas sin el tratamiento previo de impregnación

Tappi *et al.*, (2017), estudiaron la calidad y estabilidad de manzanas mínimamente procesadas sometidas a IV con diferentes SO, con y sin adición de extracto de té verde (GTE), las soluciones empleadas fueron: a) sacarosa, b) sacarosa + GTE, c) sacarosa + AA y sacarosa + AA +GTE. Los investigadores encontraron que el contenido de fenoles totales fue más alto en manzanas impregnadas con GTE, lo mismo ocurrió con la actividad antioxidante en la cual se obtuvieron valores 10 a 20 veces más altos en comparación con la fruta tratada con las SO sin GTE. Esto puede deberse al alto contenido de flavonoides presentes en el té verde a los cuales se les atribuye una alta capacidad antioxidante.

Hironaka *et al.*, (2011) estudiaron el enriquecimiento de papas enteras con AA por IV usando una SO con AA al 10% con presión de vacío=70 cmHg a diferentes tiempos de vacío (entre 0-60 min), encontrando que la concentración de AA de las papas aumentó a medida que incrementó el tiempo de vacío (máx. 150 mg / 100 g a 60 min) obteniéndose un contenido de AA 21 veces más alto en comparación con la materia prima. Además, un estudio de cocción mostró que 100 g de papas sometidas a IV y cocidas al vapor por 25 min podían proporcionar a los adultos entre el 90 y el 100% de cantidad diaria recomendada de AA (por 100 mg), sin embargo, se observó una reducción del 42% del contenido inicial de AA (150 mg/100 g) luego del proceso de cocción; de igual forma, el estudio demostró que las papas tenían una concentración de AA relativamente alta (50 mg / 100 g) a los 14 días de almacenamiento a 4 ° C. El tratamiento IV fue útil para enriquecer las papas con AA.

Por su parte Lin *et al.*, (2006), aplicaron la tecnología de IV (P= 100 mmHg, tv= 15 min y tr= 30 min) en peras frescas cortadas con una SO de miel más adición de vitamina E, con la finalidad de enriquecer la fruta con dicha vitamina; la SO consistió en una dilución de miel en agua al 20% con adición del 0,4-0,8% de  $\alpha$ -tocoferol acetato, tocoferol libre y  $\alpha$ -tocoferol acetato soluble en agua. Los

investigadores encontraron que el contenido de vitamina E en las peras se incrementó de 80 a 100 veces respecto al contenido de la fruta sin impregnar y luego de dos semanas de almacenamiento las frutas presentaron una retención de la vitamina del 65-80%.

Por otro lado, Cortez *et al.*, (2018), estudiaron el impacto de los tiempos de vacío y relajación sobre el potencial saludable de manzanas frescas cortadas sometidas a IV con SO de sacarosa más adición del 1% de AA y 1% de AC y observaron un incremento de la actividad antioxidante a medida que  $t_v$  y  $t_r$  aumentaron, alcanzando incrementos superiores al 100%, con respecto a la fruta sin impregnar; lo mismo ocurrió con el contenido de fenoles totales obteniéndose un incremento máximo aproximado del 60%. El contenido de AA en la fruta tratada obtuvo incrementos muy grandes (7000%) al aplicar  $t_v$  altos

## 2. OBJETIVOS

## 2.1. OBJETIVO GENERAL

Optimizar las tecnologías aplicadas en el procesamiento y conservación de frutillas y manzanas mínimamente procesadas, poniendo énfasis en la retención y/o incremento del potencial saludable mejorando también sus propiedades sensoriales, mediante la aplicación de tratamientos de impregnación por vacío suave.

## 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

**Objetivo específico 1:** Estudiar la adición de vitamina C y la incorporación de antocianinas con soluciones isotónicas de jugo natural de frutillas sobre frutillas en mitades, despedunculadas para mejorar el aporte de compuestos bioactivos o reponer las pérdidas producidas en el mínimo procesamiento de la fruta mediante impregnación por vacío.

**Objetivo específico 2:** Estudiar la adición de vitamina C en manzanas frescas cortadas con soluciones hipertónicas de miel mediante impregnación por vacío, para mejorar el aporte de compuestos bioactivos de la fruta y retrasar el pardeamiento de la misma.

**Objetivo específico 3:** Estudiar las respuestas a los tratamientos aplicados en las matrices vegetales mediante ensayos de almacenamiento refrigerado valorando potencial saludable, calidad sensorial, calidad microbiológica.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE IMPREGNACIÓN POR VACÍO

Las Figuras 3.1. y 3.2, muestran el equipo de impregnación por vacío utilizado en el desarrollo de la presente tesis; este consiste en un sistema que se compone de una bomba de vacío (Bombacio 31 042/169) ①, conectada a una primera válvula de dos vías ② la cual controla el nivel de vacío en la primera parte del sistema, es decir desde el punto ② hasta el punto ④; a su vez, la línea cuenta con un kitasato ③ que contiene sílica gel con el objetivo de proteger la bomba del paso de humedad. El kitasato por su parte se conecta a un desecador de vacío ⑥, mismo en el que se llevará a cabo el proceso de impregnación. Este contenedor tiene una válvula a la entrada ④ que regula el nivel de vacío que se genera en su interior. El sistema además cuenta con un vacuómetro ⑤ para medir el nivel de vacío. El desecador tiene una capacidad total de 6L y en su interior se coloca una canastilla de malla plástica ⑦ que va a contener el material vegetal ⑧ a impregnar. La solución osmótica a emplear en el proceso rodea la canastilla con la muestra ⑦ ⑧.



**Figura 3.1.**Esquema del equipo de impregnación por vacío diseñado para el desarrollo de la tesis



**Figura 3.2.**Equipo de impregnación por vacío

## 3.2. ENSAYOS DE IMPREGNACIÓN POR VACÍO

### 3.2.1. Materia prima y procedimientos previos a la impregnación por vacío

#### *Frutilla*

La materia prima empleada en la presente tesis corresponde a frutillas de la variedad *Festival*, cultivadas en la localidad de Coronda, Provincia de Santa Fe (Figura 3.3). Previo al almacenamiento, las frutillas fueron transportadas hacia el Instituto de Tecnología de Alimentos en ciudad de Santa Fe por un período de 1,5 h y posteriormente colocadas en cámara refrigerada por un tiempo de 24 h que permitió un preenfriamiento, hasta alcanzar la temperatura de almacenamiento. Las frutillas fueron almacenadas en cámara de frío a una temperatura de 1,5°C, hasta el momento en el que se efectuaron los ensayos. Posteriormente, las frutas fueron acondicionadas, eliminando el cáliz y pedúnculo, luego se realizó un primer lavado de la fruta por inmersión en agua de red por un tiempo de 2 min y posterior escurrido; después las frutillas se cortaron en mitades y se sometieron a un segundo de lavado y desinfección por inmersión, empleando ácido peracético a 20mg L<sup>-1</sup> por 52s, en condiciones óptimas de procesamiento (maximizando la retención de compuestos bioactivos con 2 log de reducción de microorganismos aerobios mesófilos) según Van De Velde *et al.*, (2012).



**Figura 3.3.**Frutillas cultivadas en la localidad de Coronda-Santa Fe

### ***Manzana***

Se emplearon manzanas variedad *Granny Smith* obtenidas en el mercado local (Figura 3.4), las frutas fueron almacenadas en cámara de frío a una temperatura de 1,5°C hasta el momento de ejecución de los ensayos. Posteriormente las manzanas fueron seleccionadas, descartando aquellas con daños y se lavaron por inmersión en agua de red por un tiempo de 2 min; luego se pelaron, descorazonaron, cortaron en cubos de 1,5 cm de lado y finalmente fueron pesadas previa ejecución del tratamiento de impregnación por vacío (IV).

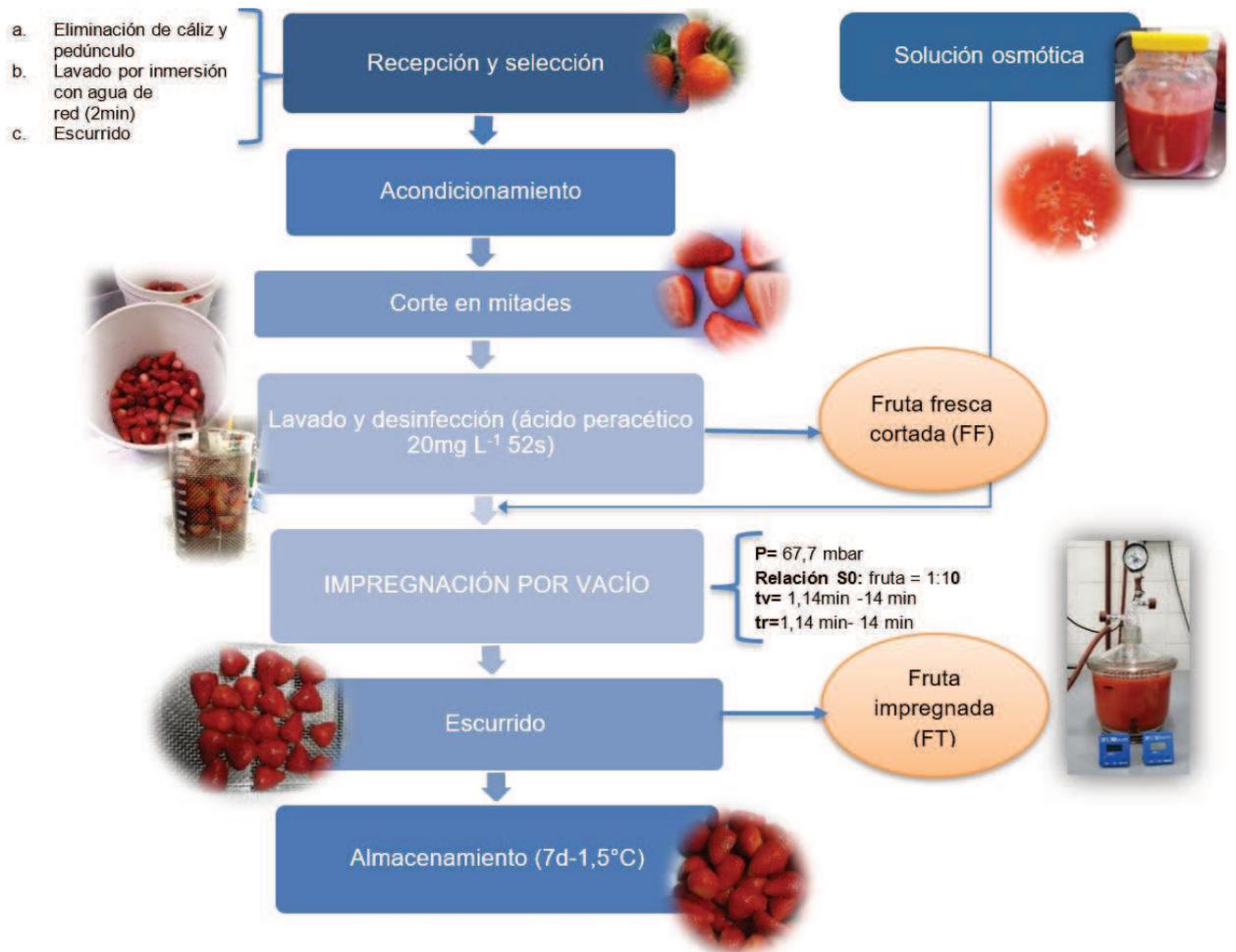


**Figura 3.4.** Manzanas var. *Granny Smith* adquiridas en el mercado local

### **3.2.2. Proceso de impregnación por vacío en frutillas**

Para la obtención de la solución osmótica de jugo natural de frutilla, se utilizó una juguera eléctrica que permitió la obtención del jugo separándolo de las semillas y fibra. La solución osmótica obtenida, denominada jugo natural de frutilla (JF) tuvo una concentración de 8,3 °Brix, más adición del 1% de ácido cítrico (AC) y el 1% ácido ascórbico (AA). La SO empleada en la presente tesis fue seleccionada en base a estudios preliminares (Faican, 2022)

Los ensayos de impregnación de las frutillas en mitades se llevaron a cabo a temperatura ambiente (22°C), con presión de vacío suave de 67,7 mbar, con tiempo de vacío (tv) correspondiente a un rango de 1,4min a 14 min y con tiempos de relajación (tr) de 1,4min a 14min, según el diseño experimental. La relación fruta:SO aplicada en el proceso fue de 1:10p/p. Una vez transcurridos los tv y tr, las frutillas impregnadas fueron ubicadas en una malla durante 1min para escurrir la solución osmótica presente en la superficie y luego sobre papel absorbente para retirar el excedente de SO, 30s de un lado y 30s del otro; finalmente las muestras fueron pesadas y se ejecutaron los análisis correspondientes, una parte fue llevada a almacenamiento en cámara de frío (1,5 °C) para posteriores análisis (Figura 3.5).



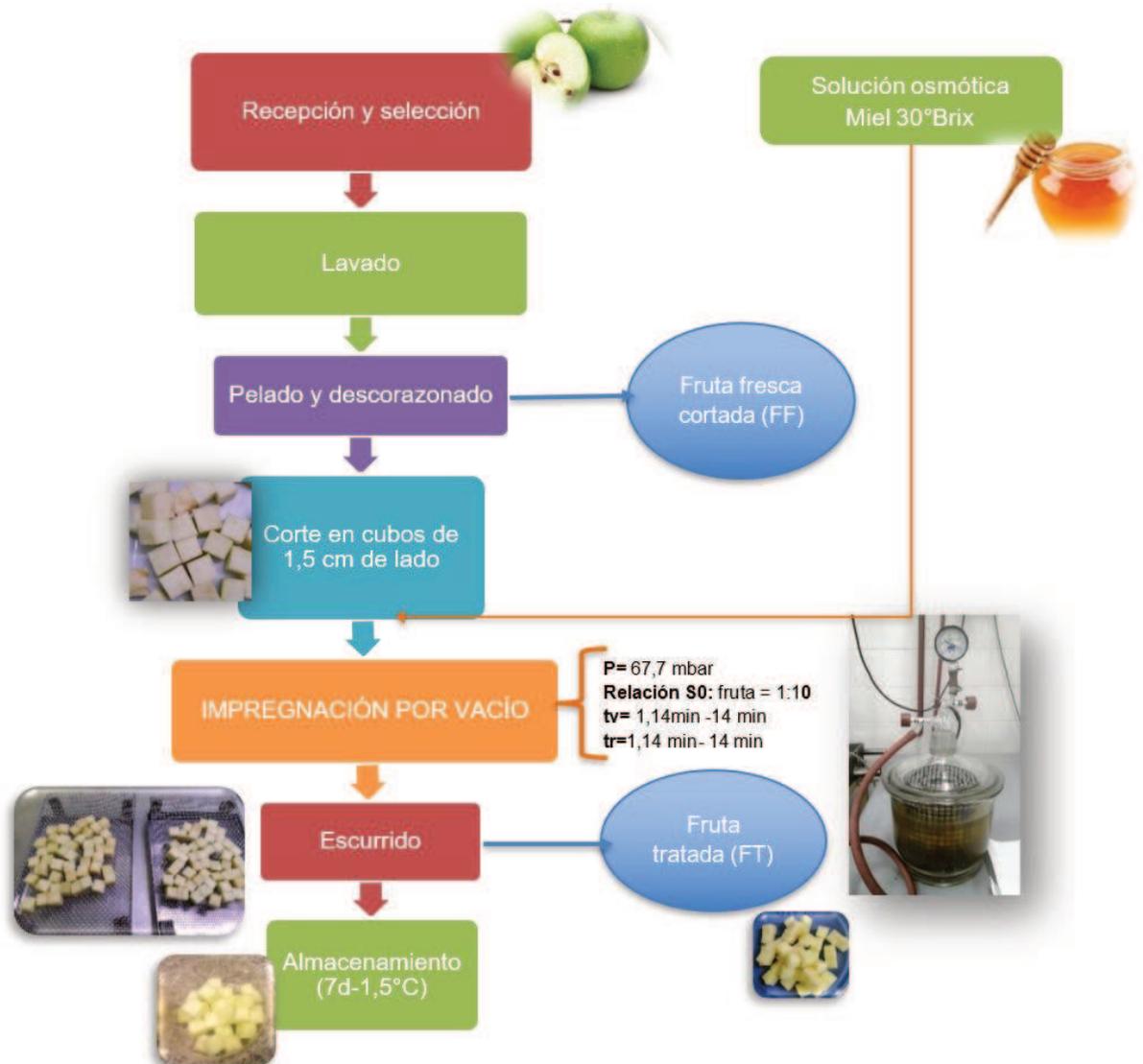
**Figura 3.5.**Proceso de impregnación por vacío para frutillas frescas cortadas con una solución osmótica de jugo natural de frutilla

### **3.2.3. Proceso de impregnación por vacío en manzana**

Para la obtención de la solución osmótica de miel se empleó la miel obtenida en la localidad de Monte Vera, Provincia de Santa Fe; la miel fue almacenada a  $22 \pm 1,0$  °C y 60% HR, hasta el momento de ejecución de los ensayos.

Cubos de manzanas *Granny Smith* fueron impregnados por vacío, para lo cual se emplearon  $t_v = 1,14 - 14$  min y  $t_r = 1,14 - 14$  min, de acuerdo a lo establecido en el diseño experimental, usando una presión de vacío suave de 67,7mbar y relación fruta: SO= 1:10p/p a una temperatura de 22°C. Los tratamientos se efectuaron utilizando una solución osmótica de miel a 30°Bx más adición del 0,5% de ácido cítrico y 0,5% de ácido ascórbico. La solución osmótica empleada en la presente tesis fue seleccionada en base a estudios previos (Faican, 2022).

Después de la impregnación, los cubos se ubicaron en una malla durante 1 min para escurrir la solución osmótica de la superficie y luego fueron colocados sobre papel absorbente para retirar el excedente de SO, de cada cara. Después de la impregnación, las muestras fueron pesadas y se ejecutaron los análisis correspondientes, una parte fue llevada a almacenamiento en cámara de frío a 1,5 °C para posteriores análisis. La Figura 3.6, muestra el proceso de impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas



**Figura 3.6.** Diagrama de flujo del proceso de impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas en una solución osmótica de miel a 30°Brix

### 3.3. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

Diferentes determinaciones analíticas se efectuaron sobre la fruta fresca cortada (FF) y fruta fresca cortada tratada por IV (FT<sub>i</sub>), en donde i= día de aplicación de los tratamientos de impregnación por vacío (día cero, i=0) y después del período de almacenamiento (día 7, i=7). El almacenamiento se efectuó en cámara frigorífica a 1,5°C por 7 días en recipientes de plásticos PET de 0,42mm de espesor, área superficial de 0,045m<sup>2</sup>, con permeabilidad para O<sub>2</sub>= 1,62 x 10<sup>1</sup> mL mil cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>atm<sup>-1</sup> y para CO<sub>2</sub>= 3,60 x10<sup>-1</sup> mL mil cm<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>atm<sup>-1</sup>; para posterior análisis.

#### 3.3.1. Determinación de parámetros de transferencia de masa

Los parámetros de transferencia de masa: ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) fueron determinados en base a las ecuaciones 3.1; 3.2 y 3.3 respectivamente:

$$\%SG = \frac{M_f(100-H_f) - M_i(100-H_i)}{M_i} \quad (3.1)$$

$$\%WL = \frac{(M_i \times H_i) - (M_f \times H_f)}{M_i} \quad (3.2)$$

$$\%WL = WL - SG \quad (3.3)$$

Donde:

M<sub>i</sub> = peso de fruta fresca cortada (FF) (g)

M<sub>f</sub> = peso de la fruta fresca cortada tratada por IV (FT) (g)

H<sub>i</sub> = humedad relativa de fruta fresca (%)

H<sub>f</sub> = humedad relativa de fruta tratada (%)

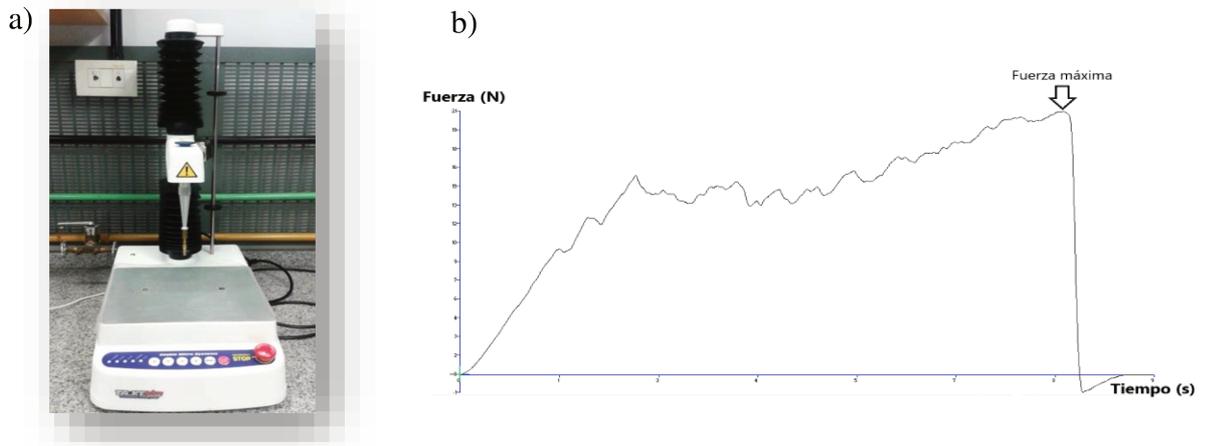
Valores negativos para SG, WL y WR indican que existe pérdida de sólidos, ganancia de agua e incremento de peso, respectivamente.

### **3.3.2. Sólidos Solubles, pH y contenido de humedad**

Para la determinación de sólidos solubles (SS), pH y humedad relativa previamente se trituraron las muestras en un homogeneizador. La medición de SS se realizó con un refractómetro portátil digital PAL-ALFA (Atago, Tokio, Japón). El pH se obtuvo con un medidor de pH LAQUAtwin B-113 (Horiba Ltd. Kyoto, Japón). El contenido de humedad se determinó con un analizador de humedad PMR50 (RADWAG. Polonia). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

### **3.3.3. Firmeza**

Para la determinación de firmeza, se utilizó un analizador de textura TA. XT Plus (Stable Micro System). Se realizó un test de penetración utilizando una punta cilíndrica de 11 mm de largo y 4mm de diámetro, con una celda de carga de 5Kg para determinación en frutillas y una celda de 50Kg para las manzanas. La distancia de penetración para muestras de frutilla fue de 6 mm, mientras que para las manzanas fue de 8 mm; en los dos casos, la velocidad de test fue de 1 mm s<sup>-1</sup>. Se utilizó el software *Exponent* para determinación de fuerza máxima (F) expresada en Newton (N). El valor F representa el punto máximo de fuerza ejercida por la punta para penetrar en la muestra (Figura 3.7). Se midieron 10 mitades de frutillas, así como 10 cubos de manzana y se informó el valor medio.



**Figura 3.7.a)** Texturométero TA.XT Plus (Stable Micro System) empleado en el análisis b) curva de penetración tiempo(s) vs fuerza máxima (N)

### 3.3.4. Parámetros de color

La medición del color para las muestras se realizó con un espectrofotómetro Minolta CM 508-d con ángulo del observador de 10° con iluminante D65 y SCE (componente especular excluido) (Piagentini y Pirovani, 2017). Los parámetros de color evaluados fueron  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $h_{ab}$ ,  $C^*_{ab}$  y la diferencia total de color ( $\Delta E^*_{ab}$ ). La luminosidad varía de  $L^*=100$  (blanco) a  $L^*=0$  (negro); el parámetro  $C^*_{ab}$  indica la cromaticidad o saturación,  $h_{ab}$  es el ángulo de tono, 0° (rojo), 90° (amarillo), 180°(verde) y 270°(azul) (Figura 3.8). Se midieron 10 mitades de frutillas, así como 10 cubos de manzana y se informó el valor medio obtenido.

La diferencia total de color  $\Delta E^*_{ab}$  se define a través de la siguiente ecuación:

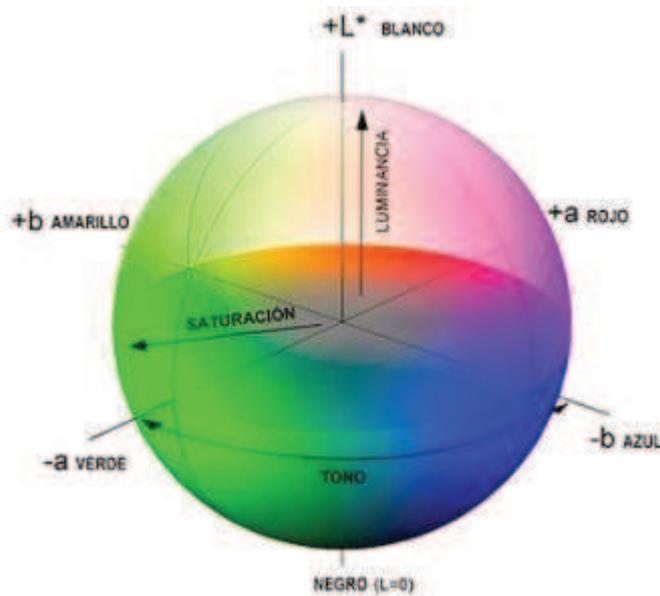
$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.4)$$

Donde:

$$\Delta L^* = L^*_{FTi} - L^*_{FF}$$

$$\Delta a^* = a^*_{FTi} - a^*_{FF}$$

$$\Delta b^* = b^*_{FTi} - b^*_{FF}$$

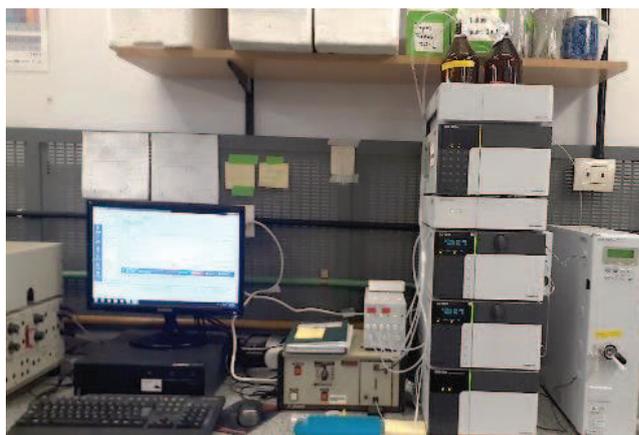


**Figura 3.8.**Coordenadas de color en el sistema CIE Lab

### 3.3.5. Determinación de Vitamina C

El ácido L-ascórbico (AA) es la principal forma bioactiva de la vitamina C, este es oxidado de manera reversible a ácido L- dehidroascórbico (ADHA). Esta última forma también exhibe actividad biológica pero una oxidación posterior e irreversible genera ácido dicetoglicónico, que no tiene actividad biológica. Por lo tanto, la vitamina C, como el ácido ascórbico total (AAT) en las frutas, puede asumirse igual a la suma de los contenidos de AA y DHAA (Van de Velde *et al.*, 2012).

Para la determinación de Vitamina C se empleó un cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC) SHIMADZU serie LC-20A equipado con una columna de fase reversa Gemini 5 $\mu$  C18 110A de 250 x 4,6 mm, unida a un guarda columna Phenomenex (Phenomenex Inc., CA, USA) y un detector SPD-M20A (Figura 3.9).



**Figura 3.9.** Cromatógrafo líquido de alta resolución SHIMADZU serie LC-20A

El proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente (22°C), con un flujo de 1,150 mL min<sup>-1</sup> con un tiempo total de corrida en el HPLC de 5 min. La fase móvil (FM) empleada fue una solución buffer 0,03M de acetato de sodio/ácido acético pH= 5,8 (95%), metanol (5%). La FM fue filtrada mediante un filtro Millipore de 0,45µm y desgasificada empleando vacío.

### ***Curva de calibrado***

En primer lugar, se secó AA durante un periodo de 1h a 105°C y se preparó una solución estándar de AA de 4g L<sup>-1</sup> en solución extractante (SE) de ácido metafosfórico 30 g L<sup>-1</sup> + ácido acético 80 g L<sup>-1</sup>. Posteriormente se realizó una dilución tomando 0,5mL de la solución de AA + SE y se agregaron 10mL de SE.

Para la curva de calibrado se tomaron 4mL de la mezcla anterior y se agregaron 1,3mL de solución de DL-ditiotreitol (DTT) de 5g L<sup>-1</sup>, preparada en fosfato de potasio dibásico, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 2,58M. Se dejó esta solución durante 2h en la oscuridad a temperatura ambiente. A partir de esta solución se efectuaron diluciones con FM de 0 a 80 ppm de concentración, las soluciones fueron filtradas e inyectadas en el HPLC.

Posteriormente se elaboró una curva de calibrado de área para AAT (mv.s) vs concentración de AAT, (mg AAT L<sup>-1</sup>) (Figura 3.10), finalmente, mediante regresión lineal se obtuvo la ecuación de la curva, con los coeficientes correspondientes (Ecuación 3.5).

$$A = 83.144x + 27.186 \quad (3.5)$$

Donde:

A= área (mv.s)

x= concentración de AAT (mg AAT L<sup>-1</sup>)

Ordenada al origen= 27.186 mv.s

Pendiente= 83.144 [mv.s] [mg AAT L<sup>-1</sup>]<sup>-1</sup>

Para la obtención del contenido de AAT se despeja el valor de x de la ecuación 3.5, obteniéndose:

$$AAT(mgAAT Kg_{frutilla}^{-1}) = \left\{ \left( \frac{A - 27.186}{83.144 \times d} \div 1000 \right) \times \left( \frac{VSE}{pm} \times 1000 \right) \right\} \quad (3.6)$$

Donde:

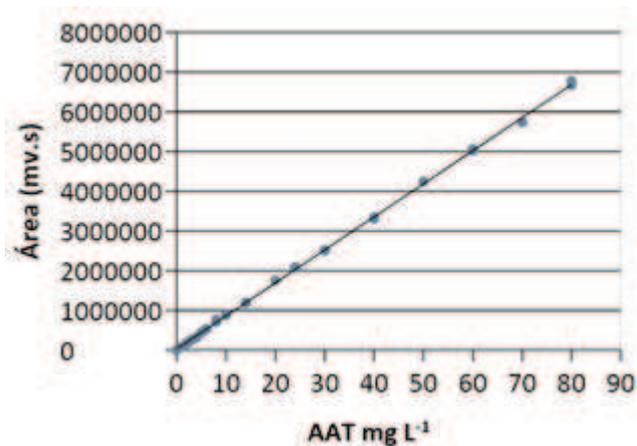
d= factor de dilución (vol. extracto (mL)/vol. total de reacción (mL))

1000= factor de conversión de L a mL

VSE= volumen de solución extractante (mL)

pm= peso de la muestra (g)

1000= factor de conversión de g a Kg



**Figura 3.10.** Curva de calibrado de concentración de AAT (mg L<sup>-1</sup>) vs área (mv.s)

Obtención de extractos con muestras de frutilla y cuantificación del contenido de ácido ascórbico total

Para la extracción, se tomó una cantidad representativa de muestra (100 g) y se trituró en un homogeneizador. Se tomaron 2g de muestra triturada, se agregaron 10mL de solución extractante (30 g L<sup>-1</sup> de ácido metafosfórico y 80 g L<sup>-1</sup> de ácido acético) y se homogeneizó la mezcla durante 1 min en un vortex V-1 plus BOECO y se sonicó en un ultrasonido TESTLAB por 15 min y se centrifugó a 12000G durante 20 min en centrífuga refrigerada de alta velocidad Heal Force Nefuge 18R a 4 °C. Se separó el sobrenadante que será usado para los análisis de vitamina C (Van de Velde et al, 2012).

Alícuotas de sobrenadante fueron pretratadas con una solución de DTT (0,005 g L<sup>-1</sup> preparado en 2,58 mol L<sup>-1</sup> de fosfato de potasio dibásico). Las muestras se filtraron en membranas Millipore de 0,45µm para posteriormente ser inyectados en HPLC. Los extractos fueron realizados por duplicado.

Para cuantificar el ácido ascórbico total (AAT) o Vitamina C, se tomó 1mL de extracto y se agregó 0,2mL de DL-ditiotreitol (0,005 g L<sup>-1</sup> preparado en 2,58 mol L<sup>-1</sup> de fosfato de potasio dibásico) y se dejó reaccionar la mezcla por 2 horas en la oscuridad, pasado el tiempo se agregaron 4,8 mL de fase móvil y se filtró a

través de membrana Millipore de  $0,45\mu\text{m}$  para inyectar en el sistema cromatográfico. El contenido de AAT se obtiene empleando la ecuación 6, reemplazando los valores de área bajo la curva obtenidos para cada muestra, considerando factores de dilución y pesos de muestra. Los resultados se expresan como  $\text{mg AAT Kg}^{-1}$  de frutilla.

#### Obtención de extractos con muestras de manzana y cuantificación del contenido de ácido ascórbico total

Para la extracción, se tomó una cantidad representativa de muestra (100 g) y se trituró en un homogenizador. Se tomaron 12,5 g de muestra triturada, se agregaron 25 mL de solución extractante ( $30\text{ g L}^{-1}$  de ácido metafosfórico y  $80\text{ g L}^{-1}$  de ácido acético), se homogenizó la mezcla durante 1 min, se sonicó en un ultrasonido por 15 min y se centrifugó a 12000 G durante 20 min en centrífuga refrigerada a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Para la fruta fresca, se tomó 1 mL de extracto y se agregó 0,5 mL de solución de DL-ditiotreitol ( $0,005\text{ g L}^{-1}$  preparado en  $2,58\text{ mol L}^{-1}$  de fosfato de potasio dibásico), se dejó reaccionar la mezcla por 2 horas en la oscuridad, se tomó 1 mL de esta mezcla y se agregó 1 mL de fase móvil, finalmente se filtró a través de membrana Millipore de  $0,45\mu\text{m}$  para inyectar en el sistema cromatográfico.

Para la fruta tratada, se tomó 1 mL de extracto y se agregó 0,5 mL de solución de DTT, se dejó reaccionar la mezcla por 2 horas en la oscuridad, se tomó 1 mL de esta mezcla y se agregó 4 mL de FM; en el caso de las muestras  $M_1$  se agregaron 9 mL de FM. Finalmente, las muestras fueron filtradas a través de membrana Millipore para posterior inyección en el HPLC. El contenido de AAT se obtiene empleando la ecuación 6, reemplazando los valores de área bajo la curva obtenidos para cada muestra, considerando factores de dilución y pesos de muestra. Los resultados se expresan como  $\text{mg AAT Kg}^{-1}$  de fruta fresca cortada.

### **3.3.6. Determinación de antocianinas totales en frutillas**

#### ***Obtención del extracto***

Se trituraron 100g de muestra y se tomaron 5 g y se colocaron en tubos falcon de 15 mL, se agregaron 3,5mL de solución extractante (80% metanol, 0,5% de ácido acético y agua). Se agitó la mezcla en un vortex y se llevó a ultrasonido (50°C, 15min), posteriormente se centrifugó (4°C, 20min a 12000g). Se recolectó el sobrenadante y se colocó en un balón de aforo de 25mL, luego se adicionó 8mL de solución extractante en el tubo falcon que contenía el pellet restante; este proceso se repitió una vez más a partir de la adición de los 8mL de solución extractante. Finalmente, se completó a 25mL en el balón de aforo con solución extractante.

#### ***Cuantificación de antocianinas totales***

La determinación del contenido de antocianinas, se realizó mediante el método diferencial de pH según Ho Jin Heo y Yong Lee, (2005). Se tomó parte del extracto y se ajustó el pH a 1 con una solución 0,1M de cloruro de potasio/ácido clorhídrico; por otro lado, se tomó otra parte del extracto y se ajustó a pH 4,5 con una solución buffer 0,4 M de ácido acético/acetato de sodio. Posteriormente se midió la absorbancia de las muestras a dos longitudes de onda 510 y 700 nm en el espectrofotómetro (Thermo Scientific modelo Genesys 10S UV-Vis); los resultados se expresaron en mg de pelargonidin-3-glucósido /Kg de fruta ( $\text{mg P3G Kg}^{-1}$  fruta) (Ecuación 3.7).

$$AT \left( mgP3G \text{ Kg}_{frutilla}^{-1} \right) = \left\{ \left[ (A_{510} - A_{700})_{pH=1} \times \frac{1}{d_1} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4,5} \times \frac{1}{d_2} \right] \right\} \times \frac{PM \times V \times 1000 \times 1000}{E \times L \times m} \quad (3.7)$$

Donde:

d1 y d2= factor de dilución (vol. extracto (mL)/vol. total de reacción (mL))

L= camino óptico (1 cm)

E= coeficiente de extinción molar del pelargonidin-3-glucósido (22400L mol.cm<sup>-1</sup>)

V= volumen de extracto (L)

m= masa de frutilla (g)

1000= factor de conversión de g a mg

1000= factor para expresar el resultado por Kg de frutilla

A<sub>510</sub>= medida de absorbancia a 510 nm

A<sub>700</sub>= medida de absorbancia a 700 nm

PM= 432,2 g mol<sup>-1</sup>

### ***3.3.7. Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH en frutillas y manzanas***

La capacidad antioxidante se midió de acuerdo a Brand-Williams W. et al (1995), empleando el radical libre DPPH\* (2,2-Difenil 1-1 picrilhidrazilo). En primer lugar, se preparó una solución metanólica de DPPH\* de 0,03g/L, para cada muestra se evaluaron diferentes concentraciones, para ello se hicieron reaccionar tres volúmenes de extracto para frutilla: (FF: 0,03; 0,06 y 0,09 mL); (FT: 0,025; 0,05; 0,075 mL) y para manzana: (FF: 0,05; 0,1 y 0,5 mL); (FT: 0,02; 0,05; 0,075; 0,1 mL)

con 3,9 mL de una solución metanólica de DPPH\* en tubos falcon de 15ml; los blancos de reacción se prepararon sustituyendo los volúmenes de extracto con metanol y se realizó la misma reacción, se agitó la mezcla en un Vortex V-1 plus BOECO y luego se colocaron los tubos en la oscuridad durante un tiempo de 30 min para que se lleve a cabo la reacción; finalmente se midió la absorbancia de las muestras a una longitud de onda 517nm en un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS Thermo Scientific. Las reacciones se realizaron por triplicado. La actividad antioxidante fue expresada como capacidad antioxidante equivalente al ácido ascórbico (AEAC) usando la siguiente ecuación:

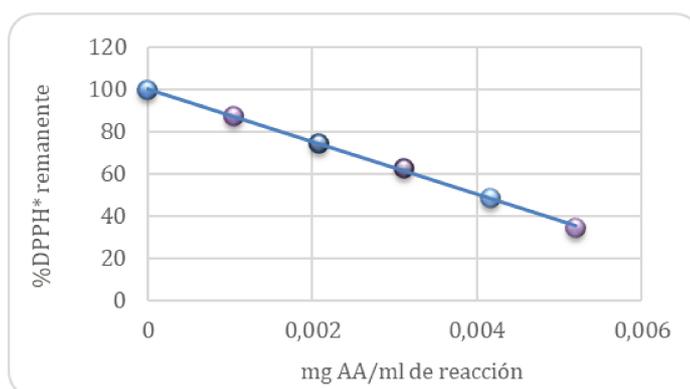
$$AEAC \text{ (mg AA } 100g^{-1}) = \frac{IC_{50(AA)}}{IC_{50(muestra)}} \times 10^5 \quad (3.8)$$

Donde:

$IC_{50(AA)}$  = Cantidad de ácido ascórbico en 1mL de reacción, necesaria para disminuir al 50% la concentración inicial de DPPH\*

Curva de calibrado:

Para efectuar la curva se utilizó la misma metodología empleada en las muestras, sustituyendo las mismas por soluciones estándar de AA a diferentes concentraciones (0; 0,0010; 0,0021; 0,0031; 0,0041 y 0,0052 mg AA mL<sup>-1</sup> de reacción); se trabajó con 0,1mL de solución estándar y 3,9mL de la solución metanólica de DPPH\*, la curva se graficó como DPPH\* remanente vs concentración (mgAA mL<sup>-1</sup> de reacción). El valor determinado para  $IC_{50(AA)}$  fue de 0,00404mg/mL, este valor se obtuvo a partir de la curva de DPPH\* remanente vs concentración que se efectuó para cada solución estándar.



**Figura 3.11.** Curva de calibrado con AA del % de DPPH\* remanente

$$\% \text{ DPPH}^* \text{ remanente} = \left( \frac{A_{\text{muestra}}}{A_{\text{control}}} \right) \times 100 \quad (3.9)$$

Donde:

$A_{\text{muestra}}$  = absorbancia de FF o FT<sub>i</sub> a 510 nm

$A_{\text{control}}$  = absorbancia del control (metanol)

### **3.3.8. Determinación del perfil de antocianinas en frutillas**

La determinación del perfil de antocianinas fue llevada a cabo según Van de Velde et al. (2016). La fase móvil consistió en un 5% de ácido fórmico, en agua (A) y metanol al 100% (B). La tasa de flujo fue constante durante el análisis de HPLC a 1 mL min<sup>-1</sup> con un gradiente escalonado de 10, 15, 20, 25, 30, 60, 10 y 10% de disolvente B a 0, 5, 15, 20, 25, 45, 47 y 60 min, respectivamente. La cuantificación de antocianinas fue realizada a partir de las áreas de pico registradas a 520 nm con referencia a la curva de calibración estándar externa obtenida con pelargonidin- 3-O-glucósido (0,125 a 0,5 mg mL<sup>-1</sup>) y cianindin-3-O-glucósido (0,125-0,375 mg mL<sup>-1</sup>).

La separación de antocianinas se efectuó empleando un cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC) SHIMADZU serie LC-20A equipado con una columna de fase reversa Gemini 5 $\mu$  C18 110A de 250 x 4,6 mm, unida a un guarda columna Phenomenex (Phenomenex Inc., CA, USA) y un detector SPD-M20A (Figura 3.9).

#### Obtención del extracto

Se trituró 100g de muestra y se tomaron 5 g y se colocaron en tubos falcon de 15 mL, se agregaron 3,5mL de solución extractante (80% metanol, 0,5% de ácido acético y agua). Se agitó la mezcla en un vortex y se llevó a ultrasonido (50°C, 15min), posteriormente se centrifugó (4°C, 20min a 12000g). Se recolectó el sobrenadante y se colocó en un balón de aforo de 25mL, luego se adicionó 8mL de solución extractante en el tubo falcon que contenía el pellet restante; este proceso se repitió una vez más a partir de la adición de los 8mL de solución extractante. Finalmente, se completó a 25mL en el balón de aforo con solución extractante.

La velocidad de flujo es constante de 1mL/min con un gradiente escalonado de 10, 15, 20, 25, 30, 60, 100 y 10% de solvente (B) a 0, 5, 15, 20, 25, 45, 47 y 60 min respectivamente. La cuantificación se lleva a cabo obteniendo el área bajo la curva observadas a 520nm con referencia en la curva de calibrado obtenida para pelargonidin 3-O-glucósido (0,125-0,5mg mL<sup>-1</sup>) y cianidin 3-O- glucósido (0,125-0,375mg mL<sup>-1</sup>).

Para inyectar las muestras se filtraron previamente con membrana millipore de 0,45 $\mu$ m

### **3.3.9. Determinación del perfil de compuestos fenólicos en manzanas**

Se trituró 100g de muestra y se tomaron 10 g y se colocaron en tubos falcon de 15 mL, se agregaron 3,5mL de solución extractante (80% metanol, 0,5% de ácido acético y agua). Se agitó la mezcla en un vortex y se llevó a ultrasonido (50°C, 15min), posteriormente se centrifugó (4°C, 20min a 12000g). Se recolectó el sobrenadante y se colocó en un balón de aforo de 25mL, luego se adicionó 8mL de solución extractante en el tubo falcon que contenía el pellet restante; este proceso se repitió una vez más a partir de la adición de los 8mL de solución extractante. Finalmente, se completó a 25mL en el balón de aforo con solución extractante.

La fase móvil consistió en un 5% de ácido fórmico, en agua (A) y metanol al 100% (B). La determinación de compuestos fenólicos en manzanas se efectuó empleando un cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC) SHIMADZU serie LC-20A equipado con una columna de fase reversa Gemini 5 $\mu$  C18 110A de 250 x 4,6 mm, unida a un guarda columna Phenomenex (Phenomenex Inc., CA, USA) y un detector SPD-M20A (Figura 3.9).

La velocidad de flujo es constante de 1mL/min con un gradiente escalonado de 10, 15, 20, 25, 30, 60, 100 y 10% de solvente (B) a 0, 5, 15, 20, 25, 45, 47 y 60 min respectivamente. La cuantificación se lleva a cabo obteniendo el área bajo la curva observadas a 280, 320, 350nm.

Para inyectar las muestras se filtraron previamente con membrana millipore de 0,45 $\mu$ m

### **3.3.10. Análisis microbiológicos**

Se realizaron análisis para determinar microorganismos mesófilos y psicrótrofos totales, levaduras y mohos en frutillas y manzanas frescas cortadas, así como en frutillas y manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío, en el día de ejecución del tratamiento y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C; para ello, en primer lugar, se tomaron asépticamente 10g de muestra triturada y se homogeneizó en un estomacher con 90 mL de agua (0,1%) durante 2 min. A partir de esta suspensión se realizaron diluciones decimales en agua peptonada (0,1%). La enumeración de microorganismos mesófilos y psicrótrofos totales se realizó por duplicado utilizando Plate Count Agar (PCA, Merck, EE. UU.). Las placas se incubaron a 30 °C durante 48 h (mesófilos) y a 5 °C durante 10 días (psicrótrofos). La enumeración de levaduras y mohos se realizó por duplicado usando extracto de levadura, glucosa, cloranfenicol agar (YGC, Merck, EE. UU.). Las placas se incubaron a 28 °C durante 5 días. Todos los resultados se expresaron como logaritmo de Unidad Formadora de Colonias (UFC) g<sup>-1</sup> fruto (FDA, 2018).

### **3.3.11. Análisis Sensorial**

El análisis del perfil sensorial se realizó mediante una prueba descriptiva cuantitativa, según (Hough y Fiszman, 2005). El panel estaba conformado por ocho evaluadores capacitados en análisis descriptivo sensorial de frutas frescas cortadas, especialmente en frutillas y manzanas, pertenecientes al Instituto de Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional del Litoral. En primera instancia se realizó un entrenamiento específico del panel con 3 sesiones de 30 min (3 sesiones para cada fruta). En la primera sesión de entrenamiento se establecieron los descriptores para el producto, así como los términos ancla, los descriptores para cada fruta se pueden ver en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1.** Descriptores definidos para la evaluación sensorial de frutillas frescas y manzanas cortadas e impregnadas por vacío en el día de ejecución del tratamiento y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

<b>Descriptor</b>	<b>Frutilla</b>	<b>Manzana</b>
<b>Olor típico:</b> relacionado con el olor natural de una frutilla o manzana	X	X
<b>Olor a miel:</b> relacionado al olor típico de la miel		X
<b>Olor extraño:</b> relacionado con la aparición de cualquier olor extraño que no corresponde al propio del producto	X	X
<b>Apariencia general:</b> relacionado con el aspecto general del producto percibido por la vista, incluye aspectos como frescura color, brillo, y/o deshidratación superficial.	X	X
<b>Pardeamiento:</b> relacionado a la presencia de tonos marrones o pardos		X
<b>Humedad superficial:</b> relacionado a la presencia de agua en la superficie del producto	X	X
<b>Color típico:</b> referente al color natural típico de la fruta	X	X
<b>Textura:</b> relacionado con la resistencia por parte del tejido de la fruta a romperse o deformarse durante la masticación.	X	X
<b>Jugosidad:</b> cantidad de jugo liberado por la muestra durante las tres primeras masticaciones		X
<b>Dulzor:</b> percepción de sabor dulce	X	X
<b>Gusto ácido:</b> sensación de gusto ácido	X	X
<b>Sabor típico:</b> sensación gustativa característica de la fruta	X	X
<b>Sabor a miel:</b> sensación de gusto típico de miel		X
<b>Sabor extraño:</b> relacionado con la aparición de cualquier sabor extraño que no corresponde al propio de la fruta	X	X

En una segunda sesión se evaluó la funcionalidad de la planilla incluyendo los descriptores definidos en la primera sesión y sus términos ancla, cada sesión se realizó en días separados definidos para cada fruta. Se entregó a los panelistas fruta fresca sin tratar y fruta impregnada por vacío bajo condiciones de  $t_v = 14$  min y  $t_r = 7,5$  min y presión de vacío de 67,7 mbar la evaluación se efectuó el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío.

La tercera sesión se efectuó después de un tiempo de almacenamiento de la fruta a 1,5°C, bajo las condiciones de envasado definidas en el punto 3.3.

Una vez que se efectuaron las sesiones de entrenamiento, se realizaron las evaluaciones sensoriales correspondientes a las validaciones del diseño

experimental, en ese sentido se efectuaron dos sesiones por cada fruta, la primera para evaluar fruta fresca sin tratar y fruta impregnada por vacío en el día cero y la segunda sesión para la evaluación de esas mismas muestras después del tiempo de almacenamiento. A cada uno de los evaluadores se entregó la planilla con los descriptores elegidos por consenso para que registren la intensidad de cada descriptor, colocando una marca sobre una escala lineal no estructurada de 10 cm con dos términos de anclaje ubicados a 1 cm de cada borde.

Las planillas empleadas en la evaluación sensorial de las frutas correspondientes a las validaciones del diseño se presentan en la Figura 3.12 y Figura 3.13 para frutillas y manzanas respectivamente.

**EVALUACIÓN SENSORIAL DE FRUTILLAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS**

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

A continuación, Ud recibirá dos muestras de frutillas mínimamente procesadas, identificadas con un código. Evalúe cuidadosamente los atributos que se indican y marque en la escala correspondiente, de acuerdo a la intensidad percibida.

Se recomienda abrir el envase y en primer lugar evaluar los atributos correspondientes al olor

**¡Gracias por su colaboración!**

Olor típico	_____	_____	_____
	Ligeramente perceptible		Intenso
Olor extraño	_____	_____	_____
	Ligeramente perceptible		Intenso
Apariencia general	_____	_____	_____
	Mala		Muy buena
Humedad superficial	_____	_____	_____
	Ligeramente húmeda		Muy húmeda
Color típico	_____	_____	_____
	Ligeramente perceptible		Intenso
Textura	_____	_____	_____
	Blanda		Firme
Dulzor	_____	_____	_____
	Ligeramente perceptible		Intenso
Gusto ácido	_____	_____	_____
	Ligeramente perceptible		Intenso
Sabor típico	_____	_____	_____
	Ligeramente perceptible		Intenso
Sabor extraño	_____	_____	_____
	Ligeramente perceptible		Intenso

**Observaciones:**

**Figura 3.12.** Planilla de análisis sensorial descriptivo cuantitativo para frutillas frescas cortadas y frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío

**EVALUACIÓN SENSORIAL DE MANZANAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS**

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

A continuación, Ud recibirá dos muestras de manzanas mínimamente procesadas, identificadas con un código. Evalúe cuidadosamente los atributos que se indican y marque en la escala correspondiente, de acuerdo a la intensidad percibida.

Se recomienda abrir el envase y en primer lugar evaluar los atributos correspondientes al olor

**¡Gracias por su colaboración!**

Olor típico	
Olor a miel	
Olor extraño	
Apariencia general	
Pardeamiento	
Humedad superficial	
Textura	
Jugosidad	
Dulzor	
Gusto ácido	
Sabor típico	
Sabor a miel	
Sabor extraño	

Observaciones:

**Figura 3.13.**Planilla de análisis sensorial descriptivo cuantitativo para manzanas frescas cortadas y manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío

### **3.3.12. Análisis de imágenes de tejido vegetal por microscopía electrónica de barrido.**

La preparación de las muestras se realizó según sugerencias de Gerschenson et al. (2001), Delgado y Rubiolo (2005), y Tortoe et al. (2006). En primer lugar, se realizó la congelación de las frutas frescas cortadas e impregnadas por vacío, en nitrógeno líquido por un tiempo de 30s, posterior a ello las muestras fueron sometidas a liofilización y fueron almacenadas a  $-80^{\circ}\text{C}$  hasta el momento de ejecución del recubrimiento con oro dado que las frutas son muestras no conductivas, por ello se efectúa dicho paso. Después se cortaron las muestras hasta un tamaño aproximado de 0,2 cm, el recubrimiento se realizó con oro a  $-150^{\circ}\text{C}$ , por aproximadamente 5min, alcanzando un recubrimiento de 30 nm. Las observaciones se realizaron en un microscopio electrónico de barrido marca Phenom World modelo Phenom Pro del Centro de Investigación Científica y de Transferencia Tecnológica a la Producción ubicado en Diamante-Entre Ríos. El voltaje empleado fue de 15KV con aumentos de aproximadamente 250x a 10000x.

## **3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Los ensayos se efectuaron siguiendo la metodología de superficie de respuesta a través de un diseño central compuesto conformado por 11 experiencias, con 3 repeticiones del punto central; con  $t_v = 1,14-14\text{min}$ ; y  $t_r = 1,14-14\text{min}$  (Tabla 3.2).

**Tabla 3.2.** Diseño central compuesto con 11 corridas experimentales

Corrida	Variables Independientes	
	tv (min)	tr (min)
1	14	7,5
2	7,5	7,5
3	7,5	7,5
4	7,5	14
5	3	3
6	3	12
7	1,14	7,5
8	7,5	1,14
9	12	3
10	12	12
11	7,5	7,5

Las respuestas evaluadas fueron expresadas como la variación relativa porcentual de cada atributo Q ( $\Delta Qi$ , %), con respecto a la fruta fresca cortada sin tratar como se indica en la ecuación 3.10:

$$\Delta Qi(\%) = \frac{(Q_{TFi} - Q_{FF})}{Q_{FF}} \times 100 \quad (3.10)$$

Donde:

**Q<sub>FF</sub>**= atributo de fruta fresca cortada sin tratar

**Q<sub>FTi</sub>**= atributo de fruta fresca cortada tratada en el día i

**i**= día de ejecución de análisis, día cero (0) corresponde al día en el que se efectuó el tratamiento, y día siete (7) corresponde al tiempo de almacenamiento a 1,5°C.

Las respuestas expresadas como la variación relativa porcentual fueron:

$\Delta\text{SS}_i(\%)$ = variación porcentual de los sólidos solubles

$\Delta\text{pHi}(\%)$ = variación porcentual del pH

$\Delta\text{L}^*_i(\%)$ = variación porcentual de  $L^*$

$\Delta\text{a}^*_i(\%)$ = variación porcentual de  $a^*$

$\Delta\text{b}^*_i(\%)$ = variación porcentual de  $b^*$

$\Delta\text{C}_{ab}^*_i(\%)$ = variación porcentual de  $C_{ab}^*$

$\Delta\text{h}_{abi}(\%)$ = variación porcentual de  $h_{ab}$

$\Delta\text{Fi}(\%)$ = variación porcentual de la fuerza máxima, expresada como firmeza

$\Delta\text{AT}_i(\%)$ = variación porcentual del contenido de antocianinas totales

$\Delta\text{P3Gi}(\%)$ = variación porcentual del contenido de pelargonidin-3-O-glucósido

$\Delta\text{C3Gi}(\%)$ = variación porcentual del contenido de cianidin -3-glucósido

$\Delta\text{P3R}_i(\%)$ = variación porcentual del contenido de pelargonidin-3-rutinósido

$\Delta\text{VC}_i(\%)$ = variación porcentual contenido de vitamina C

$\Delta\text{FT}_i(\%)$ = variación porcentual de contenido de fenoles totales

$\Delta\text{CA}_i(\%)$ = variación porcentual de la capacidad antioxidante

$\Delta\text{AcC}_i(\%)$ = variación porcentual del contenido de ácido clorogénico

$\Delta\text{Cat}_i(\%)$ = variación porcentual del contenido de (+) catequina

$\Delta\text{Epi}(\%)$ = variación porcentual del contenido de (-) epicatequina

$\Delta\text{Kai}(\%)$ = variación porcentual del contenido de Kaempferol -3-O-glucósido

Además, se evaluaron las respuestas correspondientes a los parámetros de transferencia de masa, expresados como porcentaje (%) de ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) en el día cero; de la misma forma se obtuvo la diferencia total de color en el día cero y 7 ( $\Delta E^*_i$ ).

Para el desarrollo de los modelos, se estableció una función matemática para cada una de las respuestas en relación a dos factores independientes:

$$y = f(t_v, t_r) \quad (3.11)$$

Donde:

$y$  = respuesta ( $\Delta_i$  (%) ó %), en función de  $t_v$ = tiempo de vacío (min) y  $t_r$ = tiempo de relajación (min)

La ecuación propuesta para los modelos fue:

$$y = \beta_0 + \beta_1 t_v + \beta_2 t_r + \beta_{12} t_v t_r + \beta_{11} t_v^2 + \beta_{22} t_r^2 + \varepsilon_{12} \quad (3.12)$$

Donde:

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}, \beta_{11}, \beta_{22}$  son los coeficientes y  $\varepsilon_{12}$ = error.

### ***Optimización del proceso de impregnación por vacío***

Para efectuar la optimización de múltiples respuestas del proceso de impregnación por vacío se utilizó la función de deseabilidad de Derringer, de acuerdo a lo descrito por Derringer y Suich (1980). El método consiste en la transformación de cada una de las respuestas estimadas  $y$  a una función de deseabilidad parcial adimensional,  $d_n$  ( $0 \leq d_n \leq 1$ ). Los valores  $d_n$  para cada respuesta, se obtienen especificando las metas a alcanzar, es decir, por ejemplo: minimizando, maximizando o estableciendo una respuesta objetivo y, los límites requeridos para cada una de ellas. Las funciones parciales de deseabilidad están combinadas en una sola respuesta compuesta, la función global de deseabilidad (D), definida como la media geométrica de los diferentes valores de  $d_n$ :

$$D = [d_1^{p_1} \times d_2^{p_2} \times \dots d_n^{p_n}]^{1/n} \quad (3.13)$$

Donde,  $p_1, p_2 \dots p_n$ , corresponden a la importancia relativa asumida para cada respuesta. La importancia relativa puede ir desde 1 (menos importante) hasta 5 (más importante). Se asigna un factor de peso, el cual define la forma de la función de deseabilidad. Los factores de peso deben estar entre 0,1 y 10. Los pesos altos corresponden a las respuestas más importantes. Un valor de deseabilidad diferente de cero, implica que las respuestas se encuentran en un rango deseable en forma simultánea y consecuentemente para un valor de D cercano a 1, la combinación del criterio es globalmente óptimo (Van de Velde, et al 2014).

La validación de los modelos obtenidos para cada respuesta se realizó en las condiciones óptimas de tiempo de vacío y tiempo de relajación. Para ello, se efectuó una nueva corrida experimental como se explicó en la sección (3.2.2 y 3.2.3) para frutillas y manzanas, respectivamente. Después, los resultados experimentales y los valores predichos por los modelos se compararon estadísticamente para determinar diferencias significativas.

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las determinaciones se efectuaron por duplicado o triplicado según fuera el caso. Los cálculos de media, desviaciones estándares y las representaciones gráficas se realizaron con la planilla de cálculo de Microsoft EXCEL® (Office 2019). Por su parte, se empleó el software STATGRAPHICS Centurion XV 15.2.06 (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, Virginia, EE.UU.) para comprobar la idoneidad de los modelos propuestos. Asimismo, permitió ajustar

las ecuaciones polinomiales de 2° orden a los datos experimentales, graficar las superficies predichas a partir de los modelos y ejecutar el proceso de optimización en los rangos experimentales ensayados. El software se utilizó además para realizar el análisis de varianza (ANOVA). La prueba t se ejecutó para indicar las diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento (0 y 7) y entre muestras para evaluación sensorial.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. IMPREGNACIÓN POR VACÍO EN FRUTILLAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS

##### ***Parámetros de transferencia de masa***

La Tabla 4.1. muestra los resultados experimentales obtenidos para los parámetros de transferencia de masa: Ganancia de sólidos (SG, %), Pérdida de agua (WL, %) y Pérdida de peso (WR, %) en el día de aplicación de los tratamientos de impregnación por vacío.

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para los parámetros de transferencia de masa de frutillas frescas cortadas sometidas a IV se presenta en la Tabla 4.2.

El modelo propuesto para SG resultó adecuado sin falta de ajuste ( $p \geq 0.05$ ) explicando el 89,25% de la variabilidad de los datos. En el caso de los parámetros pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR), los modelos no mostraron falta de ajuste, pero ninguna de las variables del proceso (tiempo de vacío y relajación) tuvieron influencia en los modelos propuestos ( $p \geq 0.05$ ). En cuanto, a estos dos parámetros de transferencia de masa en el rango experimental ensayado, la mejor estimación será el promedio de todos los valores experimentales. Esto es: para WL fue de -2,0% y para WR -1,9%; el signo negativo indica que se generó ganancia de agua e incremento de peso, respectivamente.

**Tabla 4.1.** Ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) después del tratamiento de IV en frutillas frescas cortadas a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	SG (%)	WL (%)	WR (%)
T1	14	7,5	0,79	1,08	0,29
T2	7,5	7,5	-0,20	-0,70	-0,50
T3	7,5	7,5	-0,16	-2,21	-2,04
T4	7,5	14	-0,16	-2,19	-2,03
T5	3	3	-0,49	-2,87	-2,38
T6	3	12	-0,36	-2,11	-1,75
T7	1,14	7,5	-0,22	-2,65	-2,43
T8	7,5	1,14	-0,32	-2,41	-2,09
T9	12	3	0,02	-3,14	-3,16
T10	12	12	0,16	-2,72	-2,87
T11	7,5	7,5	-0,47	-2,57	-2,09

**Tabla 4.2.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) en el día 0.

Suma de Cuadrados				
Fuente	GL	SG (%)	WL (%)	WR (%)
A: tv (min)	1	0,77*	2,48	0,49
B: tr (min)	1	0,03	0,25	0,11
AA	1	0,30	0,35	0,00
AB	1	0,00	0,02	0,02
BB	1	0,00	1,48	1,35
Falta de ajuste	3	0,08	7,46	6,11
Error puro	2	0,05	1,96	1,63
R <sup>2</sup>		89,25	36,00	22,00

GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

El modelo para SG fue afectado por el término lineal del tiempo de vacío (tv) ( $p \leq 0,05$ ) tal como se indica en la Tabla 4.2. En el diagrama de Pareto (Figura 4.1), se puede observar que el efecto del tiempo de vacío es positivo lo que indica que a medida que incrementa tv aumenta SG.

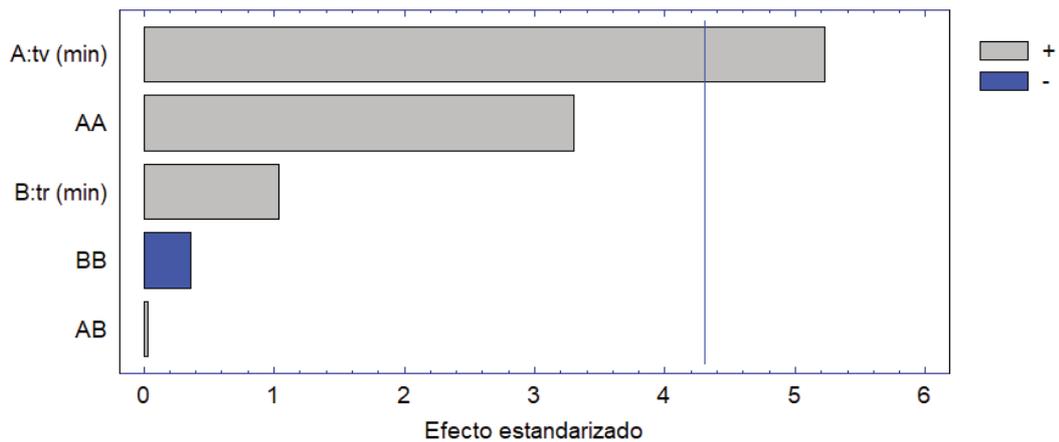
El modelo reducido se muestra en la Ecuación (4.1):

$$\text{SG (\%)} = -0,64 + 0,07t_v \quad (4.1)$$

Donde:

SG= ganancia de sólidos (%)

$t_v$ = tiempo de vacío (min)



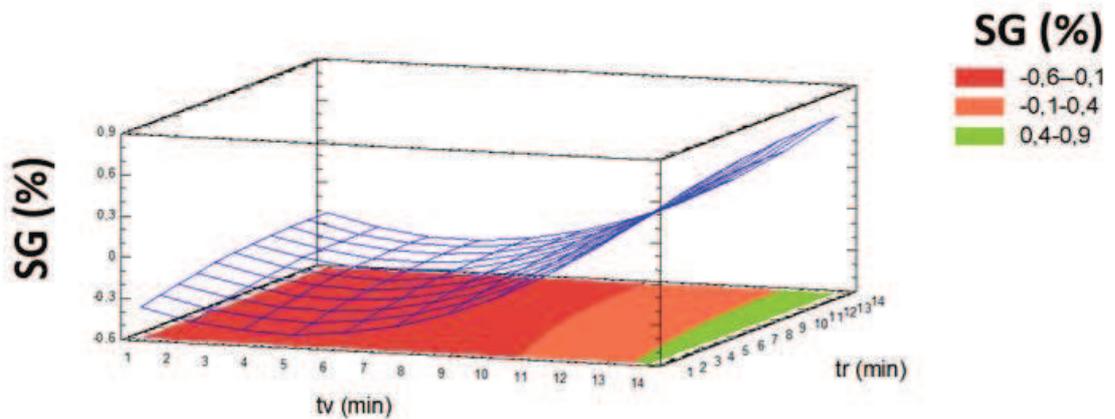
**Figura 4.1.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo SG en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre frutillas frescas cortadas

La figura 4.2 muestra la gráfica de superficie de respuesta para SG luego del tratamiento de impregnación por vacío. Se puede observar que un tiempo de vacío menor a 11 min genera pérdida de sólidos, mientras que un tiempo de vacío superior a los 12 min produce ganancia de sólidos, pudiendo alcanzar un máximo de 0,9%.

La SG obtenida en todos los casos es baja, en ese sentido, Tylewicz et al., 2019 estudiaron la aplicación de impregnación por vacío en frutillas como pre tratamiento para el secado, los investigadores emplearon jugo de arándano a diferentes concentraciones, entre ellas una SO isotónica, empleando una presión de vacío= 200 mbar,  $t_v = 4$ min  $t_r = 5$ min y encontraron que una solución con baja concentración de sólidos solubles, en su caso una SO isotónica de 10 °Brix podría causar la reducción de la estabilidad de la suspensión, ellos indicaron que dado que jugo con adición de sacarosa de 30 y 50% presenta partículas más

estables ya que el azúcar interactúa con la suspensión, haciéndola más estable, incrementando su estabilidad y permitiendo una gran impregnación en ese caso, tanto una baja concentración de sólidos repercute en la menor introducción del jugo en el interior de las frutillas. Asimismo indicaron que los valores negativos obtenidos para el parámetro volumétrico de impregnación ( $\text{cm}^3$  de jugo incorporado / $\text{cm}^3$  de frutilla fresca), podría estar relacionado con una salida del líquido intercelular nativo del tejido; en ese sentido compararon sus resultados con aquellos informados para manzanas impregnadas con jugo de arándanos en donde se obtuvo un valor de parámetro volumétrico de impregnación superior a lo observado en su estudio con muestras de frutilla, indicando que esto podría deberse a la diferente estructura de los tejidos de la fruta y por lo tanto un diferente comportamiento tras los cambios de presión en el sistema sólido-líquido. La baja SG y los valores negativos obtenidos en la presente tesis pueden relacionarse con la teoría expuesta por los investigadores.

Por su parte, Paes et al. (2007), reportaron que, manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 40 mbar con una solución isotónica de sacarosa, tuvieron mayor SG cuando incrementó el tiempo de vacío (2-120 min), manteniendo un tiempo de relajación constante de 30 min; el mayor incremento de los sólidos se produjo con tiempos de vacío superiores a 10 min, lo que concuerda con los resultados obtenidos en la presente tesis. Este fenómeno puede producirse ya que la solución osmótica podría presentar resistencia a la penetración en la muestra ya que períodos de vacío cortos no permiten un correcto de-aireado (Paes et al. 2007). Por su parte Faicán (2022) estudió el efecto de la solución osmótica y tiempo de vacío, a una presión de 67,7 mbar, para ello se emplearon dos tv (7,5min y 14 min) manteniendo constante el  $t_r = 7,5$  min, impregnaron frutillas frescas cortadas con diferentes SO, entre ellas jugo natural de frutilla de las mismas características que el usado en la presente tesis, obteniendo ganancia de sólidos en frutillas tratadas; la SG fue mayor al trabajar con un tiempo de vacío de 14 min, lo cual coincide con el comportamiento descrito en el presente trabajo.



**Figura 4.2.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo ganancia de sólidos (SG) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 0.

Como se indicó anteriormente, se obtuvo un valor promedio de ganancia de agua ( $WL = -2,0 \pm 1,21\%$ ) después de la aplicación de los tratamientos de impregnación por vacío. Paes et al. (2007), estudiaron la aplicación de IV en manzanas frescas cortadas variando el tiempo de tratamiento y la concentración de la solución osmótica y obtuvieron ganancia de agua al aplicar una solución osmótica de menor concentración ( $21,8^\circ\text{Brix}$ ), frente a soluciones de  $50^\circ\text{Brix}$ , en donde se generó pérdida de agua, siendo esta ganancia mayor con un  $t_v = 10$  min,  $t_r = 30$  min y  $P = 40$  mbar. Mujica-Paz et al. (2003) obtuvieron valores positivos y negativos para WL en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío empleando soluciones osmóticas de  $40$  a  $60^\circ\text{Brix}$  e indicaron que una baja viscosidad de la SO ( $< 50^\circ\text{Brix}$ ) permitió una impregnación de forma masiva en el producto, resultando en ganancia de agua, mientras que una SO de alta viscosidad ( $> 55^\circ\text{Brix}$ ) dificultó la penetración en los poros del tejido y su mayor presión osmótica, favoreció la salida de agua del fruto. Esta situación coincide con el resultado promedio negativo para WL obtenido en la presente tesis, lo cual puede atribuirse a la solución osmótica isotónica empleada en la impregnación.

Respecto a WR, se produjo, en promedio ganancia de peso, en ese sentido, Faicán (2022) encontró incremento de peso en frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío en diferentes soluciones osmóticas, correspondientes a

jugo natural de frutilla y este mismo jugo, diluido, encontrando aumento de peso en todos los casos, al igual que los resultados obtenidos en la presente tesis. Por su parte, Paes et al. (2007) encontraron valores de WR negativos indicando ganancia de peso, al emplear una solución osmótica isotónica de sacarosa, ellos observaron que a pesar de que una cantidad de líquido nativo sale de la muestra en el transcurso del proceso en condiciones de vacío, al restaurar la presión atmosférica durante el tiempo de relajación, gran cantidad de solución osmótica ingresa en el tejido, indicando que este hecho es predecible ya que la solución isotónica tiene mayor proporción de agua e ingresa con mayor facilidad al tejido en relación a soluciones más concentradas.

### **Sólidos Solubles**

El contenido de sólidos solubles de las frutillas frescas cortadas *var. Festival* previo a la aplicación del tratamiento de impregnación por vacío fue de  $7,5 \pm 0,60$  °Brix.

La Tabla 4.3. presenta los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual de los sólidos solubles en el día cero ( $\Delta SS_0$ ) y luego de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$  ( $\Delta SS_7$ ), en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para evaluar los cambios en los sólidos solubles de frutillas frescas cortadas sometidas a IV se presenta en la Tabla 4.4.

Los modelos muestran cambios significativos en los sólidos solubles en el día cero y después del tiempo de almacenamiento ( $\Delta SS_0$ ,  $\Delta SS_7$ ), en función de las variables del proceso. El modelo  $\Delta SS_0$  explica la variabilidad de los datos en un 82,0% sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0.05$ ), así también el modelo  $\Delta SS_7$  explica el 61% de la variabilidad de los datos sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0.05$ )

**Tabla 4.3.** Variación relativa de sólidos solubles ( $\Delta SS_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta SS_0$ (%)	$\Delta SS_7$ (%)
T1	14	7,5	9,89	-3,85
T2	7,5	7,5	-5,61	-3,57
T3	7,5	7,5	-2,99	-2,14
T4	7,5	14	-4,25	-7,08
T5	3	3	-4,70	-5,56
T6	3	12	-1,28	-4,70
T7	1,14	7,5	-4,27	-0,43
T8	7,5	1,14	-3,85	-8,12
T9	12	3	-0,85	-2,99
T10	12	12	0,00	0,00
T11	7,5	7,5	-5,13	-2,56

**Tabla 4.4.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de sólidos solubles en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta SS_0$ (%)	$\Delta SS_7$ (%)
A: tv (min)	1	81,77*	0,77
B: tr (min)	1	1,63	3,24
AA	1	66,99*	2,28
AB	1	1,65	1,13
BB	1	0,00	23,96*
Falta de ajuste	3	30,62	23,90
Error puro	2	3,89	1,08
R <sup>2</sup>		82,01	61,00

GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

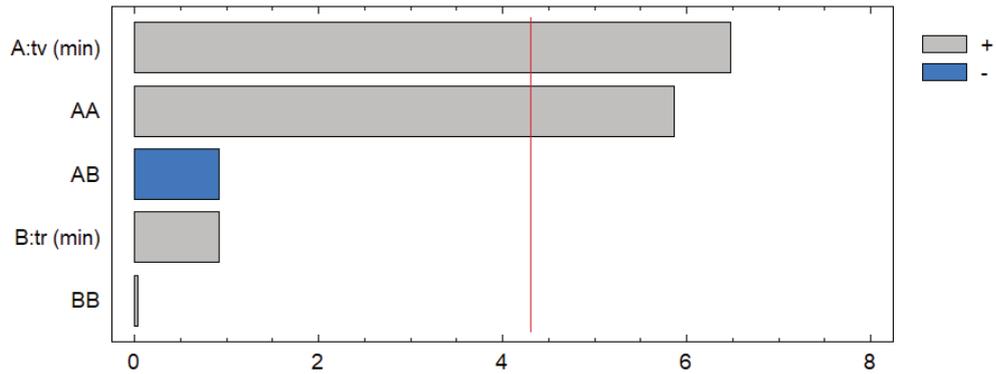
El modelo para  $\Delta SS_0$  fue afectado por el término lineal del tiempo de vacío (tv) y el término cuadrático ( $tv^2$ ) ( $p \leq 0,05$ ). El diagrama de Pareto (Figura 4.3), muestra que el efecto del término lineal tv y el término cuadrático  $tv^2$  son positivos, es decir que a medida que tv aumenta, los  $SS_0$  se incrementan. El modelo reducido  $\Delta SS_0$  se muestra en la Ecuación 4.2:

$$\Delta SS_0 (\%) = -0,31 - 1,84t_v + 0,17t_v^2 \quad (4.2)$$

Donde:

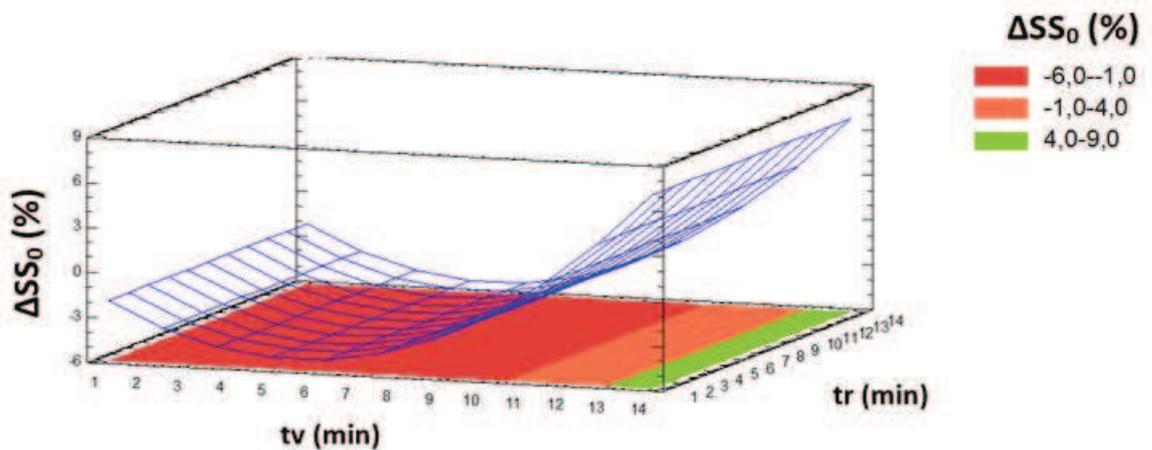
$\Delta SS_0$  = variación de sólidos solubles en el día cero

$t_v$  = tiempo de vacío (min)



**Figura 4.3.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo para  $\Delta SS_0$  en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre frutillas frescas cortadas

La Figura 4.4 presenta la gráfica de superficie de respuesta para el modelo  $\Delta SS_0$ . Se puede observar que a medida que se incrementa el  $t_v$  hay aumento del porcentaje de SS, tiempos de vacío inferiores a los 11 min generan pérdida de sólidos solubles, mientras que,  $t_v$  mayores a 13 min produce aumentos entre 4 y 9%.



**Figura 4.4.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta SS_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 0.

Faicán, (2022) estudió la aplicación de la impregnación por vacío en frutillas frescas cortadas impregnadas (67,7 mbar) con jugo natural de frutilla, con las mismas características de la SO empleada en la presente tesis. Se evaluó la influencia del  $t_v$ , usando dos tiempos (7,5 min y 14min) y se encontró que se generó una mínima disminución de los SS al trabajar con el  $t_v = 7,5$  min, sin embargo al aumentar el  $t_v$  a 14min se obtuvo incremento de los SS, lo cual concuerda con el comportamiento observado en la presente tesis, en donde a medida que aumenta el tiempo de vacío, incrementa el contenido de SS. Paes et al. (2007) estudiaron la influencia de los tiempos de tratamiento aplicando impregnación por vacío en manzanas frescas cortadas con una solución osmótica isotónica, variando ambos tiempos  $t_v$  y  $t_r$  entre 0-120 min y determinaron que a medida que incrementa el tiempo de vacío, aumenta la desaireación de la muestra, por lo que se produce incremento en el contenido de los sólidos solubles, lo cual está en acuerdo con el fenómeno que ocurre en la presente tesis; de igual forma, los investigadores indicaron que un tiempo de relajación de 5 min fue suficiente para que ocurra el mecanismo hidrodinámico y aumenten los sólidos solubles de la muestra.

En lo que corresponde a los resultados de los SS después del tiempo de almacenamiento, se observa que el modelo  $\Delta SS_7$  fue afectado por el término

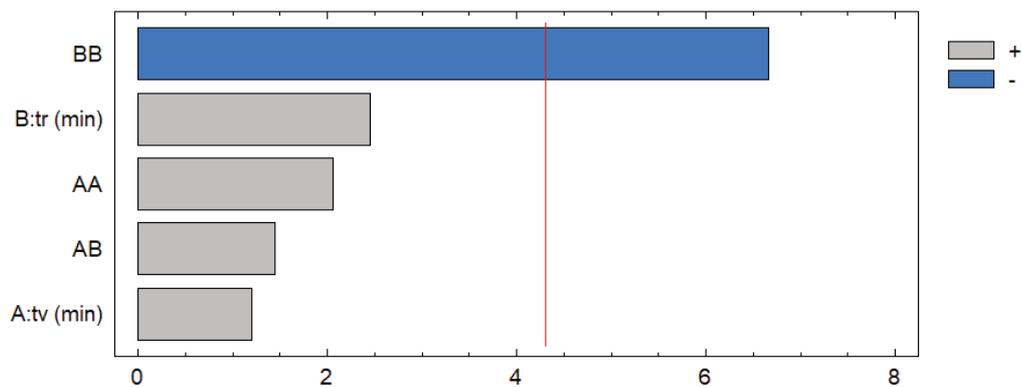
cuadrático tiempo de relajación ( $tr^2$ ) ( $p \leq 0,05$ ). El diagrama de Pareto (Figura 4.5), muestra que el efecto del término cuadrático  $tr^2$  es negativo, es decir que a medida que  $tr$  es bajo, los  $SS_7$  disminuyen. El modelo reducido  $\Delta SS_7$  se muestra en la Ecuación 4.3:

$$\Delta SS_7(\%) = -9,42 + 1,81tr - 0,11tr^2 \quad (4.3)$$

Donde:

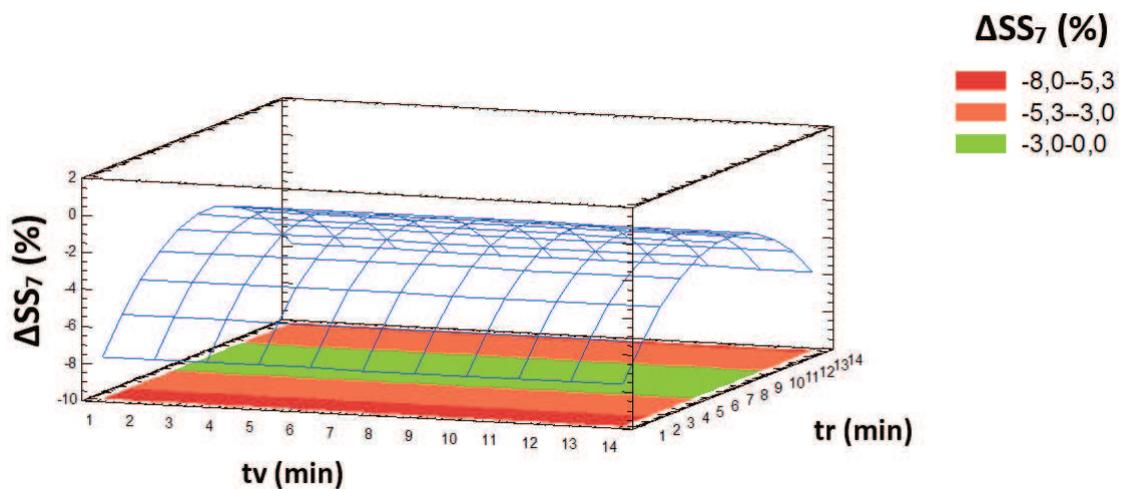
$\Delta SS_7$  = variación de sólidos solubles en el día siete

$tr$  = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.5.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta SS_7$ , para frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío, después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ C$

En la Figura 4.6. se muestra la gráfica de superficie de respuesta para el modelo  $\Delta SS_7$  en función del tiempo de vacío y el tiempo de relajación. Tiempos de relajación inferiores a 1 min producen mayor pérdida en el contenido de  $SS$ , pudiendo alcanzar una disminución aproximada de 5 a 8%; mientras que tiempos de relajación entre 2 a 4 min o 10 a 14 min producen disminuciones de 3 a 5%, por otro lado, no se generan cambios en el contenido de  $SS$  al emplear un  $tr$  aproximado entre 6 a 7 min.



**Figura 4.6.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta SS_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío después de 7 días de almacenamiento

Tappi et al., (2016) estudiaron la calidad y estabilidad de los compuestos antioxidantes y su actividad *in-vitro* durante el almacenamiento refrigerado de manzanas mínimamente procesadas, impregnadas por vacío ( $P= 200$  mbar,  $tv= 5$  min.  $tr= 5$  min) con 4 soluciones isotónicas que partieron de una solución de sacarosa: a) sacarosa sola, b) sacarosa + extracto de té verde (GTE), c) sacarosa + ácido ascórbico (AA) y d) sacarosa + AA+GTE. Los investigadores encontraron que los sólidos solubles después de 7 días de almacenamiento tuvieron disminuciones e incrementos, el rango de variación fue de -4,8% a 5,8% (el signo negativo representa pérdida), sin embargo, cabe destacar que las SO tuvieron diferente contenido de SS, dependiendo de los elementos agregados, La SO que contenía sacarosa únicamente presentó reducción del contenido de SS (3%). La disminución de SS después del almacenamiento en la presente tesis podría compararse con el estudio mencionado, dado que se produjo pérdida de los SS durante el almacenamiento; al reemplazar el  $tr$  empleado por los investigadores ( $tr= 5$  min) en la ecuación 4.3 de la presente tesis se obtiene una disminución de -3,12%. Cabe destacar que Paes et al., 2007 estudiaron la IV de manzanas frescas cortadas ( $P= 40$  mbar), a diferentes  $tv$  y  $tr$ , empleando una SO isotónica y demostraron que el mecanismo hidrodinámico ocurrió

principalmente en los primeros 5 min del tiempo de relajación, donde hubo un gran aumento de los °Brix de manzana, el fenómeno generado independientemente de la fruta puede ser comparable con el comportamiento observado en la presente tesis en donde tiempos de relajación bajos (>3min) produjeron mayor disminución de los SS.

### ***Cambios en el pH***

El valor de pH obtenido para frutillas frescas cortadas *var. Festival* fue de  $3,5\pm 0,02$ .

La Tabla 4.5. muestra los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual de pH en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío ( $\Delta pH_0$ ) y luego de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$  ( $\Delta pH_7$ ), en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para la variación de pH de frutillas frescas cortadas sometidas a IV se presenta en la Tabla 4.6. Los modelos para las respuestas  $\Delta pH_0$  y  $\Delta pH_7$  no fueron influenciadas por el tiempo de vacío ni de relajación ( $p \geq 0,05$ ). El valor promedio obtenido para  $\Delta pH_0$  fue de -2%, el signo negativo indica que se generó disminución en el valor de pH en las muestras sometidas a impregnación por vacío, por su parte el valor promedio para  $\Delta pH_7$  indica que prácticamente no hubo cambios a los 7 días (0,9%).

**Tabla 4.5.** Variación relativa de ( $\Delta\text{pH}_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta\text{pH}_0$ (%)	$\Delta\text{pH}_7$ (%)
T1	14	7,5	-2,35	0,94
T2	7,5	7,5	-0,10	5,58
T3	7,5	7,5	-2,57	-0,38
T4	7,5	14	-1,45	0,10
T5	3	3	-0,48	1,33
T6	3	12	-0,48	-1,24
T7	1,14	7,5	-3,05	2,38
T8	7,5	1,14	-2,00	-0,19
T9	12	3	-1,91	2,10
T10	12	12	-4,58	0,19
T11	7,5	7,5	-2,86	-0,95

**Tabla 4.6.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de pH en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta\text{pH}_0$ (%)	$\Delta\text{pH}_7$ (%)
A: tv (min)	1	2,68	0,00
B: tr (min)	1	0,47	2,11
AA	1	0,57	0,01
AB	1	1,78	0,10
BB	1	0,13	3,32
Falta de ajuste	3	2,37	5,49
Error puro	2	2,30	26,16
R <sup>2</sup>		32,92	16,01

GL: grados de libertad

La disminución de pH al día de aplicación del tratamiento de IV puede ser atribuida a la presencia de ácido cítrico y ascórbico en la solución osmótica (Mierzwa *et al.*, 2022), y al tratamiento de impregnación como tal, en ese sentido, Faican (2022) observaron reducción de pH en frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío empleando la misma SO que la presente tesis (jugo natural de frutilla), indicando que este hecho puede deberse a que las soluciones osmóticas contenían el 1% de ácido ascórbico y 1% de ácido cítrico que debido

a la aplicación de los tratamientos de IV pudieron ingresar en el tejido de la fruta por incremento en la tasa de difusión de iones hidrógeno como resultado del aumento en la superficie de contacto de la SO que contiene ácidos y el tejido de las frutillas. Respecto a ello, Derosi et al. (2010) y Derosi et al. (2011) indicaron que la impregnación por vacío permite mejorar la disminución de pH como consecuencia de un incremento del área de contacto entre el tejido vegetal y la solución ácida, empleando tiempos de tratamiento cortos en comparación con otras metodologías de reducción de pH.

En cuanto al incremento de pH después del tiempo de almacenamiento, Faicán (2022) encontraron resultados similares al trabajar con frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío con diferentes soluciones osmóticas, con adición de ácido cítrico y ascórbico en una proporción del 1%, bajo las mismas condiciones de presión de vacío que la presente tesis ( $P= 67,7$  mbar), ellos indicaron que este hecho puede deberse a que, durante el almacenamiento de la fruta, debido a los procesos fisiológicos como la respiración, el contenido de ácidos en la fruta es consumido y por lo tanto puede existir un incremento en el valor del pH. Esto concuerda con lo observado por Rico et al. (2007), quienes señalaron que la fruta mínimamente procesada presenta una mayor actividad metabólica y por tanto mayor velocidad de respiración que la fruta entera, lo cual produce un mayor consumo de azúcares y de ácidos orgánicos en el tiempo, generando cambios en la composición de la fruta, como ocurre en la presente tesis, en donde el aumento de pH posiblemente se generó por el consumo de ácidos.

**Firmeza**

El valor promedio de firmeza obtenido para las frutillas frescas cortadas sin impregnación por vacío fue de  $4,9 \pm 0,87N$

La Tabla 4.7. presenta los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual de la firmeza en el día de aplicación del tratamiento de IV ( $\Delta F_0$ ) y luego de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ C$  ( $\Delta F_7$ ), en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para firmeza de frutillas frescas cortadas sometidas a diferentes tratamientos de impregnación por vacío se presenta en la Tabla 4.8. El modelo  $\Delta F_0$  no mostro, falta de ajuste significativa ( $p \geq 0.05$ ) y explica el 93,2% la variabilidad de los datos como lo indica el estadístico  $R^2$ . Por su parte no se presentaron cambios significativos para el modelo que muestra el cambio en la firmeza ( $p \geq 0.05$ ) en el día siete ( $\Delta F_7$ ). El valor promedio obtenido para  $\Delta F_7$  fue de -7,6%; el signo negativo indica que se generó pérdida de firmeza después del almacenamiento.

**Tabla 4.7.** Variación relativa de firmeza ( $\Delta F_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ C$ , para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta F_0$ (%)	$\Delta F_7$ (%)
T1	14	7,5	-12,86	-36,99
T2	7,5	7,5	-21,80	-59,68
T3	7,5	7,5	-18,66	-5,72
T4	7,5	14	-3,78	-3,78
T5	3	3	-12,56	-14,22
T6	3	12	4,65	7,60
T7	1,14	7,5	6,87	14,46
T8	7,5	1,14	-19,56	-11,81
T9	12	3	-12,45	-6,20
T10	12	12	-21,00	-40,23
T11	7,5	7,5	-14,29	-5,84

**Tabla 4.8.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de la firmeza en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C.

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta F_0$ (%)	$\Delta F_7$ (%)
A: tv (min)	1	355,77*	1616,97
B: tr (min)	1	116,96	0,30
AA	1	273,24*	163,53
AB	1	165,89	779,80
BB	1	38,04	284,96
Falta de ajuste	3	38,85	226,53
Error puro	2	28,45	1936,81
R <sup>2</sup>		93,15	55,65

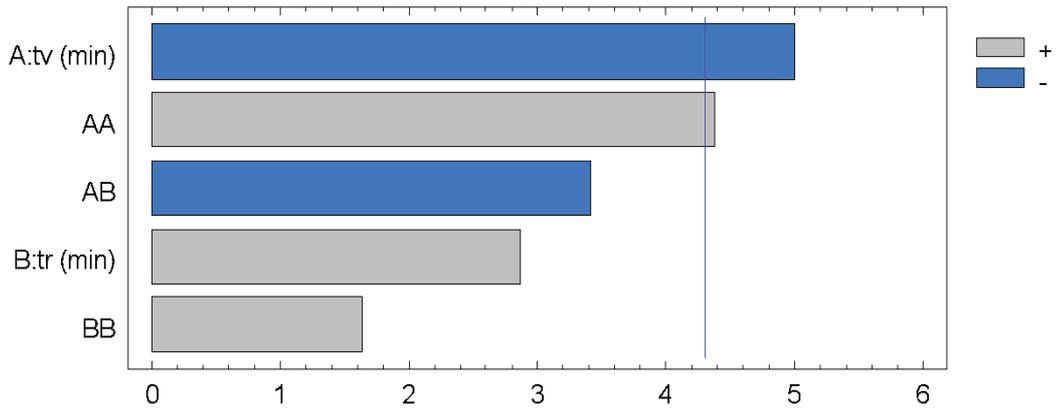
GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

El modelo  $\Delta F_0$  fue afectado por el término lineal tiempo de vacío (tv) y el término cuadrático ( $tv^2$ ) ( $p \leq 0,05$ ). En el diagrama de Pareto (Figura 4.7) se puede observar que el efecto del término lineal tv afecta de manera negativa a la firmeza, lo que quiere decir que a medida que el tiempo de vacío aumenta, la firmeza disminuye. El término cuadrático  $tv^2$  tuvo un efecto positivo, alcanzando el valor máximo (incremento de F) con el tv más corto. El modelo reducido  $\Delta F_0$  se muestra en la Ecuación 4.4:

$$\Delta F_0 (\%) = 12,2 - 6,0tv + 0,3tv^2 \tag{4.4}$$

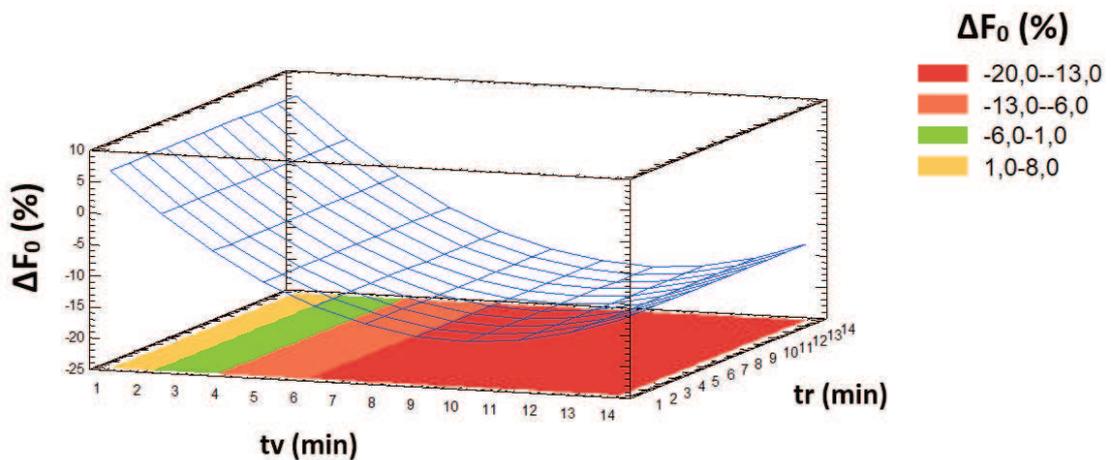
$\Delta F_0$  = variación de la firmeza en el día cero

tv = tiempo de vacío (min)



**Figura 4.7.**Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta F_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío.

La Figura 4.8 muestra la gráfica de superficie de respuesta para el modelo  $\Delta F_0$  en función de los tiempos de vacío y relajación. Se puede observar que tiempos de vacío superiores a los 6 min generan pérdidas aproximadas de 13 a 20%, dichas pérdidas se reducen cuando el tv es más bajo, tv entre 4 a 6 min producen disminución de F entre 6 y 13%, por otro lado, tv entre 1 a 2 min generan incrementos en la firmeza entre 1 a 8%.



**Figura 4.8.**Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de firmeza ( $\Delta F_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día de aplicación de del tratamiento

Como se indicó anteriormente, al incrementar el tiempo de vacío en el día de aplicación de los tratamientos, las frutillas impregnadas perdieron firmeza. En relación a este hecho, Santana Moreira et al. (2017) estudiaron la impregnación por vacío de  $\beta$ - caroteno y luteína en una ensalada de frutas, compuesta por banana, papaya, pera y mango. En el proceso, aplicaron 3 diferentes tiempos de vacío: 3, 7 y 10 min, con los mismos tiempos de relajación para cada uno de ellos; los investigadores encontraron disminución de la firmeza en diferentes proporciones, dependiendo de la fruta, sin embargo, cuando aplicaron un  $t_v=10$  min se generó una pérdida significativamente superior de firmeza respecto a la generada por los otros  $t_v$  empleados que fueron más bajos, en todas las frutas.

Igual et al. (2007) estudiaron la IV en caqui fresco cortado empleando una presión de vacío de 50 mbar,  $t_v=5$ min,  $t_r=5$ min y una SO con una concentración 3% superior a la que tiene la fruta y determinaron que la variedad de caqui "Rojo Brillante" mostró una disminución de la firmeza después de la aplicación del tratamiento de IV, indicando que este hecho se debe a la expansión y compresión de la fase gaseosa durante el vacío una deformación irreversible de la matriz sólida bajo gradientes de presión. Al tomar el  $t_v$  que utilizaron los investigadores en ese trabajo (5min) y reemplazarlo en la ecuación 4.4 de la presente tesis, se obtiene una pérdida de firmeza del 10,3%, en ese sentido el caqui es una fruta de porosidad baja (~4-5%) en comparación con otras frutas de mayor porosidad como en este caso la frutilla; matrices con menor porosidad pueden mostrar problemas de deformación mecánica al incrementar el nivel de vacío (Mujica et al., 2003).

### ***Parámetros de color y diferencia total de color***

Las frutillas frescas cortadas var. *Festival* sin aplicación del tratamiento de impregnación por vacío presentaron los siguientes parámetros de color  $L^*=31,1\pm 2,7$ ;  $a^*= 22,9\pm 4,2$ ;  $b^*= 8,6\pm 2,6$ ;  $C^*_{ab}= 24,4 \pm 4,8$ ;  $h_{ab}= 19,6\pm 3,2$ .

La Tabla 4.9. presenta los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $C^*_{ab}$  y  $h_{ab}$ ) en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^{\circ}\text{C}$ , en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

**Tabla 4.9.** Variación relativa de los parámetros de color ( $\Delta L^*_i$ ,  $\Delta C^*_{abi}$ ,  $\Delta h_{abi}$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^{\circ}\text{C}$ , para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta L^*_0$ (%)	$\Delta L^*_7$ (%)	$\Delta C^*_{ab0}$ (%)	$\Delta C^*_{ab7}$ (%)	$\Delta h_{ab0}$ (%)	$\Delta h_{ab7}$ (%)
T1	14	7,5	6,55	-5,74	11,77	-3,02	7,96	-7,05
T2	7,5	7,5	19,36	2,33	-46,51	-4,44	-0,79	-1,46
T3	7,5	7,5	4,04	11,51	-0,19	-19,23	12,09	-8,01
T4	7,5	14	10,56	-7,03	-27,38	-0,04	-4,32	-7,70
T5	3	3	7,92	0,41	28,94	-11,82	21,09	-11,37
T6	3	12	0,35	7,74	6,62	-10,87	-0,45	-2,70
T7	1,14	7,5	8,85	7,94	9,70	-12,85	19,48	-4,54
T8	7,5	1,14	2,57	6,24	1,31	-20,94	1,75	-5,93
T9	12	3	3,92	7,20	-4,68	-10,15	-5,99	-5,54
T10	12	12	6,22	7,80	6,01	-15,99	4,18	-11,09
T11	7,5	7,5	4,28	11,09	-6,62	-25,03	1,40	-19,12

La Tabla 4.10 muestra el resumen de ANOVA de los modelos propuestos para la variación de los parámetros de color de frutillas frescas cortadas tratadas por IV. Ninguno de los parámetros de color fue influenciado por los tiempos de vacío y de relajación ( $p \geq 0.05$ ). En ese sentido, la mejor estimación en el rango ensayado de las variables es el valor promedio de todas las corridas experimentales en el día cero y después de siete días de almacenamiento a  $1,5^{\circ}\text{C}$  son presentados en la Tabla 4.11.

**Tabla 4.10.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados					
		$\Delta L^*_{0}$ (%)	$\Delta L^*_{7}$ (%)	$\Delta C^*_{ab0}$ (%)	$\Delta C^*_{ab7}$ (%)	$\Delta h_{ab0}$ (%)	$\Delta h_{ab7}$ (%)
A: tv (min)	1	0,18	21,81	99,28	14,57	172,47	5,03
B: tr (min)	1	4,84	16,94	323,40	77,75	46,53	0,01
AA	1	10,70	32,39	1599,95	69,44	109,37	13,35
AB	1	24,35	11,32	272,41	11,52	251,38	50,55
BB	1	20,52	55,68	136,71	28,74	53,46	5,82
Falta de ajuste	3	51,69	225,91	493,21	196,68	10,31	7,79
Error puro	2	154,05	53,72	1259,37	225,44	94,98	159,40
R <sup>2</sup>		20,71	29,26	57,15	30,07	87,2	29,63

**Tabla 4.11.** Promedios de variación relativa de los parámetros de color ( $\Delta L^*_i$ ,  $\Delta C^*_{abi}$ ,  $\Delta h_{abi}$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Atributo (%)	Tiempo (d)	
	0	7
$\Delta L^*$	6,8±5,09 <sup>A</sup>	4,5±6,29 <sup>A</sup>
$\Delta C^*_{ab}$	10,7±9,61 <sup>A</sup>	-12,2±7,77 <sup>B</sup>
$\Delta h_{ab}$	5,1±9,07 <sup>A</sup>	-7,7±4,78 <sup>B</sup>

Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) por test de Tukey

Los valores de  $\Delta L^*$  obtenidos indican que en todos los casos las frutillas fueron más claras que las frutas cortadas sin procesar. No se observaron diferencias significativas entre la variación promedio de  $\Delta L^*$  en el día de aplicación de los tratamientos de IV y después del tiempo de almacenamiento, posiblemente por la gran desviación estándar de los valores obtenidos, que muestran un coeficiente de variación entre 75 y 139 %. Sin embargo los parámetros  $\Delta C^*_{ab}$  y el ángulo de tono ( $\Delta h_{ab}$ ) sí presentaron diferencias significativas entre el día 0 y 7. En los dos casos se generó incremento en el valor de  $C^*_{ab}$  y  $h_{ab}$  esto es, las frutillas resultaron con un croma más vivido pero menos rojas inicialmente, mientras que en el día 7 se produjo disminución del

tono es decir, la fruta tratada fue más rojiza que la fruta fresca, esto puede deberse a la incorporación de antocianinas gracias al tratamiento de IV, estos compuestos fenólicos le confieren el color rojo a las frutillas, en ese sentido, Van de Velde et al. (2018) modelaron el efecto del tipo de corte, la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre los cambios de los atributos de calidad, el contenido de compuestos bioactivos y la actividad enzimática del metabolismo de los fenilpropanoides de frutillas frescas cortadas y encontraron, aumentos transitorios significativos, resultado de la síntesis de novo de fenoles como respuesta al estrés de la herida, registrado en períodos específicos del tiempo de almacenamiento para cada tipo de corte y temperatura de almacenamiento. Respecto a ello encontraron un incremento progresivo en el contenido de fenoles en frutillas cortadas en cuartos y almacenadas a 2°C hasta 6 días s obteniéndose un aumento del 22% respecto al contenido inicial de fenoles, en ese sentido, se podrían comparar los resultados obtenidos en la presente tesis, en donde se produjo un incremento en contenido de antocianinas, principal compuesto fenólico presente en las frutillas, después del almacenamiento, en primera instancia podría ser por las operaciones de mínimo procesamiento y además la impregnación, que pueden inducir ese aumento como respuesta al daño.

La diferencia total de color se presenta en la Tabla 4.12 en el día de aplicación del tratamiento de impregnación por vacío y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

El resumen ANOVA de los modelos propuestos para la diferencia total de color en frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío se presenta en la Tabla 4.13. Los factores del tratamiento (tiempo de vacío y tiempo de relajación) no influyeron significativamente sobre la diferencia total de color ( $p \geq 0.05$ ). Los valores promedio obtenidos para esta respuesta fueron  $\Delta E^*_0 = 8,0 \pm 2,5$  y  $\Delta E^*_7 = 8,4 \pm 4,0$ ; sin diferencias significativas entre día cero y día siete.

**Tabla 4.12.** Diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta E_0^*$	$\Delta E_7^*$
T1	14	7,5	8,72	6,26
T2	7,5	7,5	14,04	19,23
T3	7,5	7,5	6,17	10,20
T4	7,5	14	9,71	5,95
T5	3	3	8,17	5,43
T6	3	12	7,54	6,54
T7	1,14	7,5	9,41	7,16
T8	7,5	1,14	5,43	10,88
T9	12	3	5,32	5,53
T10	12	12	6,79	7,43
T11	7,5	7,5	6,34	8,14

**Tabla 4.13.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación total de color ( $\Delta E^*$ ) de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta E_0^*$ (%)	$\Delta E_7^*$ (%)
A: tv (min)	1	2,53	0,05
B: tr (min)	1	5,92	2,26
AA	1	0,24	59,55
AB	1	1,10	0,15
BB	1	5,17	32,84
Falta de ajuste	3	8,23	16,31
Error puro	2	40,41	69,59
R <sup>2</sup>		23,40	46,41

GL: grados de libertad

Shikov et al. (2012), estudiaron el proceso de IV para la fortificación con polifenoles sobre frutillas como tratamiento previo al congelado, empleado una solución osmótica de extracto de pétalo de rosas, con P= 100 mbar, tv= 15 min, tr= 10 min, los investigadores estudiaron los cambios en el color a los 0 días de almacenamiento y después de 6 meses de almacenamiento a -18°C, determinaron que se generó mayor variación total de color a medida que pasaba

el tiempo de almacenamiento, sin embargo la variación de color fue de 0,5 a 2,3 en las tres variedades de frutillas estudiadas, lo cual implica un cambio menor al obtenido en la presente tesis.

### ***Antocianinas totales***

El contenido de antocianinas totales de las frutillas frescas cortadas fue de  $26,0 \pm 2,6$  mg P3G  $100^{-1}$ g fruta fresca.

La Tabla 4.14. muestra los resultados experimentales obtenidos para la variación de antocianinas totales ( $\Delta AT_i$ ) en el día de aplicación de los tratamientos de impregnación por vacío y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$ .

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para la variación del contenido de antocianinas totales de frutillas frescas cortadas sometidas a impregnación por vacío se presenta en la Tabla 4.15. El modelo  $\Delta AT_0$  explica el 95,4% de la variabilidad de los datos, sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0.05$ ). El modelo  $\Delta AT_7$  propuesto para evaluar los cambios en el contenido de antocianinas totales luego del almacenamiento no ajusto a las variables elegidas esto es el tiempo de vacío ni de relajación ( $p \geq 0.05$ ) dentro del rango experimental ensayado. El valor promedio de cambio de  $\Delta AT_7$  fue del 19,5%, lo que indica que, a los siete días de almacenamiento refrigerado, las frutillas impregnadas aun contenían un nivel de antocianinas superior a las frutas cortadas sin impregnar

**Tabla 4.14.** Variación relativa del contenido de antocianinas totales (AT<sub>i</sub>) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	ΔAT <sub>0</sub> (%)	ΔAT <sub>7</sub> (%)
T1	14	7,5	9,15	36,57
T2	7,5	7,5	24,77	19,24
T3	7,5	7,5	16,30	13,58
T4	7,5	14	21,91	3,58
T5	3	3	10,14	-10,00
T6	3	12	-4,98	13,85
T7	1,14	7,5	-5,28	27,39
T8	7,5	1,14	14,11	43,79
T9	12	3	8,10	3,29
T10	12	12	26,34	17,29
T11	7,5	7,5	22,67	45,35

**Tabla 4.15.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de antocianinas totales en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		ΔAT <sub>0</sub> (%)	ΔAT <sub>7</sub> (%)
A: tv (min)	1	231,53	108,15
B: tr (min)	1	20,80	51,37
AA	1	499,754*	32,69
AB	1	169,73	24,25
BB	1	14,40	249,86
Falta de ajuste	3	16,04	2060,78
Error puro	2	38,90	574,36
R <sup>2</sup>		95,40	14,17

GL: grados de libertad; \*: significativo a (p≤0,05)

El modelo para ΔAT<sub>0</sub> resulto función del término cuadrático del tiempo de vacío (tv<sup>2</sup>) (p≤0,05). El diagrama de Pareto (Figura 4.9), muestra el efecto del término cuadrático tv<sup>2</sup>, las antocianinas totales al estar afectadas por dicho término aumentan hasta alcanzar un valor máximo.

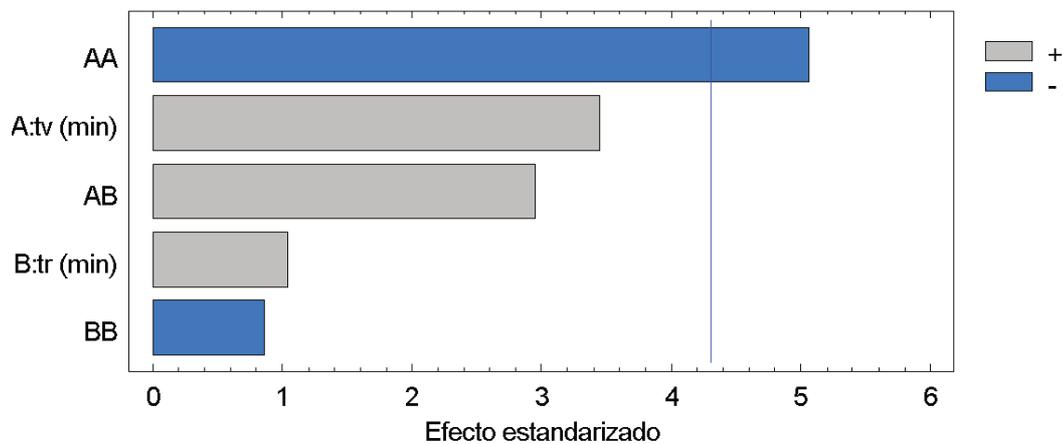
El modelo reducido  $\Delta AT_0$  se muestra en la Ecuación 4.5:

$$\Delta AT_0 (\%) = -19,1 + 8,6t_v - 0,5t_v^2 \quad (4.5)$$

Donde:

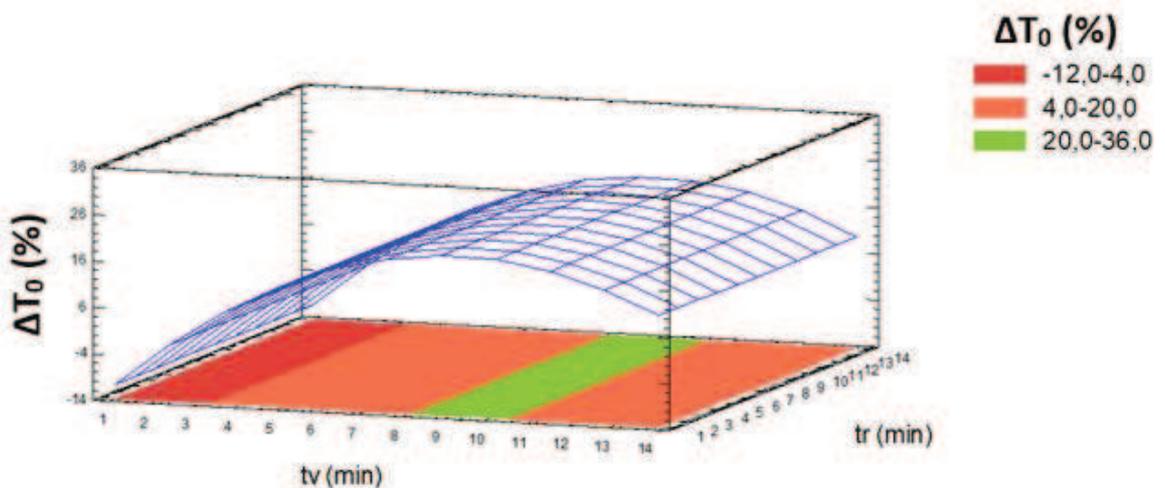
$\Delta AT_0$  = variación del contenido de antocianinas totales en el día cero

$t_v$  = tiempo de vacío (min)



**Figura 4.9.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta AT_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío

La Figura 4.10 presenta la gráfica de superficie de respuesta para el modelo  $\Delta AT_0$  en función del tiempo de vacío y relajación. Se puede observar que tiempos de vacío entre 1 a 3 min genera disminución en el contenido de antocianinas cercano al 12%, por otro lado, tiempos de vacío de 3 a 8 min, así como también de 11 a 14 min producen aumentos de AT, y los mayores incrementos se observan con un  $t_v$  de 8 a 11 min, pudiendo alcanzar un máximo de 36%.



**Figura 4.10.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de antocianinas totales ( $\Delta T_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero

Con respecto al incremento del contenido de antocianinas totales, similares resultados fueron obtenidos por Faicán. (2022) al impregnar por vacío frutillas frescas cortadas con una solución isotónica de jugo natural de frutilla bajo las mismas condiciones de presión de vacío que la presente tesis, obteniendo incrementos por encima del 10% al aplicar tiempos de vacío de 7,5 y 14 min, lo cual es comparable con la presente tesis en donde se obtuvieron incrementos superiores al 16% al emplear valores de  $t_v = 7,5$  y un aumento de aproximadamente 9% con  $t_v = 14$  min. Santana et al. (2017) estudiaron la aplicación de la IV para la incorporación de  $\beta$  caroteno en una ensalada de frutas mínimamente procesada compuesta de banana, papaya, pera y mango, se aplicaron diferentes tiempos de tratamiento ( $t_v = 3, 7$  y  $10$  min,  $t_r = 3, 7$  y  $10$  min), y mientras más alto fue el tiempo de tratamiento se generó mayor incorporación de carotenoides, alcanzando un contenido de carotenoides 11 veces más alto en la ensalada de frutas después de aplicar el tratamiento de IV respecto a la ensalada sin IV. Por su parte, Xie y Zhao. (2004) estudiaron la IV de frutillas frescas cortadas como pretratamiento a la congelación con la finalidad de mejorar la calidad nutricional y fisicoquímica, para ello emplearon dos

crioprotectores, así como dos minerales (Ca y Zn), empleando un tiempo de vacío de 15 min y una presión de vacío= 66, 7 mbar; el contenido de calcio y zinc en las frutillas se incrementó >7 y >10 veces, respectivamente, en la fruta tratada por impregnación por vacío, los investigadores indicaron que el tratamiento de IV tiene el potencial para mejorar el contenido mineral en frutillas frescas cortadas y mejorar el potencial saludable de esta fruta debido a los poros presentes en la frutilla que la hacen apta para la aplicación del tratamiento de impregnación por vacío, lo cual se corresponde con el comportamiento observado en la presente tesis en donde el producto puede recuperar la pérdida de antocianinas que se producen sobre todo en las etapas previas de preparación (por ejemplo lavado) y pueden de esta forma, mantener el potencial saludable en el contenido de antocianinas, que en numerosos trabajos (Moreno *et al.*, 2014; Van de Velde *et al.*, 2019 ) han demostrado efectos beneficiosos sobre la salud.

### ***Perfil de antocianinas***

Las frutillas frescas cortadas sin aplicación del tratamiento de impregnación presentaron un contenido de pelargonidin 3-O-glucósido (P3G) de  $28,4 \pm 0,60$  mg  $100g^{-1}$ ; cianidin 3-O-glucósido (C3G) de  $2,5 \pm 0,01$  mg  $100g^{-1}$ ; y pelargonidin 3-O-rutinosido (P3R) de  $2,0 \pm 0,14$  mg  $100g^{-1}$ .

La Tabla 4.16. presenta los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual del perfil de antocianinas (P3G, C3G y P3R) en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^{\circ}C$ , en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

El ANOVA de los modelos predictivos propuestos para la variación relativa porcentual de  $\Delta P3G$ ,  $\Delta C3G$  y  $\Delta P3R$  en frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío se presentan en la Tabla 4.17.

El modelo  $\Delta P3G_0$  explica el 83,12% de la variabilidad de los datos sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0.05$ ). Se observa que la interacción entre los factores tiempo de vacío y tiempo de relajación ( $tv \times tr$ ) tuvieron influencia significativa sobre el contenido de pelargonidin 3-O-glucósido en el día cero.

Sin embargo, los modelos propuestos no ajustaron para las respuestas  $\Delta P3G_7$ ,  $\Delta C3G_0$ ,  $\Delta C3G_7$ ,  $\Delta P3R_0$  y  $\Delta P3R_7$ , en ese sentido, los valores promedios dentro del rango experimental ensayado para las principales antocianinas presentes en las frutillas fueron:  $\Delta P3G_7=4,8\%$ ;  $\Delta C3G_0= 11,8\%$ ;  $\Delta C3G_7= 11,5\%$ ;  $\Delta P3R_0= 22,3\%$  y  $\Delta P3R_7= 11,9\%$ .

**Tabla 4.16.** Variación relativa de las principales antocianinas presentes en frutillas ( $\Delta P3Gi$ ,  $\Delta C3Gi$ ,  $\Delta P3Ri$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta P3G_0$ (%)	$\Delta P3G_7$ (%)	$\Delta C3G_0$ (%)	$\Delta C3G_7$ (%)	$\Delta P3R_0$ (%)	$\Delta P3R_7$ (%)
1	14	7,5	4,29	20,45	23,18	39,50	3,98	21,70
2	7,5	7,5	14,56	5,95	26,97	36,20	7,46	12,68
3	7,5	7,5	19,30	14,03	7,89	21,73	43,68	30,43
4	7,5	14	1,95	4,22	4,16	21,97	3,72	6,88
5	3	3	37,14	-20,46	6,15	-25,16	53,31	-13,41
6	3	12	-8,41	-14,25	-18,21	-18,70	-7,96	-10,49
7	1,14	7,5	-7,79	10,40	-0,83	8,73	-3,65	31,20
8	7,5	1,14	35,56	3,80	-1,99	10,92	55,26	4,80
9	12	3	13,19	-6,21	11,56	-13,65	23,22	4,64
10	12	12	41,24	14,69	30,42	4,93	54,95	22,69
11	7,5	7,5	23,99	19,91	34,42	39,84	42,19	19,75

**Tabla 4.17.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de cuadrados					
		$\Delta P3G_0$ (%)	$\Delta P3G_7$ (%)	$\Delta C3G_0$ (%)	$\Delta C3G_7$ (%)	$\Delta P3G_0$ (%)	$\Delta P3G_7$ (%)
A: tv (min)	1	215,02	414,40	749,3	761,68	190,129	180,67
B: tr (min)	1	335,28	92,57	1,06	195,33	950,78	66,92
AA	1	328,78	51,66	177,92	863,89	729,88	8,07
AB	1	733,18*	53,94	279,59	36,72	1300,10	57,22
BB	1	30,19	423,60	602,84	1477,47	46,19	725,01
Falta de ajuste	3	411,56	726,38	81,58	2317,35	787,99	1038,18
Error puro	2	44,46	98,24	374,46	183,53	840,09	159,70
R <sup>2</sup>		83,12	54,50	82,05	53,27	70,37	47,01

GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

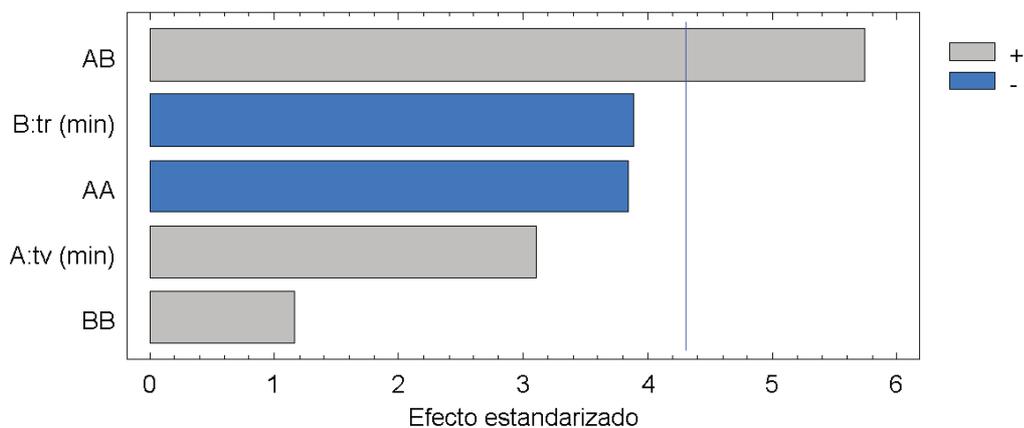
El diagrama de Pareto (Figura 4.11), muestra que la interacción entre el tiempo de vacío y el tiempo de relajación es positiva, es decir que a medida que aumentan estos factores, mayor es el incremento en el contenido de pelargonidin 3-O-glucósido. El modelo reducido  $\Delta P3G_0$  se muestra en la Ecuación 4.6:

$$\Delta P3G_0(\%) = 71,86 - 5,65t_v - 8,62t_r + 0,91t_v t_r \tag{4.6}$$

$\Delta P3G_0$  = variación del contenido de pelargonidin 3-O-glucósido en el día cero

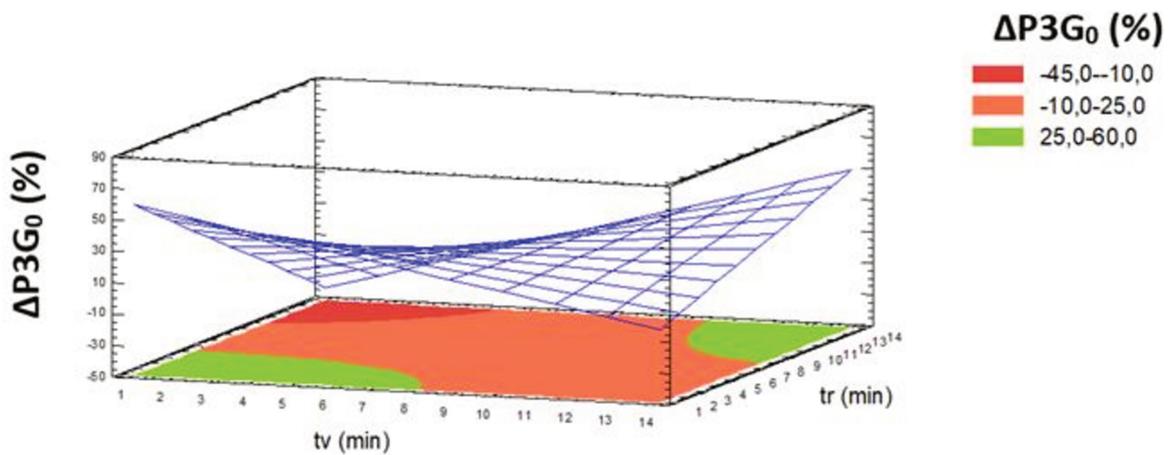
$t_v$  = tiempo de vacío (min)

$t_r$  = tiempo de relajación (min)

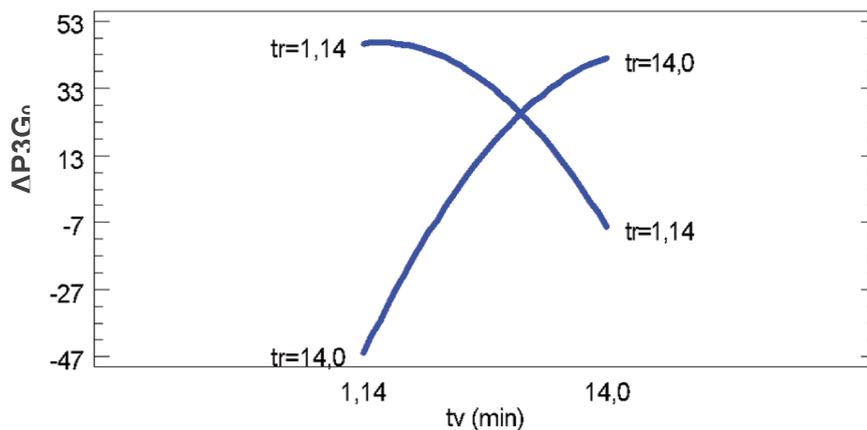


**Figura 4.11.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta P3G_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío

Según la gráfica de superficie respuesta (Figura 4.12) y la gráfica de interacción (Figura 4.13) se observa que combinaciones de tiempo de vacío inferiores entre 1 a 8 min con tiempos relajación superiores a 10 min pueden generar pérdida del contenido de P3G de aproximadamente 10 al 45%, mientras que los mayores incrementos se producen con combinaciones de tv entre 1 a 8 min, combinados con tr < 4min; de igual forma cuando se combina tv > 13 min con tr >6 min, pudiendo alcanzar un máximo aumento de P3G de aproximadamente el 60%



**Figura 4.12.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido pelargonidin 3-O-glucósido ( $\Delta P3G_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7mbar en el día cero



**Figura 4.13.** Gráfica de interacción para el contenido pelargonidin 3-O-glucósido ( $\Delta P3G_0$ ) de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución del tratamiento

Al igual que en la presente tesis, Faicán (2022) encontraron incrementos en el contenido de las tres principales antocianinas presentes en las frutillas al trabajar con jugo natural de frutilla  $t_v= 14$  min y  $t_r= 7,5$  min, bajo las mismas condiciones de vacío que la presente tesis, en todos los casos el incremento se mantuvo en el tiempo, después de los 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$ .

Una adecuada combinación de tiempo de vacío y relajación en el proceso de impregnación por vacío es importante, dado que permite incrementar o disminuir el contenido de compuestos bioactivos y así mejorar el potencial saludable de frutillas frescas cortadas, en ese sentido se ha encontrado que combinaciones de  $t_v$  y  $t_r$  bajos, así como también  $t_v$  y  $t_r$  altos, producen los mayores aumentos en el contenido de la principal antocianina presente en la frutilla (pelargonidin 3-O-glucósido); es preciso sin embargo establecer tiempos adecuados que a más de permitir el incremento de compuestos bioactivos, ayuden a mantener diferentes atributos de calidad en el producto que mantengan sus características de fruta fresca tales como la textura, dado que tiempos de vacío altos podrían hacer que pierda firmeza.

### ***Vitamina C***

Las frutillas frescas cortadas sin aplicación del tratamiento de impregnación presentaron un contenido de vitamina C de  $36,4 \pm 3,68$  mg  $100\text{g}^{-1}$  de fruta fresca.

La Tabla 4.18 presenta los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual del contenido de vitamina C en el día de aplicación del tratamiento de impregnación por vacío y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$ , en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

La Tabla 4.19. muestra el ANOVA de los modelos predictivos propuestos para el contenido de vitamina C en frutillas frescas cortadas impregnadas por

vacío, se observa que la variación de vitamina C en el día cero, así como también en el día siete ( $\Delta\text{Vit C}_0$  y  $\Delta\text{Vit C}_7$ ) no presentaron falta de ajuste significativa ( $p \geq 0.05$ ). El modelo  $\Delta\text{VC}_0$  explica la variabilidad de los datos en un 77,0%, mientras que  $\Delta\text{VC}_7$ , el 76,8%. Las respuestas fueron influenciadas significativamente por el tiempo de vacío, en el día cero y después del período de almacenamiento.

**Tabla 4.18.** Variación relativa del contenido de vitamina C ( $\text{VC}_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta\text{VC}_0$ (%)	$\Delta\text{VC}_7$ (%)
T1	14	7,5	134,47	107,18
T2	7,5	7,5	76,17	67,98
T3	7,5	7,5	96,41	64,20
T4	7,5	14	94,51	91,78
T5	3	3	62,13	48,56
T6	3	12	50,45	37,39
T7	1,14	7,5	56,76	39,47
T8	7,5	1,14	67,15	44,57
T9	12	3	88,45	42,19
T10	12	12	89,95	83,67
T11	7,5	7,5	108,68	80,20

**Tabla 4.19.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de vitamina C en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta\text{VC}_0$ (%)	$\Delta\text{VC}_7$ (%)
A: tv (min)	1	3305,93*	2362,12*
B: tr (min)	1	137,59	1212,23
AA	1	133,51	48,61
AB	1	1,19	693,00
BB	1	791,55	170,28
Falta de ajuste	3	1000,93	1183,87
Error puro	2	271,01	139,87
R <sup>2</sup>		77,00	76,79

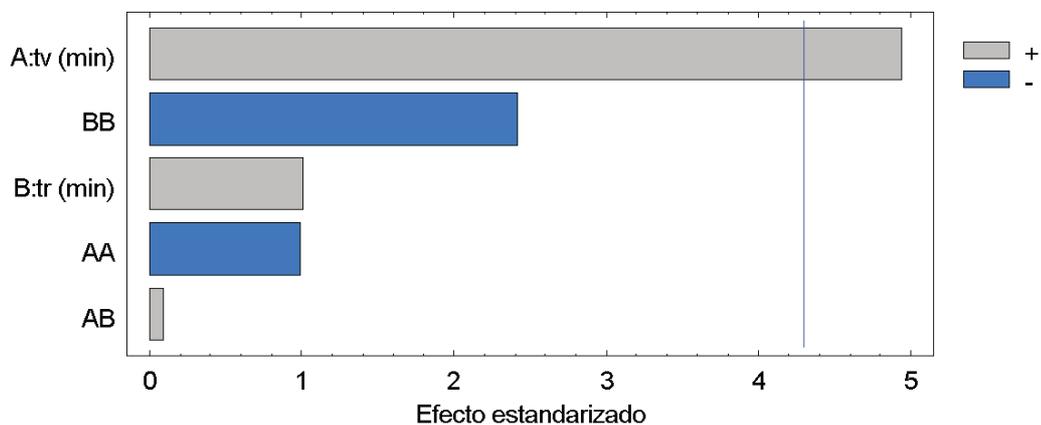
GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

El modelo para  $\Delta VC_0$  fue afectado por el término lineal tiempo de vacío ( $tv$ ) ( $p \leq 0,05$ ). El diagrama de Pareto (Figura 4.14), indica que el tiempo de vacío tiene un efecto positivo, es decir que a medida que incrementa el tiempo de vacío, aumenta el contenido de vitamina C. El modelo reducido  $\Delta VC_0$  se muestra en la Ecuación 4.7:

$$\Delta VC_0 (\%) = 47,49 + 4,88tv \tag{4.7}$$

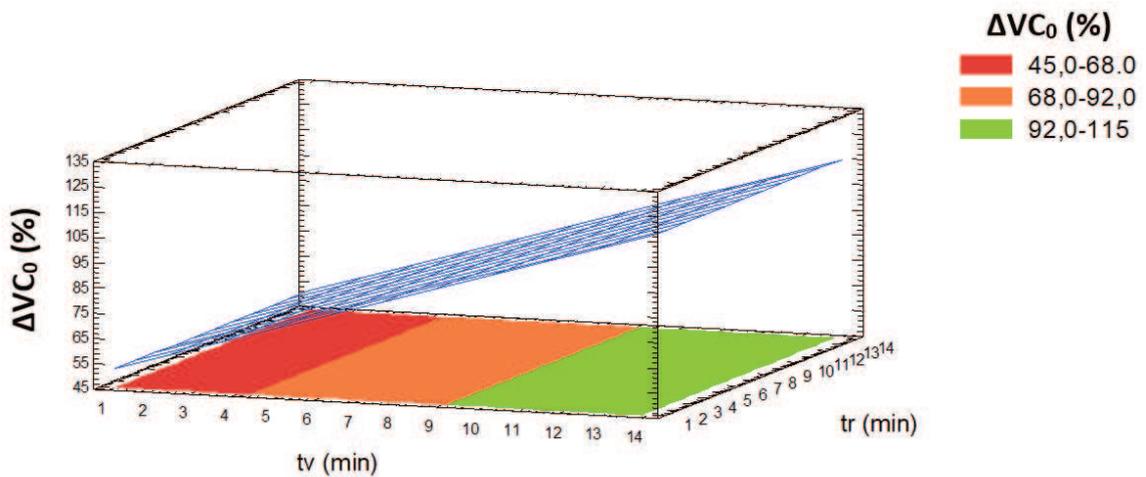
$\Delta VC_0$  = variación del contenido de vitamina C en el día cero

$tv$  = tiempo de vacío (min)



**Figura 4.14.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta VC_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío

La Figura 4.15 muestra la gráfica de superficie respuesta para la variación del contenido de vitamina C, se observa que mientras mayor es el tiempo de vacío, existe mayor incremento de  $VC_0$ , los mayores incrementos se producen con  $tv$  superiores a los 9 min, pudiendo alcanzar un valor de aumento máximo aproximado del 115%.



**Figura 4.15.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de vitamina C ( $\Delta VC_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero

Mierzwa et al. (2022) evaluaron la aplicación de la impregnación al vacío asistida por ultrasonido como método para la modificación de la calidad de arándanos, los investigadores estudiaron la fortificación de los arándanos con vitamina C, para ello usaron una SO isotónica de sacarosa con agregado del 0,5% de ácido ascórbico y 0,5% de ácido cítrico, empleando dos presiones de vacío entre ellas 50 mbar, con  $t_v = 30$  min y  $t_r = 30$  min. Encontraron un incremento en el contenido de vitamina C del 362%. Sustituyendo el valor de  $t_v$  del estudio (30 min) en la ecuación 4.7 de la presente tesis, se obtuvo un incremento en el contenido de Vitamina C de 191,5%, que es un valor alto dado que el  $t_v$  es mayor que los definidos en la presente tesis, por otra parte este incremento es menor al obtenido para el arándano, lo cual es de esperarse dado que la porosidad del arándano es  $\approx 24\%$  (Mierzwa et al., 2022), frente a la frutilla que tiene una porosidad aproximada del 6% (Fito et al., 2001), en ese sentido, una mayor porosidad facilita la incorporación de la SO en el producto.

Por su parte Faican, (2022) encontraron incremento en el contenido de vitamina C en frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar con una solución osmótica isotónica de jugo natural de frutilla con adición de ácido ascórbico y ácido cítrico y encontraron un incremento el contenido de vitamina C

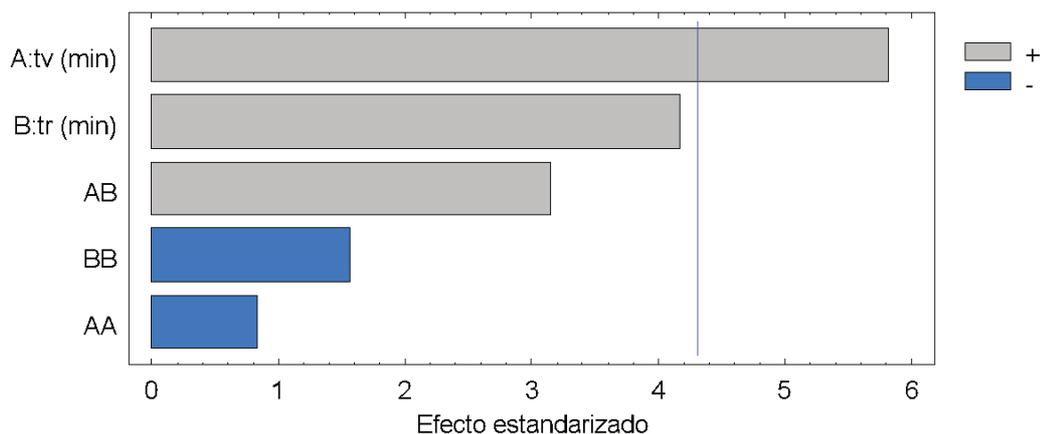
al emplear un  $t_v = 7,5$  min y un  $t_r = 7,5$  min, el valor obtenido fue superior al 80%, al igual que lo obtenido en la presente tesis.

Respecto a los resultados obtenidos después del tiempo de almacenamiento, el diagrama de Pareto (Figura 4.16), indica que el modelo para  $\Delta VC_7$  fue afectado significativamente por el tiempo de vacío ( $t_v$ ) ( $p \leq 0,05$ ),  $t_v$  tiene un efecto positivo lo que quiere decir que a medida que incrementa el tiempo de vacío, aumenta el contenido de vitamina C. El modelo reducido  $\Delta VC_7$  se muestra en la Ecuación 4.8:

$$\Delta VC_7 (\%) = 36,02 + 3,77t_v \quad (4.8)$$

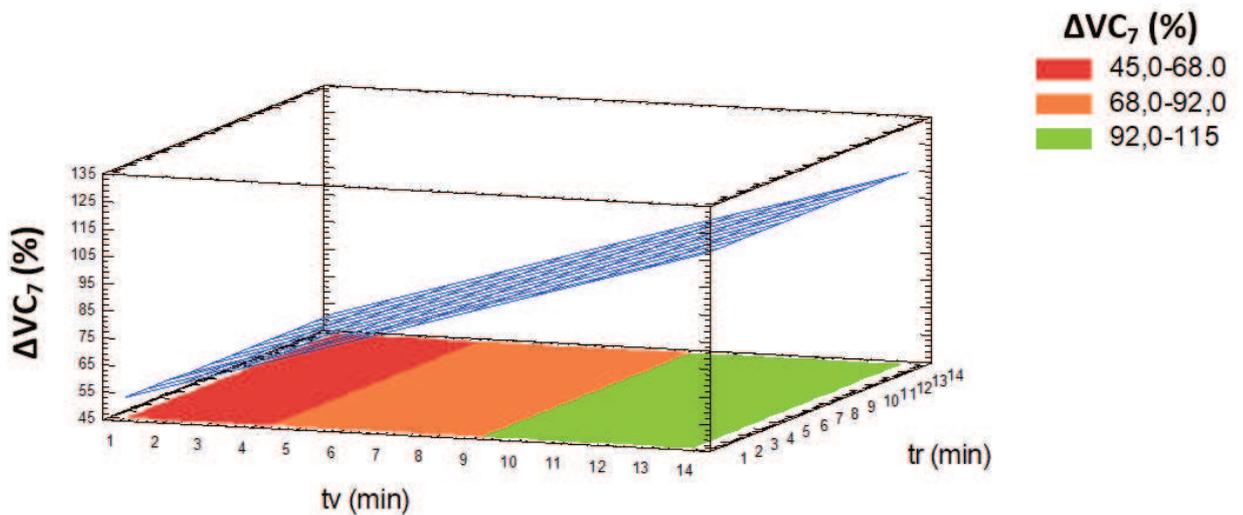
$\Delta VC_7 =$  variación del contenido de vitamina C en el día siete (%)

$t_v =$  tiempo de vacío (min)



**Figura 4.16.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta VC_7$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío

La Figura 4.17 presenta la gráfica de superficie respuesta para la variación del contenido de vitamina C en función del tiempo de vacío y relajación, se puede observar que mientras mayor es el tiempo de vacío, mayor es el incremento en el contenido de vitamina C; tiempos de vacío superiores a 9 min podrían generar los más grandes aumentos, pudiendo alcanzar un máximo de  $\approx 115\%$ .



**Figura 4.17.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de vitamina C ( $\Delta VC_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

El incremento en el contenido de vitamina C se puede atribuir a la presencia de ácido ascórbico en la solución osmótica, mismo que se incorpora en la fruta al aplicar la impregnación por vacío, el tratamiento permite incrementar la tasa de difusión de la solución osmótica como resultado del aumento de la superficie de contacto del líquido circundante con el tejido de la fruta; un tiempo de vacío mayor, permite una mejor desaireación del producto para la posterior incorporación del líquido; en la presente tesis, el incremento en el contenido de vitamina C, se produjo en el día de aplicación del tratamiento, si bien después del almacenamiento se generó una disminución de la proporción de vitamina C entre muestras tratadas en el d0 y d7 de 1 a 2 veces; el incremento se mantuvo en el tiempo con respecto a la fruta fresca sin tratar. Hironaka et al., (2011) estudiaron la aplicación de la impregnación por vacío para el enriquecimiento de patatas con vitamina C, ellos encontraron que a medida que aumentaron el tiempo de vacío, se incrementó el contenido de vitamina C. Después de 14 días de almacenamiento se produjo disminución en el contenido de vitamina C de las patatas tratadas pero esa reducción siempre se mantuvo más alta en el almacenamiento en relación a las patatas sin tratar.

**Fenoles totales**

La Tabla 4.20. muestra los resultados experimentales obtenidos para la variación del contenido de fenoles totales ( $\Delta FT_i$ ) en el día de aplicación de los tratamientos de impregnación por vacío y después de siete días de almacenamiento a 1,5°C de frutillas frescas cortadas.

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para la variación del contenido de fenoles totales de frutillas frescas cortadas sometidas a IV se presenta en la Tabla 4.21.

El modelo propuesto para  $\Delta FT_0$ ) resultó adecuado sin falta de ajuste ( $p \geq 0.05$ ) explicando el 81,68% de la variabilidad de los datos. Por su parte  $\Delta FT_7$  no fue influenciado por ninguna de las variables del proceso (tiempo de vacío y relajación) ( $p \geq 0.05$ ), en ese caso, la mejor estimación para  $\Delta FT_7$  dentro del rango experimental ensayado es el promedio = 3,55%; indicando que se generó un incremento en el contenido de fenoles totales durante el almacenamiento.

**Tabla 4.20.** Variación relativa del contenido de fenoles totales ( $FT_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv(min)	tr (min)	$\Delta FT_0$ (%)	$\Delta FT_7$ (%)
T1	14	7,5	8,41	6,83
T2	7,5	7,5	5,40	22,79
T3	7,5	7,5	0,47	1,30
T4	7,5	14	6,31	0,72
T5	3	3	0,09	5,24
T6	3	12	-1,30	-2,32
T7	1,14	7,5	-7,76	-2,97
T8	7,5	1,14	16,76	2,34
T9	12	3	14,53	0,31
T10	12	12	29,00	-6,84
T11	7,5	7,5	2,01	11,61

**Tabla 4.21.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de fenoles totales en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta FT_0$ (%)	$\Delta FT_7$ (%)
A: tv (min)	1	320,20*	1,90
B: tr (min)	1	11,06	38,62
AA	1	1,51	175,18
AB	1	103,64	0,04
BB	1	201,47*	187,89
Falta de ajuste	3	169,27	110,31
Error puro	2	12,72	231,03
R <sup>2</sup>		81,68	48,17

GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

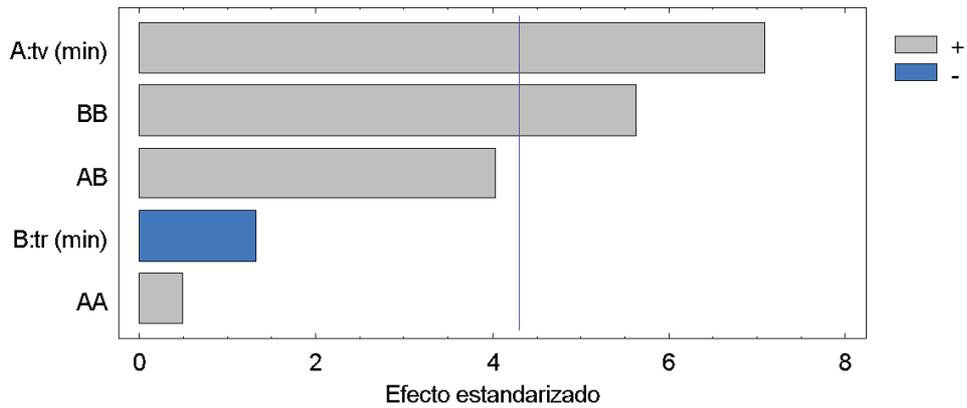
El diagrama de Pareto (Figura 4.18) muestra que el modelo  $\Delta FT_0$  fue afectado por el término lineal tiempo de vacío (tv) ( $p \leq 0,05$ ) de forma positiva, es decir que a medida que aumenta el tiempo de vacío, se incrementa el contenido de fenoles totales; de la misma manera, el término cuadrático  $tr^2$  tiene efecto positivo. El modelo reducido  $\Delta FT_0$  se muestra en la Ecuación 4.9:

$$\Delta FT_0(\%) = 4,38 + 1,86t_v - 4,10t_r + 0,27t_r^2 \tag{4.9}$$

$\Delta FT_0$  = variación del contenido de fenoles totales en el día cero

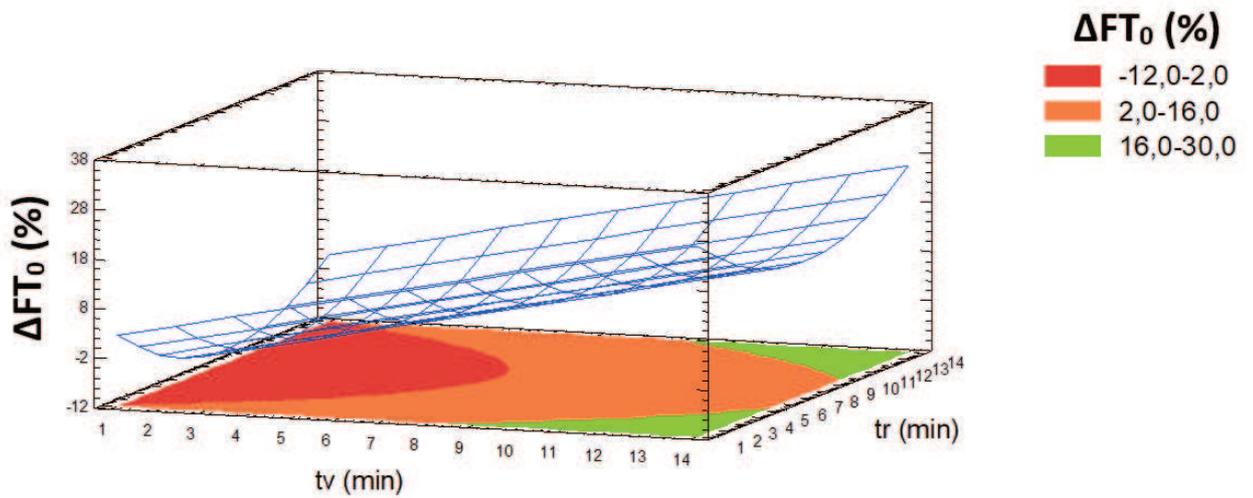
$t_v$  = tiempo de vacío (min)

$t_r$  = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.18.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta FT_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío

La Figura 4.19 presenta la gráfica de superficie de respuesta para la variación del contenido de fenoles totales en función del tiempo de vacío y relajación, se observa que tiempos de vacío entre 1 a 7 min combinados con tr entre 1 a 14 min generan disminución del contenido de fenoles totales que podrían alcanzar el 12%; por su parte tiempos de vacío superiores entre 9 a 14 min combinados con tr entre 1 a 14 min o tr entre 8 a 14 min producen los mayores incrementos de FT, pudiendo alcanzar un aumento del 30%.



**Figura 4.19.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de fenoles totales ( $\Delta CFT_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar

Shikov et al. (2012) encontraron un incremento en el contenido de fenoles totales de frutillas impregnadas por vacío ( $P= 100$  mbar,  $t_v= 10$ ,  $t_r= 10$  min) con una solución osmótica rica en polifenoles de pétalos de rosa, los aumentos fueron entre el 15,4 % al 25,7% en tres variedades de frutillas. Al reemplazar los  $t_v$  y  $t_r$  de dicho estudio, en la ecuación 4.9 de la presente tesis se obtuvo un aumento en el contenido de fenoles del 22,2 %, lo cual concuerda con lo expuesto en la gráfica de superficie de respuesta para el modelo  $\Delta CFT_0$  al emplear dichos tiempos de vacío y relajación.

Por su parte Tylewicz et al. (2019), estudiaron las propiedades fisicoquímicas de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío como pre tratamiento al secado, empleando una solución osmótica de jugo de arándano con sacarosa en diferentes concentraciones, con una presión de vacío de 200 mbar,  $t_v= 4$  min y  $t_r= 5$  min. Cuando usaron una SO isotónica encontraron un incremento previo al secado, en el contenido de fenoles totales de aproximadamente el 12%, sin embargo al reemplazar los valores de  $t_v$  y  $t_r$  aplicados por Tylewicz et al. (2019) en la ecuación 4.9 de la presente tesis se obtuvo una disminución del contenido de fenoles totales del 1,93%, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en la presente tesis, de igual forma, es necesario considerar la aplicación de la presión del estudio de Tylewicz et al. (2019), que fue mayor a la empleada en la presente tesis, en ese sentido se conoce que una presión de vacío alta puede producir mayor daño tisular, lo que contribuye al deterioro de la dureza como resultado se obtiene un menor grado de impregnación tisular (Mierzwa et al., 2022). Asimismo, se sabe que frutas con menor porosidad podrían presentar problemas de deformación mecánica al incrementar el nivel de vacío, reduciendo o incrementando la capacidad de impregnación (Mujica-Paz et al., 2003).

**Capacidad antioxidante**

Los resultados experimentales correspondientes a la variación relativa porcentual de la actividad antioxidante ( $\Delta CA_i$ ) en frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío se presentan en la Tabla 4.22. para el día cero y después de siete días de almacenamiento a 1,5°C.

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para la variación de la capacidad antioxidante se muestra en la Tabla 4.23.

El modelo propuesto para  $\Delta CA_0$  resultó adecuado sin falta de ajuste ( $p \geq 0.05$ ) explicando el 93,15% de la variabilidad de los datos. Mientras que el modelo  $\Delta CA_7$  no mostró falta de ajuste, pero ninguna de las variables del proceso tuvo influencia significativa sobre dicho modelo ( $p \geq 0.05$ ), en ese caso la mejor estimación corresponde al promedio dentro del rango experimental ensayado, se obtuvo un incremento promedio para  $\Delta CA_7 = 5,45\%$ .

**Tabla 4.22.** Variación relativa de la capacidad antioxidante ( $CA_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar

<b>Tratamiento</b>	<b>tv (min)</b>	<b>tr (min)</b>	<b><math>\Delta CA_0</math> (%)</b>	<b><math>\Delta CA_7</math> (%)</b>
T1	14	7,5	17,21	18,23
T2	7,5	7,5	13,71	5,16
T3	7,5	7,5	16,62	-1,22
T4	7,5	14	13,59	3,23
T5	3	3	3,93	-4,26
T6	3	12	0,55	-3,48
T7	1,14	7,5	-1,33	-22,92
T8	7,5	1,14	16,99	11,51
T9	12	3	18,19	14,94
T10	12	12	26,93	20,85
T11	7,5	7,5	20,86	17,94

**Tabla 4.23.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de la capacidad antioxidante en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta CA_0$ (%)	$\Delta CA_7$ (%)
A: tv (min)	1	341,704*	1285,13
B: tr (min)	1	3,47	2,98
AA	1	85,41	80,56
AB	1	55,34	6,57
BB	1	0,43	6,70
Falta de ajuste	3	20,23	110,71
Error puro	2	25,85	190,38
R <sup>2</sup>		93,15	82,4

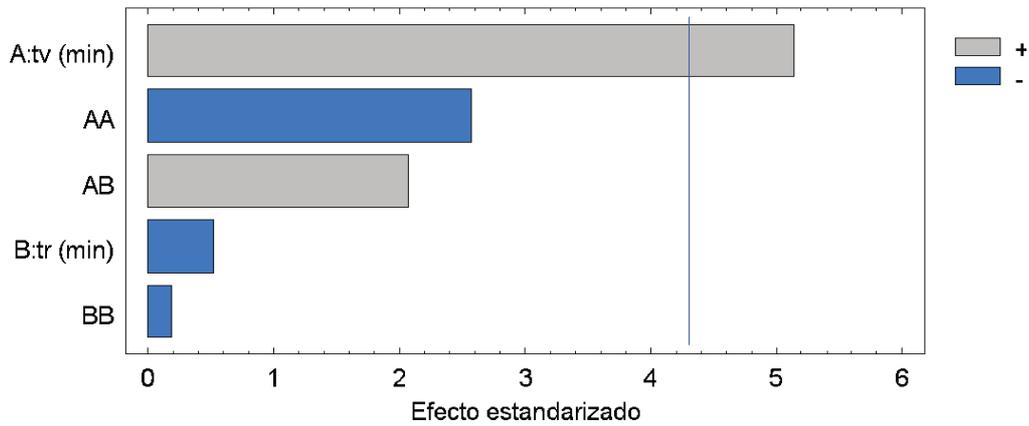
GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

La Figura 4.20 presenta el diagrama de Pareto del modelo de  $\Delta CA_0$ , se observa que la variación de la capacidad antioxidante en el día cero fue afectada de manera positiva ( $p \leq 0,05$ ) por el término lineal tiempo de vacío (tv), es decir que a medida que aumenta el tiempo de vacío, se incrementa la capacidad antioxidante. El modelo reducido  $\Delta CFT_0$  se muestra en la Ecuación 4.10:

$$\Delta CA_0 (\%) = -0,006 + 1,8tv \quad (4.10)$$

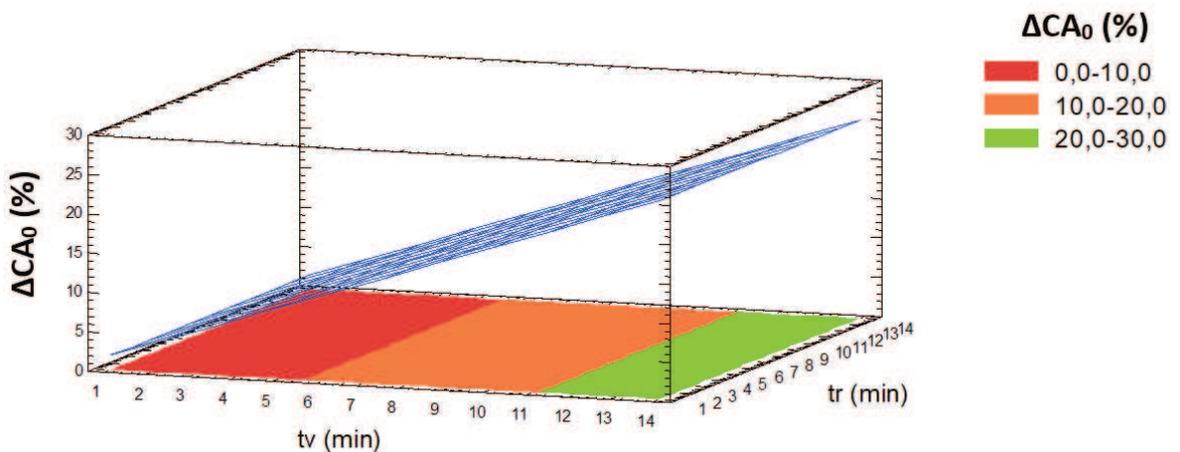
$\Delta CA_0$  = variación la capacidad antioxidante el día cero

tv = tiempo de vacío (min)



**Figura 4.20.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta CA_0$ , para frutillas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío.

La Figura 4.21 muestra la gráfica de superficie respuesta para la variación de la capacidad antioxidante en función del tiempo de vacío y relajación, se observa que a medida que incrementa el tv, aumenta la capacidad antioxidante tiempos de vacío entre 1 a 5 min pueden no producir cambios hasta cambios del 10%, tv entre 6 a 11 min generan incrementos de la CA de hasta un 20 %, mientras que los mayores aumentos se producen con tv superior a 12 min (hasta un 30%)



**Figura 4.21.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de la capacidad antioxidante ( $\Delta CA_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero

Shikov et al. (2012) estudiaron el proceso de impregnación por vacío ( $P= 100$  mbar,  $t_v= 10$ ,  $t_r= 10$  min) como pre tratamiento al congelado de frutillas, empleando una SO isotónica rica en polifenoles de pétalos de rosa, y obtuvieron incremento en la capacidad antioxidante, lo cual se correspondió con el aumento en el contenido de antocianinas totales y de polifenoles totales, el incremento de la CA fue de 11,2-31,8% determinada en 3 variedades de frutillas. Lo cual es comparable con los resultados obtenidos en la presente tesis, en donde un  $t_v > 7,5$  min produjo aumentos superiores al 10% en la CA.

De la misma manera, Tylewicz et al. (2019), estudiaron la impregnación por vacío ( $P= 200$  mbar,  $t_v= 4$  min y  $t_r= 5$  min) de frutillas mínimamente procesadas como pre tratamiento al secado, al utilizar una SO isotónica de jugo de arándano, tuvieron un incremento de la capacidad antioxidante aproximada del 1,7 %. Al reemplazar el valor de  $t_v$  (5 min) empleado en el estudio, en la ecuación 4.10 del modelo  $\Delta CA_0$  de la presente tesis, se obtuvo un aumento en la capacidad antioxidante del 7,47%, en ese caso la diferencia puede deberse a la presión empleada en el estudio que es mayor a la empleada en el presente trabajo de tesis, como se explicó anteriormente para el caso del contenido de fenoles totales.

Por su parte, Mierzwa et al. (2022) estudiaron el proceso de IV asistida por ultrasonido como método para modificar la calidad de arándanos, empleando una SO isotónica de sacarosa con adición del 0,5% de ácido ascórbico y 0,5% de ácido cítrico ( $P= 50$  y 300 mbar,  $t_v= 30$ min,  $t_r= 30$  min). Los investigadores obtuvieron un incremento de la capacidad antioxidante de los arándanos de 53,7% al emplear una  $P= 50$  mbar, cercana a la usada en la presente tesis. Al reemplazar el  $t_v$  del estudio de Mierzwa et al. (2022) en la ecuación 4.10 se obtuvo un incremento de la CA= 121,11 %, lo cual se corresponde con el comportamiento observado en la presente tesis, dado que a medida que incrementa el  $t_v$ , es mayor el aumento de la capacidad antioxidante, en ese sentido, los investigadores atribuyeron dicho incremento a la presencia de ácido ascórbico en la SO. En el caso de la presente tesis se generó incorporación de

antocianinas y ácido ascórbico por lo tanto el aumento de la CA podría atribuirse a estos dos factores.

#### **4.1.3. Optimización de respuestas múltiples y validación de los modelos predictivos en frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío.**

Después del análisis de datos correspondientes al diseño se determinaron las condiciones óptimas del proceso de impregnación por vacío de frutillas frescas cortadas, para ello se empleó la metodología de optimización de respuestas múltiples a través de la función de deseabilidad de Derringer. Las respuestas consideradas para el proceso de optimización fueron:

**SG (%)**= ganancia de sólidos

**$\Delta F_0$  (%)**= Variación porcentual de firmeza día cero

**$\Delta AT_0$  (%)**= Variación porcentual del contenido de antocianinas totales en el día cero

**$\Delta P3G_0$  (%)**= Variación porcentual del contenido de pelargonidin 3-O-glucósido en el día cero

**$\Delta VC_0$  (%)**= Variación porcentual del contenido de vitamina C (ácido ascórbico total) en el día cero

**$\Delta FT_0$  (%)**= Variación porcentual del contenido de fenoles totales en el día cero

**$\Delta CA_0$  (%)**= Variación porcentual de la capacidad antioxidante en el día cero

En el proceso de optimización se buscó obtener las condiciones de proceso ideales para recuperar y/o incrementar el contenido de antocianinas que se pueden haber perdido durante las operaciones de mínimo procesamiento, además de ello es importante mantener la calidad de “fruta fresca” de las frutillas tratadas por IV.

La ganancia de sólidos es importante ya que el proceso de impregnación por vacío tiene como finalidad incorporar diferentes compuestos en la matriz alimentaria porosa, en este caso, los elementos presentes en la solución osmótica, tales como ácido ascórbico, ácido cítrico y antocianinas presentes en

el jugo de la frutilla que podrían actuar como antioxidantes, siendo además el ácido ascórbico un elemento de importancia nutricional. Asimismo, se buscó recuperar y/o incrementar el contenido de antocianinas perdido durante el mínimo procesamiento de la fruta, previo a la aplicación de la IV, por su parte, la firmeza determina el impacto de los tratamientos sobre la integridad del tejido del producto y es un atributo sensorial de gran relevancia para los consumidores, por lo tanto, se busca que los tratamientos generen la menor pérdida de firmeza y el producto final mantenga su calidad de fruta fresca.

Los criterios de optimización se muestran en la Tabla 4.24. Se maximizó la respuesta  $\Delta F_0$  con el objetivo de obtener un producto con características de textura similares a la fruta fresca, en ese sentido la importancia relativa de la firmeza tuvo la máxima calificación, de igual manera, se maximizaron las respuestas  $\Delta AT_0$ ,  $\Delta P3G_0$ ,  $\Delta CFT_0$ ,  $\Delta CA_0$  con la finalidad de obtener frutas impregnadas con el potencial bioactivo mejorado, sin embargo en lo referente al contenido de ácido ascórbico total, el objetivo fue minimizar su incremento dado que el aumento mínimo obtenido en su contenido al aplicar los tratamientos de IV llegó a alcanzar la ingesta diaria recomendada para esta vitamina, correspondiente a 75 mg/día para una mujer adulta y 90 mg/día para un hombre adulto (Monsen, E. R. 2000).

**Tabla 4.24.** Criterios de optimización para la aplicación de la tecnología de impregnación por vacío en frutillas frescas cortadas

Respuesta (%)	Función objetivo	Límite inferior	Límite superior	Peso inferior	Peso superior	ir
SG	Minimizar	-0,49	0,79	1	1	3
$\Delta F$	Maximizar	-21,8	6,87	1	1	5
$\Delta AT$	Maximizar	-5,28	26,34	1	1	3
$\Delta P3G$	Maximizar	-8,41	41,24	1	1	3
$\Delta VC$	Minimizar	50,45	134,47	1	1	3
$\Delta FT$	Maximizar	-7,76	29,00	1	1	3
$\Delta CA$	Maximizar	-1,33	26,93	1	1	3

ir: importancia relativa que varía desde la menor importancia =1 hasta la más importante= 5. Peso= define la forma de la función de deseabilidad para cada respuesta y varía desde 0,1 hasta 10; los pesos mayores corresponden a las respuestas más importantes. Se eligió un factor de peso de 1 para todas las deseabilidades de la presente tesis. SG= ganancia de sólidos,  $\Delta F$ = variación de firmeza,  $\Delta AT$ = variación de antocianinas totales,  $\Delta P3G$ = variación de pelargonidin

3-O- glucósido,  $\Delta VC$ = variación de vitamina C,  $\Delta FT$ = variación de fenoles totales,  $\Delta CA$ = variación de capacidad antioxidante

A través de la función de deseabilidad se estimaron las condiciones óptimas de proceso para alcanzar las metas planteadas: tiempo de vacío= 5,8 min y tiempo de relajación= 14 min, obteniendo un valor de deseabilidad= 0,6.

Se realizó la validación de los modelos bajo las condiciones óptimas de tv y tr obtenidas mediante la optimización de respuestas múltiples, la Tabla 4.25 presenta los valores predichos y experimentales para las respuestas consideradas en la evaluación.

**Tabla 4.25.** Valores predichos y experimentales para frutillas frescas cortadas frescas cortadas impregnadas bajo condiciones óptimas (tv=5,58 min, tr= 14 min)

<b>Respuesta (%)</b>	<b>Valor Predicho (%)</b>	<b>Intervalo de confianza (%)</b>	<b>Valor Experimental (%)</b>
SG	-0,4	(-0,51/-0,27)	-0,4
$\Delta F_0$	-7,7	(-15,97/0,63)	-20,9
$\Delta AT_0$	14,4	(6,76/22,07)	12,35
$\Delta P3G_0$	13,7	(-1,70/29,06)	15,8
$\Delta VC_0$	76,1	(61,07/91,08)	108,39
$\Delta FT_0$	4,8	(-4,78/14,57)	4,5
$\Delta CA_0$	12,1	(7,93/16,26)	19,2

SG= ganancia de sólidos,  $\Delta F$ = variación de firmeza,  $\Delta AT$ = variación de antocianinas totales,  $\Delta P3G$ = variación de pelargonidin 3-O- glucósido,  $\Delta VC$  variación de vitamina C,  $\Delta FT$ = variación de fenoles totales,  $\Delta CA$ = variación de capacidad antioxidante

Los valores experimentales obtenidos para SG,  $\Delta F$ ,  $\Delta P3G$ ,  $\Delta VC$ ,  $\Delta FT$  y  $\Delta CA$  bajo las condiciones óptimas (tv= 5,58 min; tr= 14 min) en la validación de los modelos se encuentran dentro de los intervalos de confianza, por lo tanto, se aceptan los modelos obtenidos.

La Tabla 4.26 muestra los resultados correspondientes a todas las respuestas que fueron evaluadas bajo las condiciones óptimas de proceso.

**Tabla 4.26.** Valores promedios experimentales de las frutillas frescas cortadas bajo IV en las condiciones de tv y tr que optimizan el proceso.

Respuesta	Día cero	Día siete
SG	-0,4	Nd
WL	-1,0	Nd
WR	-0,79	Nd
$\Delta$ SS	0,4	66,0
$\Delta$ pH	-3,8	-5,7
$\Delta$ F	-20,97	-21,6
$\Delta$ L*	-1,8	97,9
$\Delta$ a*	8,1	-101,5
$\Delta$ b*	-7,2	-1,4
$\Delta$ C* <sub>ab</sub>	2,7	-47,7
$\Delta$ h <sub>ab</sub>	-14,0	188,9
$\Delta$ E*	4,6	46,9
$\Delta$ AT	12,3	-0,1
$\Delta$ P3G	15,8	-5,8
$\Delta$ C3G	147,9	4,2
$\Delta$ P3R	8,2	-5,2
$\Delta$ VC	108,3	62,5
$\Delta$ FT	4,5	69,4
$\Delta$ CA	19,2	4,2

WL= pérdida de agua; WR= reducción de peso;  $\Delta$ SS= variación de sólidos solubles (%);  $\Delta$ pH= variación del pH (%);  $\Delta$ F= variación de firmeza(%);  $\Delta$ L\*, $\Delta$ a\*, $\Delta$ b\*,  $\Delta$ C\*<sub>ab</sub>,  $\Delta$ h<sub>ab</sub> = variación de los parámetros de color (%);  $\Delta$ E\*= diferencia total de color,  $\Delta$ AT= variación del contenido de las antocianinas totales (%);  $\Delta$ P3G= pelargonidin 3-O- glucósido (%);  $\Delta$ C3G= cianidin 3-O-glucósido (%);  $\Delta$ P3R= pelargonidin 3-O-rutinósido (%);  $\Delta$ VC= variación de vitamina C (%);  $\Delta$ FT= variación de fenoles totales (%);  $\Delta$ CA= variación de la capacidad antioxidante (%); nd= no determinado.

Respecto a los resultados que no se consideraron para la optimización de respuestas múltiples se observa que el valor experimental obtenido para  $\Delta$ SS<sub>7</sub> (Tabla 4.26), no se encuentra dentro del rango los resultados obtenidos a aplicar los diferentes tratamientos de impregnación por vacío (Tabla 4.3) se obtuvo un gran incremento en los SS respecto a la fruta fresca sin tratar. Respecto a  $\Delta$ pH<sub>7</sub> se obtuvo una mayor disminución en el valor de pH respecto al rango de valores obtenido en el diseño experimental (Tabla 4.5). En cuanto a la luminosidad en el día cero y día siete ( $\Delta$ L\*<sub>0</sub> y  $\Delta$ L\*<sub>7</sub>), obtenida bajo las condiciones óptimas, se obtuvo una mínima disminución de L\* en el día cero lo cual difiere de los

resultados experimentales obtenidos ya que se generaron incrementos de  $L^*$ , después del almacenamiento  $L^*$  en condiciones óptimas tuvo un incremento de 8,5 veces más que el valor máximo obtenido en el diseño experimental (Tabla 4.8). Respecto al contenido de fenoles totales después del almacenamiento ( $\Delta FT_7$ ) bajo las condiciones óptimas de proceso, se produjo un mayor incremento de este parámetro respecto a los resultados experimentales obtenidos a los diferentes  $t_v$  y  $t_r$  del diseño experimental (Tabla 4.20).

#### **4.1.4. Calidad microbiológica de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío bajo condiciones óptimas de procesamiento**

En lo referente a los recuentos microbiológicos realizados se obtuvieron como resultados para las frutillas frescas cortadas sin aplicación del tratamiento de impregnación por vacío: 2,8 Log UFC  $g^{-1}$  para aerobios mesófilos totales (AMT), 2,9 Log UFC  $g^{-1}$  para psicrótrofos totales (PT) y 2,8 Log UFC  $g^{-1}$  para mohos y levaduras (MyL). Dichos recuentos se encuentran por debajo de aquellos obtenidos por Mendez-Galarraga (2020) para frutillas frescas de la variedad *Festival*. Los resultados para las frutillas impregnadas por vacío en el día cero resultaron estadísticamente iguales a la fruta fresca en todos los parámetros microbiológicos evaluados, obteniéndose recuentos de: 3,0; 3,3 y 3,2 Log UFC  $g^{-1}$  para AMT, PT y MyL.

En cuanto a los resultados obtenidos después del tiempo de almacenamiento, en comparación con la fruta fresca sin tratar, se obtuvo diferencia significativa únicamente para PT, produciéndose un incremento en el recuento (3,5 Log UFC  $g^{-1}$ ), en cuanto a AMT y MyL. no se obtuvieron diferencias, los valores obtenidos fueron: 4,6 y 3,6 Log UFC  $g^{-1}$  para AMT y MyL respectivamente. Estos resultados están de acuerdo con aquellos obtenidos por Abadias et al. (2007) en ensaladas de frutas expandidas en establecimientos minoristas, encontraron resultados para AMT en un rango entre 2 - 7,1 Log UFC

$g^{-1}$ ;  $PT= 1,7-7,1 \text{ Log UFC } g^{-1}$  y  $MyL= 1,7-4,9 \text{ Log UFC } g^{-1}$ . Por su parte se puede decir que todos los recuentos obtenidos para el día cero, así como después del almacenamiento, se encuentran dentro del criterio microbiológico para productos frescos cortados ( $< 6 \text{ Log UFC } g^{-1}$ ) reportados por Pirovani et al. (2006).

#### **4.1.5. Calidad sensorial de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío bajo las condiciones óptimas de procesamiento**

Los resultados del ANOVA para el análisis sensorial descriptivo cuantitativo de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^{\circ}\text{C}$  bajo condiciones de tiempo de vacío y tiempo de relajación óptimas, se presentan en la Tabla 4.27.

**Tabla 4.27.** Resultados promedio del análisis sensorial descriptivo para frutillas frescas sin tratar y frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución de los tratamientos y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^{\circ}\text{C}$

Término descriptor	Muestras		
	FF	FT <sub>0</sub>	FT <sub>7</sub>
Olor típico	4,2±4,23 <sup>a</sup>	6,8±1,83 <sup>a</sup>	4,3±1,68 <sup>a</sup>
Olor extraño	1,2±1,78 <sup>ab</sup>	0,5±0,55 <sup>a</sup>	3,8±3,08 <sup>b</sup>
Apariencia	7,4±0,69 <sup>b</sup>	7,3±1,51 <sup>b</sup>	5,1±1,57 <sup>a</sup>
Humedad	4,6±2,30 <sup>a</sup>	3,7±2,87 <sup>a</sup>	3,5±2,37 <sup>a</sup>
Color típico	7,2±1,17 <sup>a</sup>	6,8±1,39 <sup>a</sup>	5,8±1,45 <sup>a</sup>
Textura	7,3±0,84 <sup>a</sup>	6,87±1,54 <sup>a</sup>	5,8±1,53 <sup>a</sup>
Dulzor	3,9±2,50 <sup>a</sup>	3,3±1,54 <sup>a</sup>	3,1±1,53 <sup>a</sup>
Gusto ácido	5,6±1,38 <sup>a</sup>	6,1±1,93 <sup>a</sup>	5,0±1,62 <sup>a</sup>
Sabor típico	6,0±1,14 <sup>b</sup>	6,5±0,75 <sup>b</sup>	2,0±0,77 <sup>a</sup>
Sabor extraño	0,9±1,82 <sup>a</sup>	0,4±0,43 <sup>a</sup>	7,4±1,43 <sup>b</sup>

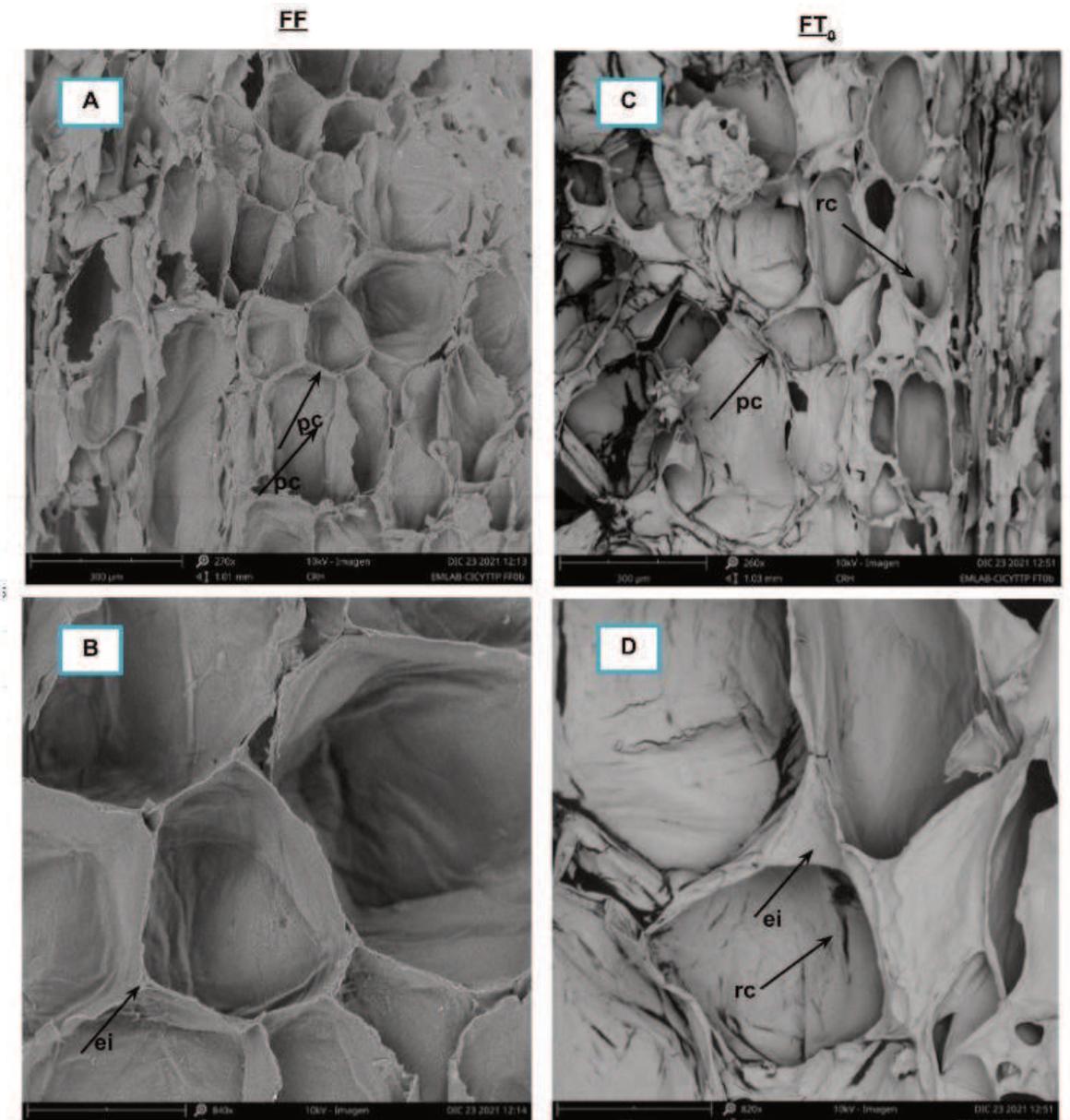
Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre muestras determinadas por el test de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). FF= frutillas frescas cortadas, FT<sub>0</sub>= frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día cero, FT<sub>7</sub>= frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío después del almacenamiento por 7 días a  $1,5^{\circ}\text{C}$ .

Se obtuvieron diferencias significativas para el descriptor olor extraño entre FT<sub>7</sub>, respecto a FT<sub>0</sub> el valor incrementó, lo cual indica que el olor extraño después

del almacenamiento en las frutillas impregnadas es más “intenso”. El valor promedio para apariencia general en la FT<sub>7</sub> es menor respecto FF y FT<sub>0</sub>, es decir que tiende a empeorar “mala”. Asimismo, se encontraron diferencias significativas para el descriptor sabor típico, siendo la FT<sub>7</sub> diferente a FF y FT<sub>0</sub>, el sabor típico a frutilla disminuyó es decir que es “ligeramente perceptible”, mientras que el sabor extraño se hace presente en la FT<sub>7</sub> respecto a la FF y FT<sub>0</sub> es más “intenso” en esa muestra.

#### **4.1.6. Análisis de imágenes del tejido vegetal**

La Figura 4.22 muestra las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido para frutillas frescas cortadas y frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución del tratamiento de impregnación, bajo diferentes magnificaciones.



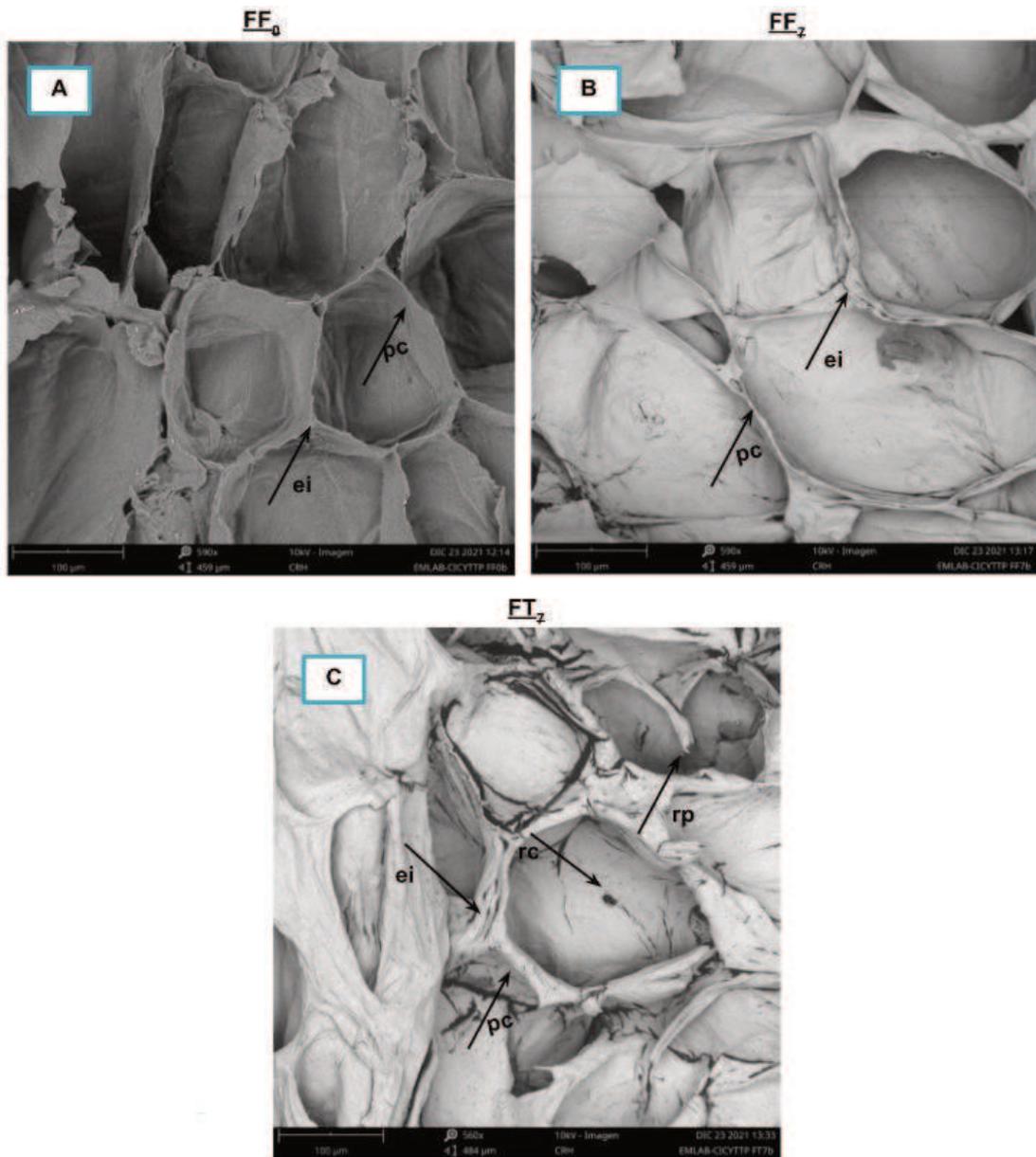
**Figura 4.22.** Micrografías electrónicas de barrido de la superficie de frutillas. **A)** frutilla fresca cortada (Magnificación: 270x; voltaje: 10kV). **B)** frutilla fresca cortada impregnada por vacío en el día de ejecución del tratamiento (Magnificación: 260x; voltaje: 10kV). **C)** frutilla fresca cortada (Magnificación: 840x; voltaje: 10kV) **D)** frutilla fresca cortada impregnada por vacío en el día de ejecución del tratamiento (Magnificación: 820x; voltaje: 10kV). **FF=** fruta fresca cortada, **FT<sub>0</sub>=** fruta impregnada por vacío en el día cero, **pc=** pared celular, **ei=** espacio intercelular, **rc=** ruptura celular

En general, las micrografías obtenidas nos permiten observar estructuras celulares, tales como como la pared celular y el espacio intercelular, presentes en el tejido parenquimatoso de las frutillas. En las frutillas frescas se observa

cierto grado de compartimentación celular y pequeños espacios intracelulares (B), se pueden observar varias células, estrechamente unidas entre sí (A y B), por su parte, en las frutas tratadas por impregnación por vacío (C y D) se observa cierta pérdida de la compartimentación celular y paredes celulares deformadas, de igual manera al observar las muestras con una mayor magnificación, se pueden reconocer los espacios intercelulares, siendo más amplios aquellos correspondientes a la fruta tratada (D) con respecto a la fruta fresca. De la misma manera se pueden observar ciertas áreas que presentan ruptura celular en las muestras impregnadas por vacío (C y D). La pared celular protege el contenido celular, cuando la pared es firme, la forma original y textura de la célula se mantienen, sin embargo, cuando la pared se destruye, se puede generar derrame de su contenido en el ambiente que la rodea (Jaclavik, 2010), en ese sentido, la tecnología de impregnación por vacío genera un intercambio aire-líquido durante las operaciones de vacío, la pérdida de turgencia puede deberse a la plasmólisis o la ruptura del tonoplasto y plasmalema de las células vegetales (Alzamora et al., 1997), soluciones osmóticas distintas a las hipertónicas pueden generar ganancia de agua, por lo tanto hinchazón de las células y aumento de la turgencia que, promueve ruptura de la célula o deformación de la pared celular, lo cual altera a su vez a las propiedades mecánicas de la matriz alimentaria. Los resultados que se observan en las microscopías nos muestran diferencias entre la fruta fresca y la fruta tratada en el día cero (Figura 4.23), evidentemente existe deterioro de la microestructura del tejido en la fruta impregnada por vacío dada por la alteración de la pared celular y generación de espacios intercelulares más grandes, dichos resultados concuerdan con aquellos obtenidos para la firmeza, en donde se obtuvo una reducción aproximada del 20% (Tabla 4.24), a su vez se obtuvo ganancia de agua ( $\approx 1\%$ ) (Tabla 4,25), en frutillas impregnadas bajo las condiciones óptimas ( $t_v = 5,58$  min:  $t_r = 14$  min).

La Figura 4.23 muestra las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido para muestras de frutillas frescas cortadas sin tratamiento

en el día cero, así como frutillas sin tratar y frutillas impregnadas por vacío después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C



**Figura 4.23.** Micrografías electrónicas de barrido de la superficie de frutillas en el día 7.: **A)** frutilla fresca cortada del día cero (Magnificación: 590x; voltaje: 10kV). **B)** frutilla fresca cortada del día siete (Magnificación: 590x; voltaje: 10kV). **C)** frutilla fresca cortada impregnada por vacío en el día siete (Magnificación: 560x; voltaje: 10kV). **FF<sub>0</sub>**= fruta fresca cortada, **FF<sub>7</sub>**= fruta fresca cortada en el día siete, **FT<sub>7</sub>**= fruta impregnada por vacío en el día siete, **pc**= pared celular, **ei**= espacio intercelular, **rc**= ruptura celular, **rp**= ruptura de pared celular

En la Figura 4.23 se observan diferencias en la microestructura de las distintas muestras evaluadas, en primer lugar, se puede evidenciar que la fruta fresca después del tiempo de almacenamiento sufrió modificación de los espacios intercelulares (B) ya que estos son más grandes que los observados en la FF<sub>0</sub> (A), también se puede ver cierta modificación en la forma de las células. Por su parte, la fruta tratada en el día 7 (C) muestra mayores diferencias respecto a la FF<sub>0</sub> y FT (B y C), se dificulta definir los espacios intercelulares de FT<sub>7</sub>, existe un colapso celular, una clara ruptura de la pared celular, así como de otras partes de célula. Es evidente que después del tiempo de almacenamiento, las frutas mostraron cambios respecto a la fruta fresca sin tratar en el día cero, dichos cambios representan alteraciones en su micro estructura, lo cual se traduce en la pérdida de firmeza, en ese sentido se obtuvo una disminución de la firmeza para FF<sub>7</sub>= 15 % (dato no mostrado en la presente tesis) y FT<sub>7</sub>=21,56% (Tabla 4.25) bajo las condiciones óptimas de tv y tr. Respecto a ello, Huber et al. (2001) encontraron una disminución significativa y rápida de la firmeza en papaya fresca cortada, respecto a fruta fresca intacta almacenada bajo las mismas condiciones. Esto se debe a que la degradación de la textura en el tejido de los mínimamente procesados puede ocurrir como una respuesta al daño inducido, aumenta la producción de enzimas que se dirigen a las paredes celulares y membranas, como respuesta a la lesión. La permeabilidad de las membranas celulares y por consiguiente la textura, se modifica por procesos como la maduración, almacenamiento, cocción y congelado (Jaclavik, 2010).

## 4.2. IMPREGNACIÓN POR VACÍO EN MANZANAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS

### ***Parámetros de transferencia de masa***

La Tabla 4.28. presenta los resultados experimentales obtenidos para los parámetros de transferencia de masa ganancia de sólidos (SG, %), pérdida de agua (WL, %) y reducción de peso (WR, %) en el día de aplicación de los tratamientos de impregnación por vacío.

La Tabla 4.29 muestra el resumen de ANOVA de los modelos propuestos para los parámetros de transferencia de masa de manzanas frescas cortadas sometidas a impregnación por vacío.

Los modelos propuestos para SG, WL y WR resultaron adecuados sin falta de ajuste ( $p \geq 0,05$ ) explicando el 77,8%; 90,15% y 91,30% de la variabilidad de los datos para SG, WL y WR respectivamente.

**Tabla 4.28.** Ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) después del tratamiento de IV en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar

<b>Tratamiento</b>	<b>tv (min)</b>	<b>tr (min)</b>	<b>SG (%)</b>	<b>WL (%)</b>	<b>WR (%)</b>
T1	14	7,5	2,54	3,60	1,05
T2	7,5	7,5	2,00	1,48	-0,52
T3	7,5	7,5	2,56	1,68	-0,88
T4	7,5	14	3,46	2,37	-1,09
T5	3	3	2,19	0,19	-2,00
T6	3	12	2,88	1,82	-1,06
T7	1,14	7,5	1,52	0,18	-1,34
T8	7,5	1,14	1,89	1,43	-0,47
T9	12	3	2,07	2,31	0,23
T10	12	12	2,77	2,15	-0,62
T11	7,5	7,5	2,45	1,91	-0,54

**Tabla 4.29.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y reducción de peso (WR) en el día 0.

Fuente	GL	Suma de Cuadrados		
		SG (%)	WL (%)	WR (%)
A: tv (min)	1	0,18	6,56**	4,53**
B: tr (min)	1	1,65*	0,94*	0,09
AA	1	0,07	0,00	0,12
AB	1	0,00	0,80	0,80*
BB	1	0,22	0,01	0,14
Falta de ajuste	3	0,46	0,83	0,47
Error puro	2	0,17	0,09	0,08
R <sup>2</sup>		77,78	90,15	91,30

GL: grados de libertad; \*\*: significativo a (p<0,01);\*: significativo a (p<0,05)

En el diagrama de Pareto correspondiente al modelo SG (Figura 4.24), se puede observar que el efecto del tiempo de relajación es positivo lo que indica que a medida que incrementa tr aumenta SG.

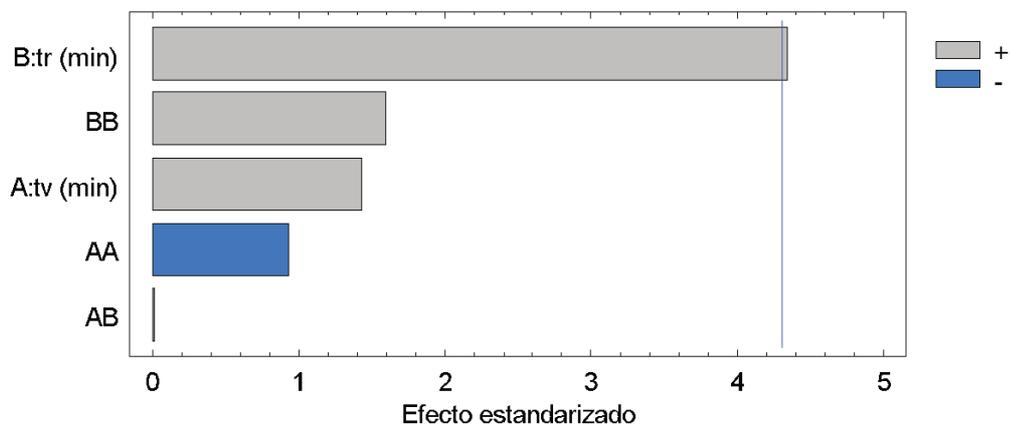
El modelo reducido se muestra en la Ecuación (4.22):

$$SG (\%) = 1,64 + 0,1tr \tag{4.22}$$

Donde:

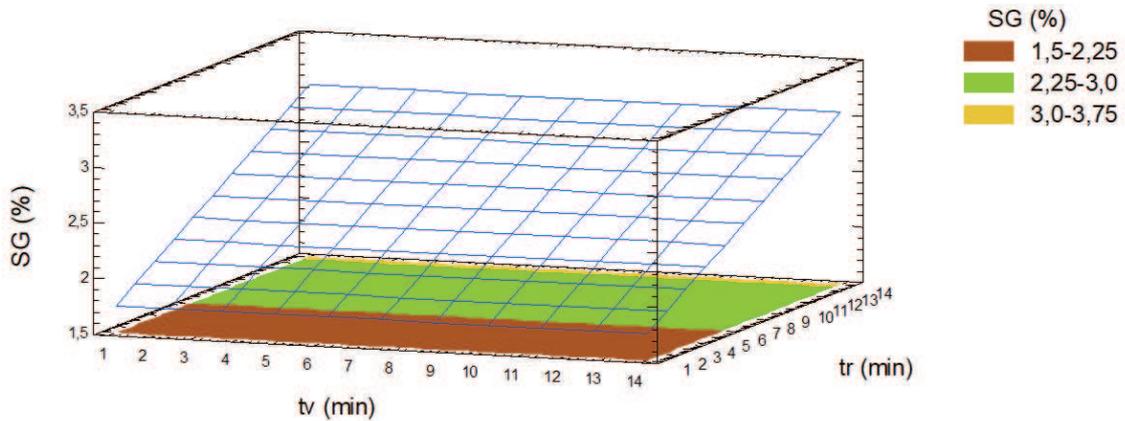
SG= ganancia de sólidos

tr= tiempo de relajación (min)



**Figura 4.24.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo SG en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre manzanas frescas cortadas

La Figura 4.25, muestra la gráfica de superficie de respuesta para SG, se puede observar que a medida que aumenta el tiempo de relajación, se incrementa la SG, tiempos de relajación entre 1 y 4 generan menor aumento (hasta 2,25%),  $tr > 13$  min pueden generar ganancias de aproximadamente 3,75%.



**Figura 4.25.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo ganancia de sólidos (SG) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 0.

Cortez-Latorre et al. (2021) estudiaron la impregnación por vacío para mejorar los atributos de calidad y el potencial saludable de manzanas frescas cortadas, empleando una SO de sacarosa (30°Brix) con una presión de vacío de 67,7 mbar,  $tv = 1,14$  a 14 min,  $tr = 1,14$  a 14 min. Ellos encontraron que el  $tv$  y  $tr$  tuvieron influencia sobre el incremento en la SG, al igual que lo que ocurre en la presente tesis, a medida que ellos aumentaron el  $tr$ , mayor fue la SG.

Por su parte Paes et al. (2007) estudiaron el efecto del tiempo de vacío y relajación así como la concentración de la solución osmótica sobre manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío ( $P = 40$  mbar,  $tv = 0-40$  min,  $tr = 0-40$  min), los autores encontraron que al trabajar con SO hipertónica, se produjo la mayor ganancia de sólidos (22%) y al emplear un  $tr = 15$  min, indicando que ese tiempo fue suficiente para permitir una fuerte impregnación después de la desgasificación producida por el tiempo de vacío. Estos resultados son comparables con la presente tesis en donde, un  $tr = 14$  min (tiempo máximo en el rango experimental ensayado), puede producir la mayor SG.

Por otra parte, el diagrama de Pareto del modelo WL (Figura 4.26), muestra que WL fue afectada por el término lineal del tiempo de vacío ( $t_v$ ) y el término lineal del tiempo de relajación ( $t_r$ ), el efecto en los dos casos es positivo, lo que indica que a medida que incrementa  $t_v$  o  $t_r$ , aumenta WL.

El modelo reducido se muestra en la Ecuación (4.23):

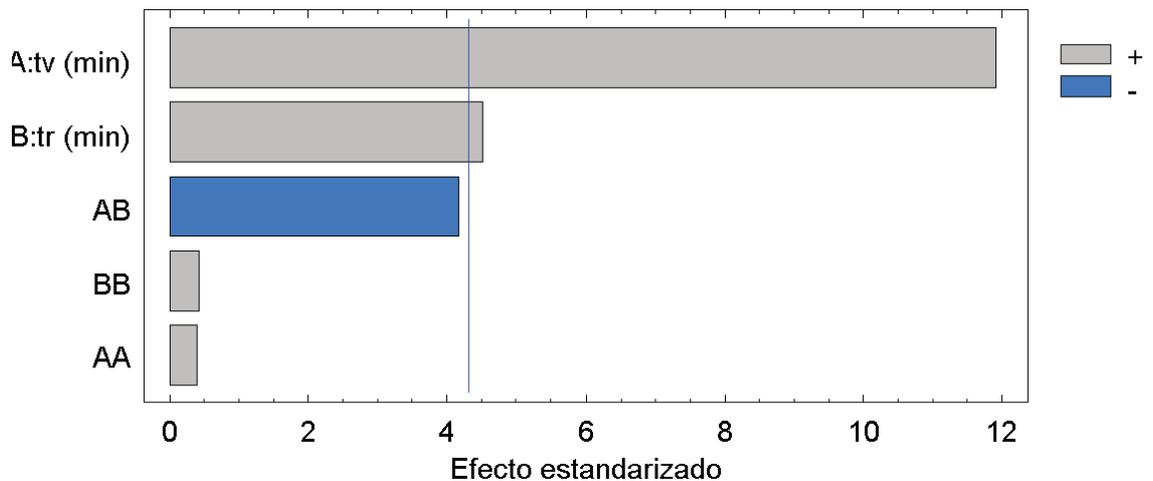
$$WL (\%) = -0,36 + 0,207t_v + 0,07t_r \quad (4.23)$$

Donde:

WL= pérdida de agua

$t_v$ = tiempo de vacío (min)

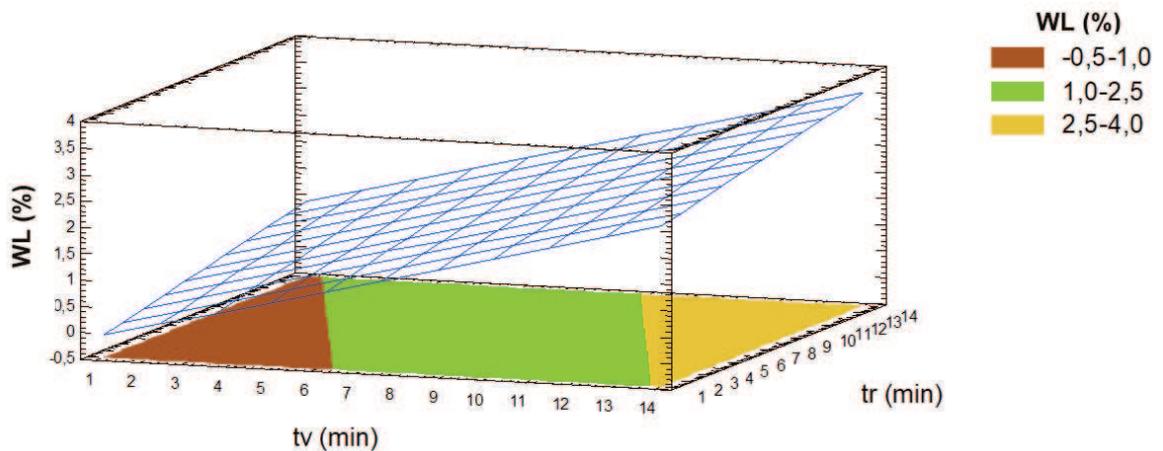
$t_r$ = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.26.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo WL en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre manzanas frescas cortadas

La Figura 4.27, muestra la gráfica de superficie de respuesta de WL, en función del tiempo de vacío y el tiempo de relajación, a medida que incrementa el tiempo de vacío y el tiempo de relajación, existe aumento de WL, tiempos de vacío y de relajación cercanos a 1 min pueden producir una mínima ganancia de

agua (signo negativo) de hasta aproximadamente el 0,5%, mientras que la mayor pérdida de agua se produce con  $t_v$  superiores a 12 min y  $t_r$  cercano a 14 min, pudiendo alcanzar una WL de 4%.



**Figura 4.27.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo pérdida de agua (WL) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 0.

Gonzalez-Pérez et al. (2022) estudiaron el efecto del tiempo y la presión en la aplicación del proceso de IV en manzanas con una SO de jugo de uva concentrado. Emplearon soluciones hipertónicas de 40, 50 y 60°Brix, con  $P=130, 6$  mbar, 397,3 mbar y 664 mbar,  $t_v= 10, 20$  y 30 min,  $t_r= 5$  min. Los investigadores encontraron que la WL fue influenciada por las variables del proceso, dentro de ellas el tiempo de tratamiento; siendo que WL incrementaba al aumentar el  $t_v$ , los autores indicaron que tiempos cortos (10 min) podrían afectar la estructura celular y bloquear la salida de agua.

Por otro lado Paes et al. (2007) estudiaron la IV de manzana frescas cortadas ( $P= 40$  mbar,  $t_v= 0-40$  min,  $t_r= 0-40$  min), con una SO de sacarosa a 50°Brix y encontraron la mayor pérdida de agua con una combinación de un  $t_v= 40$  min y  $t_r= 0$  min; en ese caso ellos indicaron que este  $t_v$  fue suficiente para desgasificar la muestra y para que una gran cantidad de líquido nativo sea expulsada por el gas en expansión, la cantidad de agua perdida en el periodo de vacío fue la alta y la cantidad de solución de sacarosa impregnada fue baja; esto

se corresponde con los resultados obtenidos en la presente tesis, en donde el  $t_v$  tuvo mayor influencia sobre WL, tal como el estudio, un  $t_v$  mayor, genera más pérdida de agua. Por otra parte, los investigadores encontraron ganancia de agua al emplear un  $t_v = 25$  min y  $t_r = 15$  min, en ese sentido, indicaron que el  $t_v$  permitió una buena desgasificación y el tiempo de relajación fue suficiente para permitir una impregnación importante.

La Figura 4.28 muestra el diagrama de Pareto del modelo WR, se puede observar que WR fue afectada por el término lineal tiempo de vacío ( $t_v$ ), cuyo efecto es positivo, lo que indica que a medida que incrementa  $t_v$  aumenta WR, de la misma manera WR es afectado por la interacción  $t_v t_r$  de manera negativa, esto quiere decir que una combinación de  $t_v$  y  $t_r$  bajos podría generar un aumento de peso (Figura 4.28).

El modelo reducido se muestra en la Ecuación (4.24):

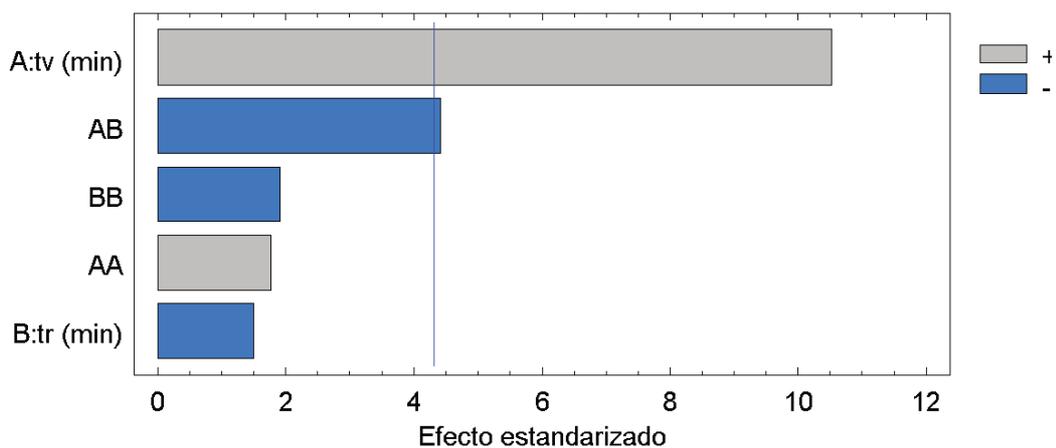
$$WR (\%) = -2,99 + 0,33t_v + 0,14t_r - 0,02t_v t_r \quad (4.24)$$

Donde:

WR= reducción de peso (%)

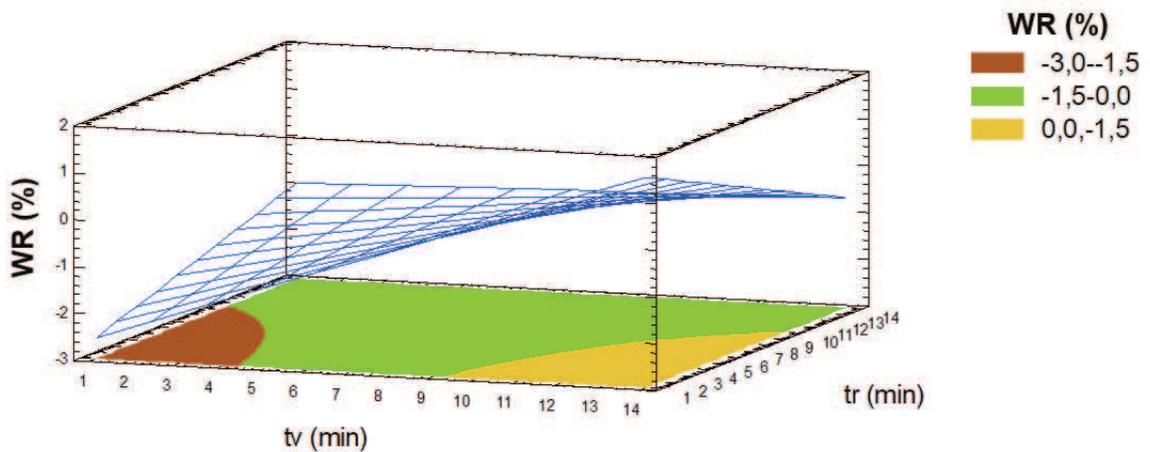
$t_v$ = tiempo de vacío (min)

$t_r$ = tiempo de relajación (min)



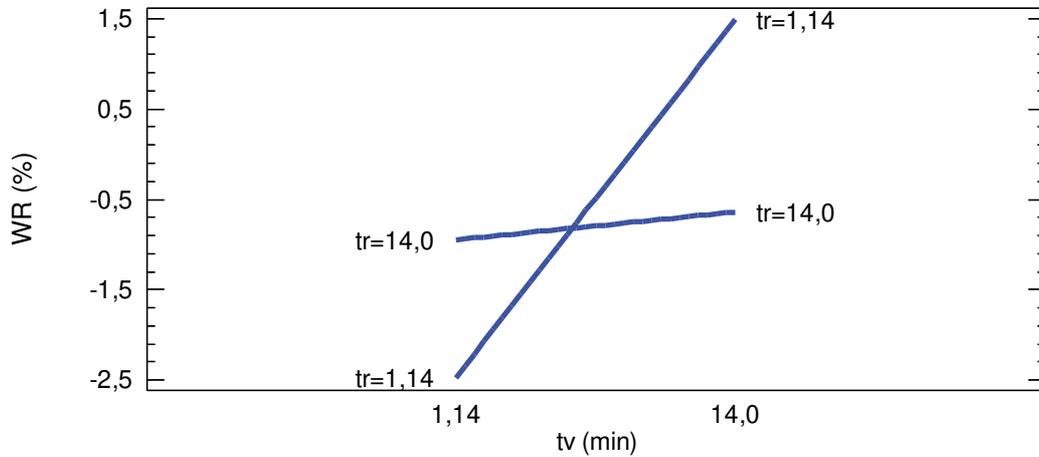
**Figura 4.28.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo WR en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre manzanas frescas cortadas

La Figura 4.29, muestra la gráfica de superficie de respuesta del modelo WR, una combinación de tv entre 1 a ≈4,5 min con  $tr \leq 7$  min genera incremento de peso (signo negativo) que puede alcanzar el 3%. Por el contrario, combinaciones de tv 10 min con  $tr < 9$  min, no producen cambios o a su vez podría generar reducción de peso hasta un 1,5%.



**Figura 4.29.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo reducción de peso (WR) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar el día 0

La Figura 4.30 muestra la gráfica de interacción para WR, se observa que un tv alto combinado con un tr bajo producen reducción de peso, mientras que, si se combina con un tv bajo, existe ganancia de peso aunque es mínima, por su parte un tiempo de vacío bajo combinado con un tiempo de relajación alto o tr bajo, produce aumento de peso, en este último caso la ganancia es mayor.



**Figura 4.30.** Gráfica de interacción para la reducción de peso (WR) de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución del tratamiento

Paes et al. (2007) aplicaron el proceso de impregnación por vacío en manzanas frescas cortadas ( $P= 40$  mbar,  $tv= 0-40$  min,  $tr= 0-40$  min), con una SO de sacarosa a  $50^\circ$ Brix y encontraron el mayor incremento de peso ( $\approx 24\%$ ) con una combinación de un  $tv= 25$  min y  $tr= 15$  min. Al reemplazar los valores de  $tv$  y  $tr$  de Paes en la ecuación 4.24 correspondiente al modelo WR de la presente tesis, se obtuvo una ganancia de peso de  $0,14\%$ , lo cual se corresponde con los valores obtenidos, como se indicó en el punto anterior, un  $tv$  y  $tr$  altos producen mínimo aumento de peso, sin embargo la ganancia mayor en el estudio de Paes puede ser consecuencia de la concentración de la SO que es superior, en ese aspecto, Mujica-Paz et al., (2003) reportaron que el incremento en la concentración de la SO favorece la ganancia de peso en manzana frescas cortadas *var.* Golden Delicious, impregnadas por vacío, indicaron que además esta situación se debe a alta porosidad de esta fruta, lo que facilita la impregnación con SO hipertónicas.

**Sólidos Solubles**

El contenido de sólidos solubles de manzanas frescas cortadas *var.* Granny Smith fue de  $13,0 \pm 0,41^\circ\text{Brix}$ .

La Tabla 4.30. muestra los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual de los sólidos solubles en el día cero ( $\Delta\text{SS}_0$ ) y luego de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$  ( $\Delta\text{SS}_7$ ), en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para evaluar los cambios los sólidos solubles de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío se presentan en la Tabla 4.31.

Los modelos muestran cambios significativos en los sólidos solubles en el día cero ( $\Delta\text{SS}_0$ ) en función de las variables del proceso. El modelo  $\Delta\text{SS}_0$  explica el 93,90% la variabilidad de los datos sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0.05$ ). Asimismo, se encontraron cambios significativos para los SS después del tiempo de almacenamiento ( $\Delta\text{SS}_7$ ), el modelo explica el 92,99% de la variabilidad de los datos, sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0.05$ ).

**Tabla 4.30.** Variación relativa de sólidos solubles ( $\Delta\text{SS}_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$ , para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar

<b>Tratamiento</b>	<b>tv (min)</b>	<b>tr (min)</b>	<b><math>\Delta\text{SS}_0</math> (%)</b>	<b><math>\Delta\text{SS}_7</math> (%)</b>
T1	14	7,5	26,49	22,6
T2	7,5	7,5	18,69	21,72
T3	7,5	7,5	22,11	24,74
T4	7,5	14	25,96	28,02
T5	3	3	15,15	19,95
T6	3	12	20,76	19,24
T7	1,14	7,5	13,92	16,46
T8	7,5	1,14	15,04	15,79
T9	12	3	18,97	12,07
T10	12	12	27,23	28,01
T11	7,5	7,5	19,44	21,21

**Tabla 4.31.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de sólidos solubles en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta SS_0$ (%)	$\Delta SS_7$ (%)
A: tv (min)	1	99,32*	12,34
B: tr (min)	1	108,20*	136,05*
AA	1	0,07	16,44
AB	1	1,75	69,30*
BB	1	0,34	1,76
Falta de ajuste	3	7,06	10,03
Error puro	2	6,46	7,28
R <sup>2</sup>		93,90	92,99

GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

El modelo  $\Delta SS_0$  fue afectado por el término lineal tiempo de relajación (tr) y el término lineal tiempo de vacío (tv) ( $p \leq 0,05$ ). El diagrama de Pareto (Figura 4.31), muestra que el efecto de tr y tv son positivos, es decir que a medida que estos aumentan, los  $SS_0$  se incrementan. El modelo reducido  $\Delta SS_0$  se muestra en la Ecuación 4.25:

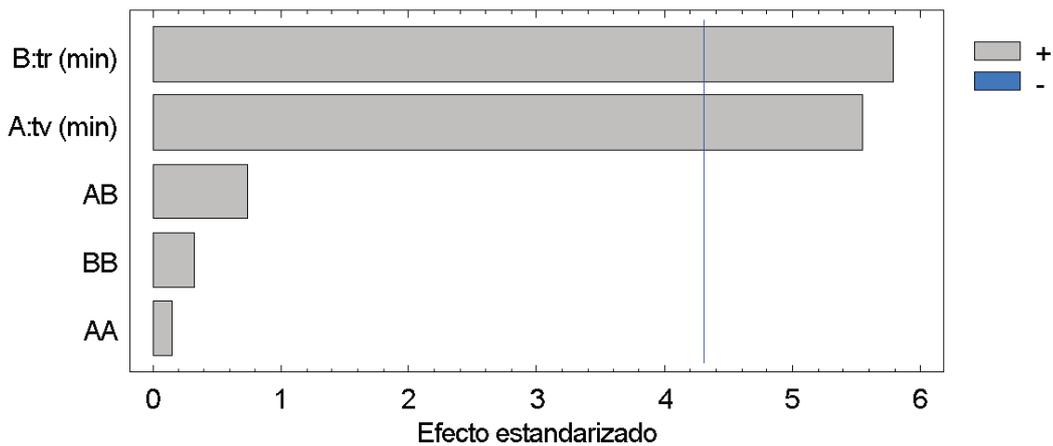
$$\Delta SS_0 (\%) = 8,42 + 0,77t_v + 0,81t_r \tag{4.25}$$

Donde:

$\Delta SS_0$ = variación de sólidos solubles en el día cero

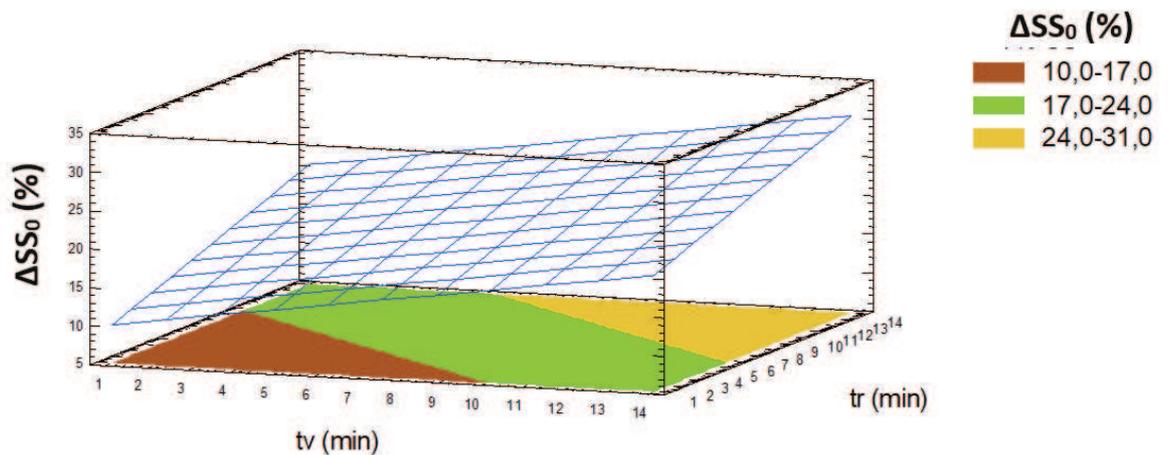
$t_v$ = tiempo de vacío (min)

$t_r$ = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.31.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo para  $\Delta SS_0$  en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío sobre manzanas frescas cortadas

En la Figura 4.32. se observa la gráfica de superficie de respuesta para el modelo  $\Delta SS_0$  en función del tiempo de vacío y el tiempo de relajación. A medida que se incrementa el tiempo de vacío existe mayor ganancia de sólidos solubles, la misma situación ocurre cuando aumenta el tiempo de relajación. Los mayores incrementos de los SS se generan con  $tv > 9$  min y  $tr$  entre 5 a 14 min; pudiendo alcanzar un aumento máximo aproximado de 31%.



**Figura 4.32.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta SS_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero

Cortez- Latorre et al. (2021) estudiaron la aplicación de IV en manzanas frescas cortadas ( $P= 67,6$  mbar,  $tv= 1,14-14$  min,  $tr= 1,14-14$ min) empleando una solución osmótica de sacarosa a  $30^{\circ}$ Brix, y encontraron que un  $tv > 12$  min generó los mayores incrementos del contenido de sólidos solubles (18-21%), en el día de aplicación del tratamiento; este comportamiento concuerda con el observado en la presente tesis en donde se incrementan los SS al aumentar el tv. Por su parte, Faicán et al. (2022) impregnaron manzanas frescas cortadas *var.* Granny Smith con una SO de miel a  $30^{\circ}$ Brix ( $P= 67,7$  mbar,  $tv= 14$ ,  $tr=7,5$  min) y encontraron un aumento en el contenido de SS= 25%, similar al obtenido en la presente tesis al emplear los mismos tv y tr (24,5%).

Por su parte Gonzalez-Pérez et al. (2022) estudiaron la impregnación al vacío en cubos de manzana *var.* Granny Smith, empleando jugo de uva concentrado, estudiaron el efecto de la presión, tiempo de procesamiento y concentración de jugo. Para ello usaron un  $tv= 10, 20$  y  $30$  min,  $tr= 5$ min,  $SO=40, 50$  y  $60^{\circ}$ Brix,  $P= 130,66; 397,3$  y  $664$  mbar. Los investigadores encontraron que a medida que incrementaba el tv, aumentó el contenido de SS.

De la misma manera Paes et al. (2007) encontraron incremento en el contenido de sólidos solubles al emplear diferentes tiempos de vacío y relajación en el proceso de IV de manzanas frescas cortadas a 40 mbar, con SO sacarosa a  $50^{\circ}$ Brix, y encontraron que un tiempo de relajación de 30 min, combinado con un tv de 10 min, generó mayor incremento en el contenido de SS ( $\approx 30^{\circ}$ Brix). Al reemplazar los tiempos de vacío y relajación empleados por Paes et al. (2007) en la ecuación 4.25, correspondiente al modelo  $\Delta SS_0$  de la presente tesis, se obtuvo un incremento de los SS= 40,42%, este alto incremento es esperable debido a los valores altos de tv y tr utilizados.

La Figura 4.33 muestra el diagrama de Pareto del modelo  $\Delta SS_7$ , se observa que  $\Delta SS_7$  fue afectado por el término lineal tr ( $p \leq 0,05$ ), cuyo efecto es positivo, es decir que a medida que incrementa el tr, aumentan los SS; de la

misma manera,  $\Delta SS_7$  fue afectada por la interacción  $tv \times tr$  ( $p \leq 0,05$ ) de manera positiva, cuando  $t_v$  y  $t_r$  aumentan, los SS se incrementan.

El modelo reducido  $\Delta SS_7$  se muestra en la Ecuación 4.26:

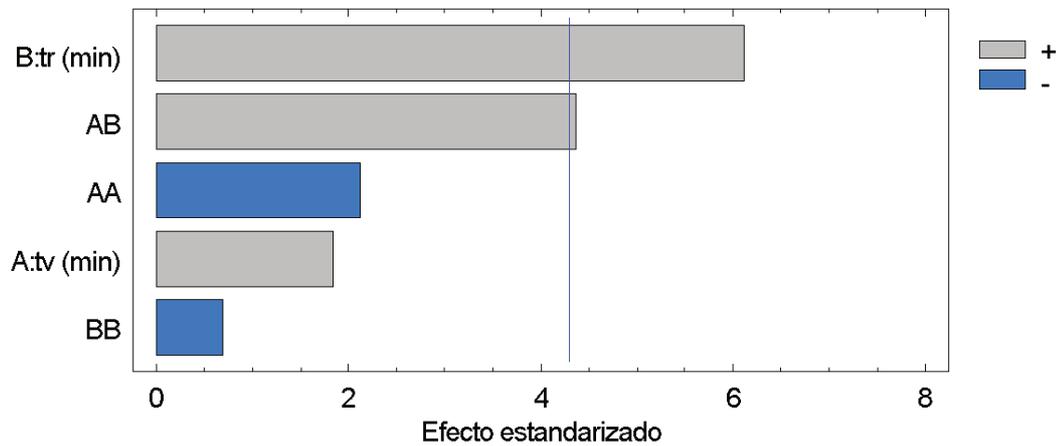
$$\Delta SS_7 (\%) = 23,70 - 1,271t_v - 0,64t_r + 0,20t_v t_r \quad (4.26)$$

Donde:

$\Delta SS_7$  = variación de sólidos solubles en el día siete

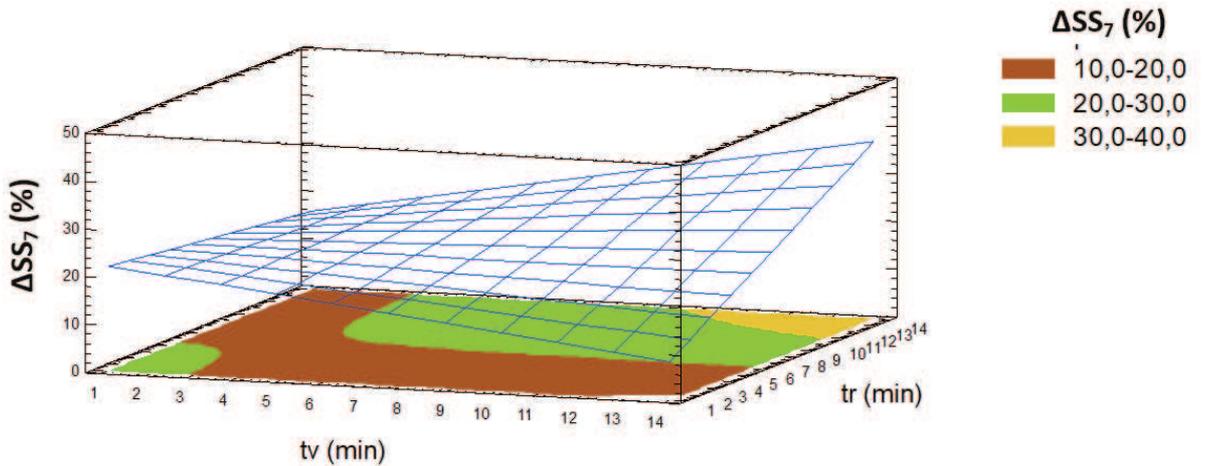
$t_v$  = tiempo de vacío (min)

$t_r$  = tiempo de relajación (min)



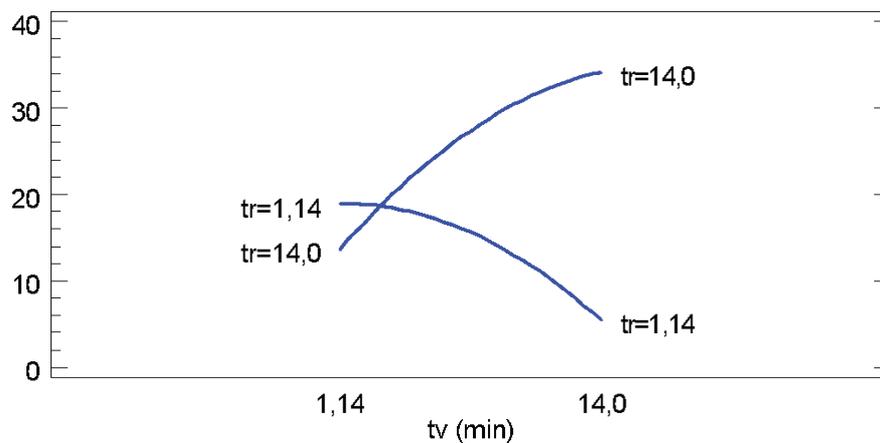
**Figura 4.33.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta SS_7$ , para manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío, después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

La Figura 4.34 muestra la gráfica de superficie de respuesta de  $\Delta SS_7$ , se puede observar que a medida que aumenta el  $t_r$ , existe mayor incremento en el contenido de SS. Mientras que combinaciones de  $t_v$  entre 3 a 14 min combinados con  $t_r$  entre 1 a 4 min ó combinaciones de  $t_v$  entre 1 a 5 min con  $t_r$  entre 5 a 14 min, generan aumentos de 10 a 20 % en los SS, por su parte los aumentos más grandes (30-40%) se producen con combinaciones de  $t_v \geq 12$  min y  $t_r \geq 9$  min.



**Figura 4.34.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta SS_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de frutillas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

La Figura 4.35 muestra la gráfica de interacción para  $\Delta SS_7$  se puede observar que las diferentes combinaciones de  $t_v$  y  $t_r$  generan aumento en el contenido de SS, sin embargo una combinación de  $t_v$  bajo con  $t_r$  ya sean bajos o altos, generan aumento de sólidos solubles de hasta un 20%, mientras que  $t_v$  altos con  $t_r$  altos producen mayor incremento de los SS, cercanos al 40%. Por su parte un  $t_v$  alto en combinación con  $t_r$  bajo produce menor aumento de SS, inferior al 10%.



**Figura 4.35.** Gráfica de interacción para la variación de sólidos solubles al día siete ( $\Delta SS_7$ ) de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío

Cortez- Latorre et al. (2021) encontraron un incremento de los SS después un periodo de almacenamiento de 7 días en manzanas *var. Granny Smith* frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar con SO de sacarosa a 30°Brix, empleando los mismos tiempos de vacío y de relajación que la presente tesis, ellos obtuvieron un incremento del 29% en los SS, al trabajar con tv superiores a los 7 min, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en la presente tesis.

Por su parte, Faicán et al. (2022) encontraron un incremento de los SS en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío (P= 67,7 mbar, tv= 14 min. tr= 7,5min), empleando una solución osmótica de miel a 30°Brix después de 7 días de almacenamiento, el aumento observado fue de  $\approx 24\%$ , similar a lo obtenido en la presente tesis ( $\approx 23\%$ ) al emplear los mismos tv y tr, en ese sentido, Rößle et al. (2011) encontraron que existe buena adherencia de una solución osmótica de miel sobre las frutas frescas cortadas, lo que permite que estos valores de SS permanezcan estables durante el almacenamiento.

### ***Cambios en el pH***

El valor de pH obtenido para manzanas frescas cortadas *var. Granny Smith* fue de  $3,3 \pm 0,10$ .

La Tabla 4.32. muestra los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual de pH en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío ( $\Delta pH_0$ ) y luego de 7 días de almacenamiento a 1,5°C ( $\Delta pH_7$ ), en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

La Tabla 4.33 presenta el resumen de ANOVA de los modelos propuestos para la variación de pH de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío. Los modelos propuestos para las respuestas  $\Delta pH_0$  y  $\Delta pH_7$  no resultaron significativos para el tiempo de vacío y el tiempo de relajación ( $p \geq 0.05$ ). En cuanto a la mejor estimación para promedio obtenido para  $\Delta pH_0$  fue de -2% y

para  $\Delta\text{pH}_7$  de -3,2 en el rango experimental ensayado, el signo negativo indica que hubo disminución del valor de pH en las muestras tratadas por IV.

**Tabla 4.32.** Variación relativa de ( $\Delta\text{pH}_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta\text{pH}_0$ (%)	$\Delta\text{pH}_7$ (%)
T1	14	7,5	-3,23	0,0
T2	7,5	7,5	-3,03	-3,03
T3	7,5	7,5	-1,06	-1,06
T4	7,5	14	0,00	0,0
T5	3	3	1,02	-4,08
T6	3	12	-2,02	-2,02
T7	1,14	7,5	-2,02	-1,01
T8	7,5	1,14	-2,94	-5,88
T9	12	3	-1,00	-4,0
T10	12	12	-6,80	-7,77
T11	7,5	7,5	0,00	-6,06

**Tabla 4.33.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de pH en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta\text{pH}_0$ (%)	$\Delta\text{pH}_7$ (%)
A: tv (min)	1	9,33	2,25
B: tr (min)	1	2,76	5,22
AA	1	2,29	3,68
AB	1	1,90	8,49
BB	1	0,01	0,93
Falta de ajuste	3	24,68	33,75
Error puro	2	4,72	12,68
R <sup>2</sup>		35,24	32,64

GL: grados de libertad

Se encontró disminución del pH en el día cero así como después del tiempo de almacenamiento, estos resultados pueden atribuirse a la presencia de ácido cítrico y ascórbico en la SO que producen una disminución del pH, respecto a ello, se conoce que la impregnación por vacío facilita la introducción de la SO en el tejido de la fruta debido al incremento en la tasa de difusión de iones hidrógeno

como resultado del aumento en la superficie de contacto entre la solución y el tejido de la fruta (Derosi et al., 2010, Derosi et al., 2011). Este comportamiento coincide con lo reportado por Cortez-Latorre et al. (2021) quienes impregnaron cubos de manzana *var.* Granny Smith, bajo las mismas condiciones de presión y tiempo que las usadas en la presente tesis, ellos emplearon una SO de sacarosa a 30°Brix con adición del 1% de ácido cítrico y 1% de ácido ascórbico, los autores no encontraron influencia significativa por parte del tv y tr sobre la variación del pH, sin embargo, observaron disminución del valor de pH en el día cero y después de 7 días de almacenamiento correspondientes a  $3,2 \pm 0,07\%$  y  $3,1 \pm 0,49\%$  respectivamente.

### ***Firmeza***

El valor promedio de firmeza obtenido para las manzanas frescas cortadas sin impregnación por vacío fue de  $18,8 \pm 2,72$  N.

La Tabla 4.34. muestra los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual de la firmeza en el día de aplicación del tratamiento de IV ( $\Delta F_0$ ) y luego de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$  ( $\Delta F_7$ ), en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para firmeza de manzanas frescas cortadas sometidas a impregnación por vacío se presenta en la Tabla 4.35. Se obtuvieron cambios significativos para la firmeza en el día cero y siete ( $\Delta F_0$ ;  $\Delta F_7$ ). El modelo  $\Delta F_0$  explica el 98,4% variabilidad de los datos, sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0,05$ ), de la misma manera, el modelo  $\Delta F_7$  explica el 90,51% de la variabilidad de los datos, sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0,05$ ).

**Tabla 4.34.** Variación relativa de firmeza ( $\Delta F_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta F_0$ (%)	$\Delta F_7$ (%)
T1	14	7,5	-9,37	-30,39
T2	7,5	7,5	-3,54	-14,58
T3	7,5	7,5	-4,21	-17,63
T4	7,5	14	-3,66	-17,35
T5	3	3	-4,84	-19,99
T6	3	12	-3,03	-17,92
T7	1,14	7,5	-4,44	-14,91
T8	7,5	1,14	-5,85	-16,79
T9	12	3	-9,04	-24,43
T10	12	12	-7,01	-26,61
T11	7,5	7,5	-3,41	-15,88

**Tabla 4.35.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de la firmeza en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta F_0$ (%)	$\Delta F_7$ (%)
A: tv (min)	1	29,36**	158,62*
B: tr (min)	1	5,90*	0,16
AA	1	14,68*	84,96*
AB	1	0,01	4,51
BB	1	1,83	7,15
Falta de ajuste	3	0,42	20,89
Error puro	2	0,36	4,68
R <sup>2</sup>		98,43	90,51

GL: grados de libertad; \*\*: significativo a ( $p \leq 0,01$ ); \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

En el diagrama de Pareto (Figura 4.36) se puede observar que  $\Delta F_0$  fue afectada en mayor medida por el término lineal tiempo de vacío (tv) ( $p \leq 0,01$ ), de manera negativa, lo que quiere decir que a medida que el tiempo de vacío aumenta, la firmeza disminuye, de igual manera  $\Delta F_0$ , al estar afectada por el término cuadrático  $tv^2$  ( $p \leq 0,05$ ) existe reducción hasta un valor máximo. Por su

parte el término lineal  $t_r$  afecta de forma positiva ( $p \leq 0,05$ ) a la variación de firmeza, es decir a medida que  $t_r$  aumenta, incrementa la firmeza.

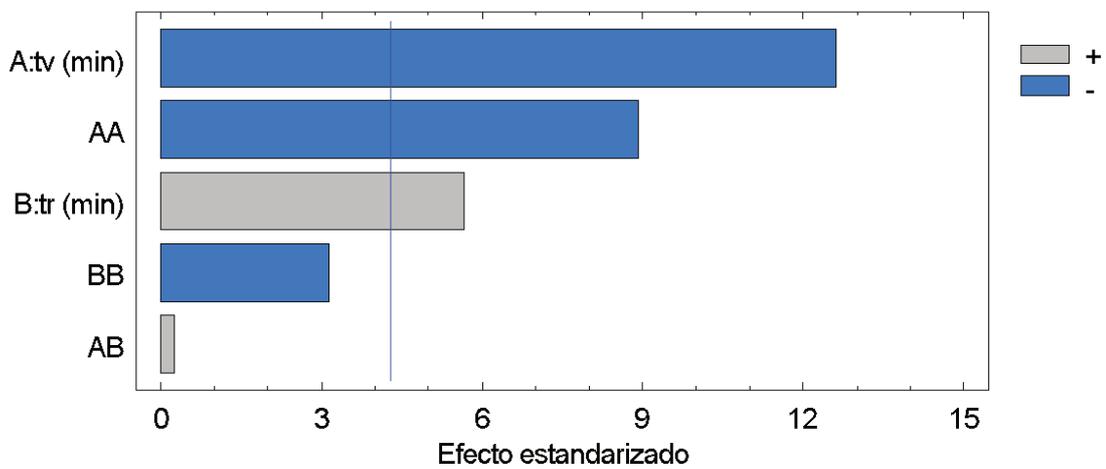
El modelo reducido  $\Delta F_0$  se muestra en la Ecuación 4.27:

$$\Delta F_0 (\%) = -6,54 + 0,64t_v + 0,19t_r - 0,07t_v^2 \quad (4.27)$$

$\Delta F_0$  = variación de la firmeza en el día cero

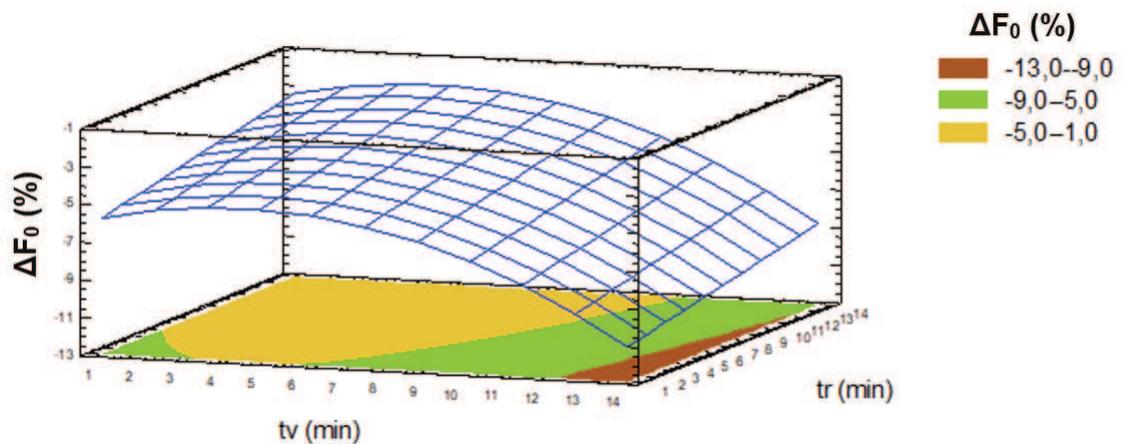
$t_v$  = tiempo de vacío (min)

$t_r$  = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.36.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta F_0$ , para manzanas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío

La Figura 4.37 muestra la gráfica de superficie de respuesta de  $\Delta F_0$  en función de los tiempos de vacío y relajación, se puede observar que un tiempo de vacío alto genera mayor pérdida de firmeza, pudiendo alcanzar una disminución máxima (13%) con valor de  $t_v$  alrededor de los 14 min. Las menores pérdidas de firmeza se generan con combinaciones de  $t_v < 12$  min y  $t_r$  entre 3 a 14 min.



**Figura 4.37.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta F_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar, en el día de aplicación del tratamiento

Cortez et al. (2021) encontraron pérdida de firmeza de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío bajo las mismas condiciones de tiempo y presión que las empleadas en la presente tesis, con una SO de sacarosa (30°Brix), ellos observaron que el  $t_v$  generó una influencia negativa sobre la variación de la firmeza, es decir que a medida que aumentaba el  $t_v$ , se produjo mayor disminución del valor de F. Por su parte, Faicán et al. (2022) estudiaron la impregnación por vacío ( $P= 67,7$  mbar,  $t_v= 14$  min,  $t_r= 7,5$  min) con una solución osmótica de miel a 30°Brix más adición del 1% de ácido ascórbico y 1% de ácido cítrico y encontraron una pérdida de firmeza promedio de  $\approx 11,4$  %, al reemplazar estos valores de tiempo en la ecuación 4.27 de la presente tesis se obtuvo una disminución de 9,87%, valor similar al obtenido bajo las mismas condiciones de tiempo que la tesis (9,37%) (Tabla 4.34). Respecto a los resultados expuestos, Martínez-Monzo et al. (1998) encontraron que la pérdida de la elasticidad de manzanas impregnadas por vacío se debe al intercambio aire-líquido durante el proceso de vacío. De la misma manera, otro hecho que se puede sumar a la pérdida de firmeza a más de los tiempos de proceso aplicados podría ser el uso de soluciones hipertónicas, como la empleada en la

presente tesis, se sugiere que el uso de este tipo de SO pueden producir pérdida de la turgencia celular, provocando desunión celular y reducción del módulo mecánico de los tejidos vegetales, debido al encogimiento de las células a causa de la salida de agua provocando el encogimiento y por ende la deformación (Martinez-Monzo et al. 1998; Zhao y Xie. 2004)

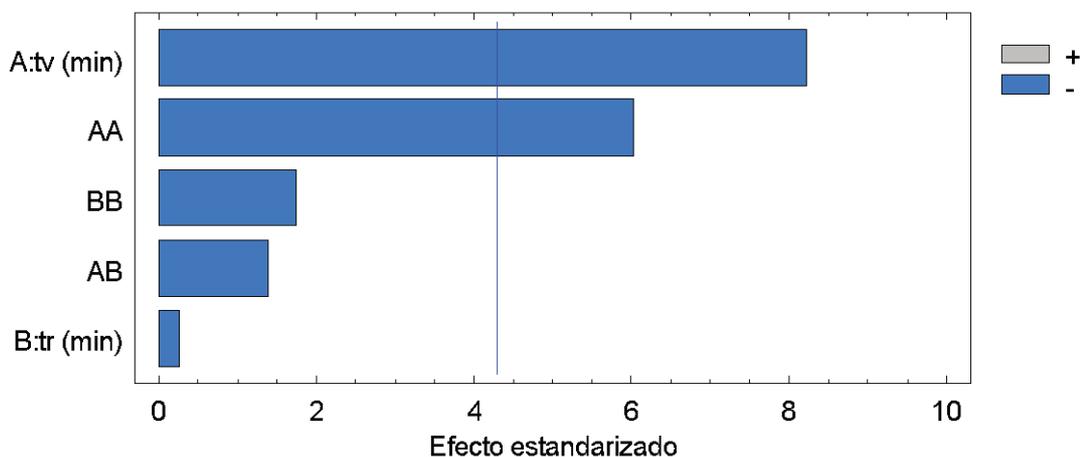
El modelo  $\Delta F_7$  fue afectado por el por el término lineal tiempo de vacío ( $t_v$ ) y el término cuadrático ( $t_v^2$ ) ( $p \leq 0,05$ ). En el diagrama de Pareto (Figura 4.38) se puede ver que el efecto del término lineal  $t_v$ , afecta de manera negativa a la firmeza, lo que quiere decir que a medida que el tiempo de vacío aumenta, la firmeza disminuye, y al estar la firmeza afectada por el término  $t_v^2$  existe reducción hasta un valor máximo.

El modelo reducido  $\Delta F_7$  se muestra en la Ecuación 4.28:

$$\Delta F_7 (\%) = -19,63 + 1,63t_v - 0,17t_v^2 \quad (4.28)$$

$\Delta F_7$  = variación de la firmeza en el día siete

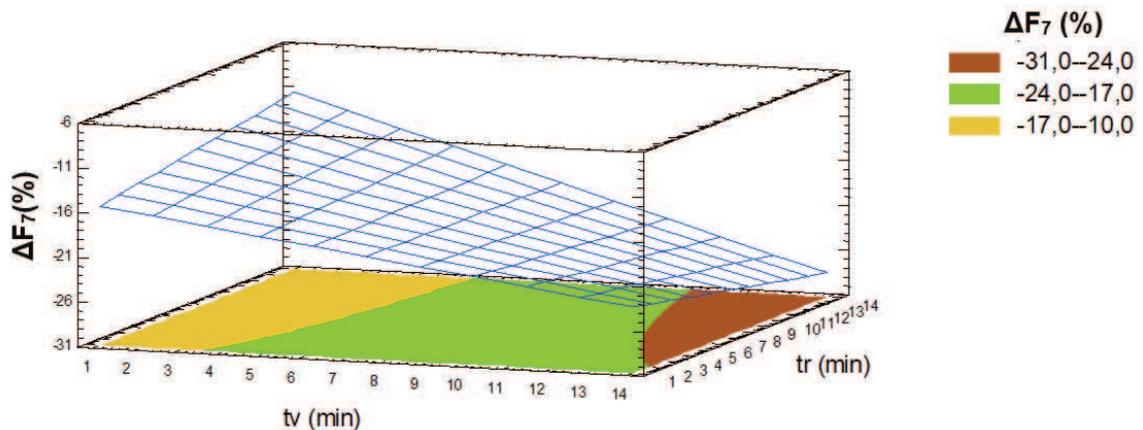
$t_v$  = tiempo de vacío (min)



**Figura 4.38.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta F_7$ , para manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día siete.

La Figura 4.39 presenta la gráfica de superficie de respuesta de  $\Delta F_7$  en función de los tiempos de vacío y relajación. Al trabajar con tiempos de vacío

altos existe mayor disminución de la firmeza,  $t_v > 12$  min podrían producir una pérdida de F que puede llegar hasta el 31%, mientras que  $t_v < 4$  min producen menores pérdidas que van del 10 al 17%.



**Figura 4.39.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de los sólidos solubles ( $\Delta F_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día 7.

Todos los tratamientos generaron disminución de la firmeza desde 14,5 a 30% sobre las manzanas impregnadas por vacío después del tiempo de almacenamiento, en concordancia con este hecho, Faicán et al. (2022); Cortez-Latorre et al. (2021), Rößle et al. (2011), encontraron mayor disminución de la firmeza de cubos de manzanas impregnadas por vacío con soluciones osmóticas hipertónicas después del tiempo de almacenamiento, al igual que lo obtenido en la presente tesis. Cortez-Latorre et al. (2021) encontraron influencia significativa del tiempo de vacío sobre la firmeza de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío, después de 7 días de almacenamiento, a medida que fue mayor el  $t_v$  usado en el proceso, se generó mayor disminución de la firmeza.

En la presente tesis, el día cero se produjo disminución de la firmeza de la fruta tratada la cual fue más alta aún, después del período de almacenamiento, en ese sentido se puede indicar que la degradación de la textura en el tejido de los mínimamente procesados puede ocurrir como una respuesta al daño

inducido debido a que aumenta la producción de enzimas que se dirigen a las paredes celulares y membranas, como respuesta a la lesión (Huber et al. 2001), daño que es mayor al emplear un tv de vacío alto en el proceso de impregnación debido a que se genera mayor de aireación del producto, por tanto mayor deformación del mismo. La pérdida de presión de turgencia se debe a la plasmólisis o ruptura del tonoplasto y el plasmalema de células vegetales. La pérdida de elasticidad se debe al intercambio aire-líquido durante las operaciones de vacío (Alzamora et al., 1997).

### ***Parámetros de color y diferencia total de color***

Las manzanas frescas cortadas var. *Granny Smith* presentaron los siguientes datos de color  $L^*=70,8\pm 2,78$ ;  $a^*=-2,1\pm 1,03$ ;  $b^*=22,7\pm 2,66$ ;  $C^*_{ab}=22,8\pm 2,66$ ;  $h_{ab}=95,3\pm 2,52$ .

Los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual de los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$  y  $h_{ab}$ ) en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^\circ\text{C}$ , en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación se muestran en la Tabla 4.36.

La tabla 4.37 presenta el resumen ANOVA de los modelos propuestos para la variación de los parámetros de color de manzanas frescas cortadas tratadas por IV.

$\Delta a^*_0$  fue afectado por las variables del proceso tiempo de relajación y tiempo de vacío ( $p\leq 0,05$ ), el modelo explica el 79,2% de la variabilidad de los datos sin falta de ajuste significativa ( $p\geq 0,05$ ). Ninguno de los otros parámetros de color fue influenciado por los tiempos de vacío y de relajación ( $p\geq 0,05$ ). Los valores promedio obtenidos para cada una de estas respuestas indican que los cambios porcentuales fueron de:  $\Delta L^*_0=-5,0\%$ ;  $\Delta L^*_7=-9,5\%$ ;  $\Delta a^*_7=6,1\%$ ;  $\Delta b^*_0=7,3\%$ ;  $\Delta b^*_7=1,2\%$ ;  $\Delta C^*_{ab0}=7,4\%$ ;  $\Delta C^*_{ab7}=0,6\%$ ;  $\Delta h_{ab0}=1,1\%$ ;  $\Delta h_{ab7}=1,1\%$ .

**Tabla 4.36.** Variación relativa de los parámetros de color ( $\Delta L^*_i$ ,  $\Delta a^*_i$ ,  $\Delta b^*_i$ ,  $\Delta C^*_{abi}$ ,  $\Delta h_{abi}$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta L^*_0$ (%)	$\Delta L^*_7$ (%)	$\Delta a^*_0$ (%)	$\Delta a^*_7$ (%)	$\Delta b^*_0$ (%)	$\Delta b^*_7$ (%)	$\Delta C^*_{ab0}$ (%)	$\Delta C^*_{ab7}$ (%)	$\Delta h_{ab0}$ (%)	$\Delta h_{ab7}$ (%)
T1	14	7,5	-4,77	-10,54	-4,04	-15,96	2,27	-0,07	2,60	-6,68	3,01	2,81
T2	7,5	7,5	-3,10	-6,22	27,44	21,60	8,36	0,27	8,74	0,22	2,47	2,83
T3	7,5	7,5	-0,61	-10,89	21,93	98,80	10,98	3,32	11,44	3,86	3,68	4,15
T4	7,5	14	-8,51	-12,54	36,92	31,65	5,48	-1,48	5,72	-1,19	1,77	2,19
T5	3	3	-3,18	-10,31	7,89	1,21	11,34	2,33	11,27	2,36	-0,12	0,28
T6	3	12	-5,40	-6,14	16,72	16,72	13,05	5,56	13,32	5,80	1,71	1,55
T7	1,14	7,5	-9,64	-13,74	-18,45	-38,22	0,25	-3,47	-0,01	-3,64	-1,11	-1,90
T8	7,5	1,14	-3,84	-8,14	-0,96	-1,03	5,30	4,23	5,29	4,24	0,19	0,18
T9	12	3	-8,34	-11,01	-15,87	-32,57	0,95	-5,08	0,84	-5,32	-0,21	-0,97
T10	12	12	-3,57	-8,07	-1,69	-13,59	7,67	9,16	7,50	8,91	-0,59	-0,99
T11	7,5	7,5	-3,79	-7,23	20,86	-1,53	14,47	-1,79	14,69	-1,59	1,52	1,49

**Tabla 4.37.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de los parámetros de color en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Suma de Cuadrados												
Fuente	GL	$\Delta L^*_0$ (%)	$\Delta L^*_7$ (%)	$\Delta a^*_0$ (%)	$\Delta a^*_7$ (%)	$\Delta b^*_0$ (%)	$\Delta b^*_7$ (%)	$\Delta C^*_{ab0}$ (%)	$\Delta C^*_{ab7}$ (%)	$\Delta h_{ab0}$ (%)	$\Delta h_{ab7}$ (%)	
A: tv (min)	1	1,58	0,35	68,44	162,36	21,75	0,206	20,68	9,73	1,36	0,93	
B: tr (min)	1	2,08	0,05	732,11*	787,11	9,04	11,73	10,37	13,24	1,54	1,94	
AA	1	21,74	11,69	1723,13**	6271,7	80,08	0,93	87,87	19,37	5,31	10,49	
AB	1	12,21	0,37	7,15	3,01	6,27	30,30	5,31	29,10	1,22	0,41	
BB	1	12,37	1,91	54,55	887,22	18,01	6,60	20,99	11,09	5,30	5,85	
Falta de ajuste	3	28,12	39,46	649,88	1275,88	100,15	112,82	104,67	126,92	10,03	16,02	
Error puro	2	5,59	12,07	24,93	5520,32	18,79	13,21	17,75	15,40	2,34	3,53	
R <sup>2</sup>		55,78	19,78	79,15	51,68	50,07	28,85	50,94	40,00	50,38	45,52	

GL: grados de libertad; \*\*: significativo a ( $p \leq 0,01$ ); \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

El diagrama de Pareto (Figura 4.40) muestra que  $\Delta a^*_0$  fue afectado en mayor medida por el término cuadrático ( $tv^2$ ) ( $p \leq 0,01$ ) y por el término lineal tiempo de relajación ( $tr$ ) ( $p \leq 0,05$ ) y se observa que al estar el parámetro  $a^*$  afectado por el término  $tv^2$  existe reducción hasta un valor máximo, mientras que el efecto del

término lineal  $t_r$ , afecta de manera positiva a al parámetro  $a^*$ , lo que quiere decir que a medida que el tiempo de relajación aumenta, el valor de  $a^*$  incrementa.

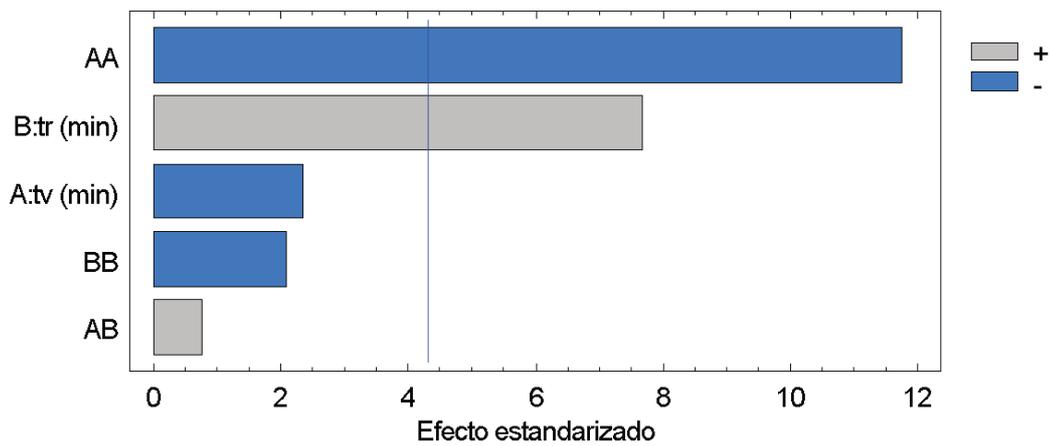
El modelo reducido  $\Delta a_0$  se muestra en la Ecuación 4.29:

$$\Delta a^*_0 (\%) = -36,93 + 11,53t_v + 2,12t_r - 0,8t_v^2 \tag{4.29}$$

$\Delta a^*_0$  = variación del parámetro  $a^*$  en el día cero

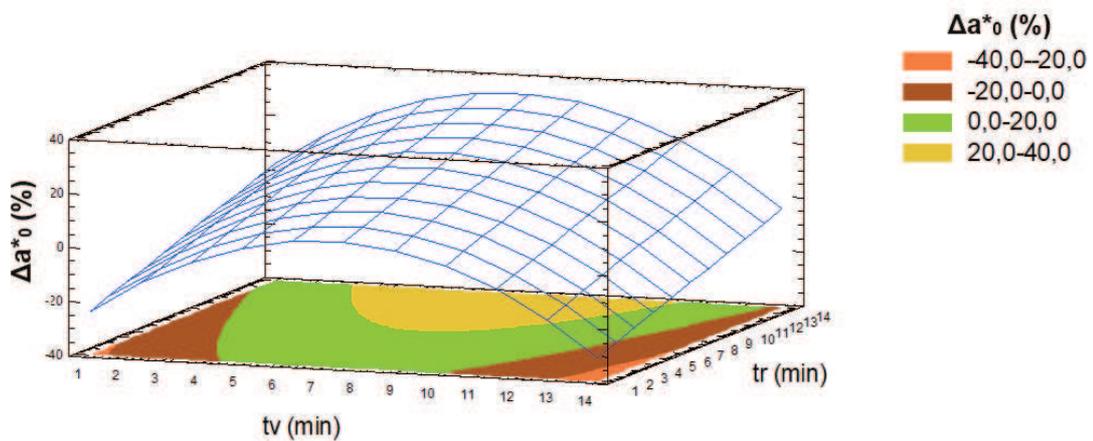
$t_v$  = tiempo de vacío (min)

$t_r$  = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.40.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta a^*_0$ , para manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día siete

La Figura 4.41 muestra la gráfica de superficie de respuesta del modelo  $\Delta a^*_0$  en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación. Se observa una disminución máxima de  $a^*$  ( $\approx 40\%$ ) con un  $t_v$  de aproximadamente 1 min o un  $t_v$  por encima de los 13 min, por su parte, intervalos de  $t_v$  entre 5min a 10 min combinados con  $t_r$  entre  $\approx 1$  a 7 min no generan cambio en  $a^*$  o a su vez producen un incremento del 20%, mientras que al máximo aumento de  $a^*$  se produce con tiempos de vacío entre 5 a 12 min y  $t_r$  7 a 14 min.



**Figura 4.41.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del parámetro de color a ( $\Delta a^*_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día de ejecución del tratamiento

Si bien, a excepción del parámetro  $\Delta a^*_0$ , los diferentes tratamientos de impregnación por vacío no resultaron función de las variables del proceso, se pudo observar que se produjo disminución de la luminosidad tanto en el día de ejecución del tratamiento y después del almacenamiento, las manzanas tratadas fueron más oscuras, por otro lado, resultaron más amarillas y de color más vívido en el día de aplicación del tratamiento y en menor medida en el día 7; la tonalidad amarilla tuvo un mínimo incremento en el día cero y después del almacenamiento. A los 7 días se observó una tendencia al incremento de la tonalidad rojiza, lo cual puede indicar pardeamiento de la muestra. Faicán et al. (2022) encontraron un comportamiento similar, con cambios en el color de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar con una SO de miel con adición del 0,5% de ácido cítrico y 0,5 % de ácido ascórbico, con  $t_v= 14$  min y  $t_r= 7,5$  min, encontrando disminución en la luminosidad, debido probablemente al color de la miel impregnada en la fruta, de igual manera, las muestras tratadas presentaron un color más amarillo respecto a la fruta fresca en el día cero y después de 7 días de almacenamiento, con mayor saturación en el día de ejecución del tratamiento, siendo menor después del almacenamiento. Respecto a estos cambios, Alzamora et al. (2000) y Xie y Zhao (2003) indicaron que el tratamiento de IV ayuda a introducir la miel en la estructura porosa del

tejido de la fruta y es más eficaz para prevenir el oscurecimiento que el simple tratamiento de inmersión en soluciones ácidas, sin embargo cuando se usa miel oscura, puede causar la reducción de los valores de  $L^*$ , lo cual puede ser un problema potencial para frutas de color claro como es el caso de la manzana, pero puede no ser un problema para algunas otras frutas. Gonzalez-Perez et al. (2022), encontraron cambios de los parámetros de color en cubos de manzana, asociados a la impregnación con jugo concentrado de uva.

Respecto a  $\Delta a^*_0$ , se observaron cambios en función de  $t_v$  y  $t_r$ , un tiempo de vacío bajo produjo la mayor disminución en el valor de  $a^*$  es decir que la fruta tiende a un color verdoso mientras que se generó un incremento considerable de  $a^*$  cuando se trabajó con  $t_v$  altos y  $t_r$  de alrededor de 7,5 min es decir que las manzanas fueron más amarillas. En ese sentido, Yilmaz y Bileck (2017) estudiaron el desarrollo de manzanas frescas cortadas, enriquecidas con un colorante natural, empleando una SO isotónica coloreada en base a manitol, con adición de lactato de calcio y concentrado de zanahoria negra, encontraron incrementos en el parámetro  $a^*$  en manzanas impregnadas por vacío ( $P= 133-867$  mbar,  $t_v=1-10$  min,  $t_r=0-30$  min), los investigadores observaron que la presión de vacío, así como los tiempos de vacío y relajación, tuvieron un efecto significativo sobre el valor de  $a^*$ . Ellos encontraron incrementos de  $a^*$  entre 6,14-18,08%, el valor  $a^*$  de la manzana tratada aumentó cuando la presión y el tiempo subieron hasta cierto punto, sin embargo, los menores incrementos en el valor de  $a^*$  se produjeron al emplear  $t_v$  bajos, de igual manera, un  $t_r$  de 30 min (máximo) generó el mayor aumento en  $a^*$ . Estos resultados concuerdan con el comportamiento observado en la presente tesis ya que el  $t_v$  y  $t_r$  tuvieron influencia sobre los cambios generados en el parámetro de color  $a^*$ . En ese aspecto, Hironaka et al. (2011) indicaron que la etapa de impregnación se lleva a cabo en la fase de relajación y el período de restauración tiene un efecto significativo en  $a^*$ . Radziejewska-Kubzdela et al. (2014) señalaron que el tiempo de relajación es conocido como la última etapa del fenómeno de deformación-relajación, en la cual se observa la entrada del líquido desde el exterior como resultado de la presión capilar.

Por su parte Santana Moreira et al. (2017) evaluaron la impregnación por vacío con pigmentos naturales ( $\beta$ -caroteno y luteína) en una ensalada de frutas mínimamente procesadas empleando una presión de vacío de 666,61 mbar,  $t_v=3,7$  y 10 min,  $t_r=3,7$  y 10 min y encontraron que la coordenada  $a^*$ , en mango, durazno y plátano cambió inmediatamente después del procesamiento, mostrando incremento en relación a la fruta control e indicaron que esta diferencia se debe al uso de una solución con un pigmento de color naranja.

La Tabla 4.38 muestra la diferencia total de color en el día de aplicación del tratamiento de impregnación por vacío y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

La Tabla 4.39 presenta el resumen ANOVA de la diferencia total de color en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío. Se obtuvieron cambios significativos en el día cero ( $\Delta E^*_0$ ). El modelo  $\Delta E^*_0$  explica el 62% variabilidad de los datos, sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0,05$ ).

La diferencia total de color en el día siete no fue influenciada de forma significativa por el tiempo de vacío y el tiempo de relajación ( $p \geq 0,05$ ). El valor promedio obtenido dentro del rango experimental ensayado para esta respuesta fue  $\Delta E^*_7 = 7,4$ .

**Tabla 4.38.** Diferencia total de color ( $\Delta E^*_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	$t_v$ (min)	$t_r$ (min)	$\Delta E^*_0$	$\Delta E^*_7$
T1	14	7,5	5,12	8,93
T2	7,5	7,5	3,84	4,91
T3	7,5	7,5	4,14	8,24
T4	7,5	14	6,85	9,31
T5	3	3	3,8	8,00
T6	3	12	5,49	4,93
T7	1,14	7,5	7,49	10,47
T8	7,5	1,14	3,45	6,25
T9	12	3	6,82	8,50
T10	12	12	3,59	6,27
T11	7,5	7,5	3,24	5,53

**Tabla 4.39.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación total de color ( $\Delta E^*$ ) de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta E^*_0$ (%)	$\Delta E^*_7$ (%)
A: tv (min)	1	0,64	0,00
B: tr (min)	1	1,29	0,08
AA	1	6,65*	9,49
AB	1	6,05*	0,17
BB	1	1,56	0,77
Falta de ajuste	3	8,72	20,02
Error puro	2	0,42	6,27
R <sup>2</sup>		62,00	27,12

GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

La Figura 4.42 presenta el diagrama de Pareto de  $\Delta E^*_0$ , se observa que la respuesta fue afectada por el término cuadrático tiempo de vacío ( $tv^2$ ) ( $p \leq 0,05$ ) de forma positiva hasta alcanzar un incremento máximo,  $\Delta E^*_0$  también fue afectado por la interacción tiempo de vacío y tiempo de relajación ( $tvtr$ ) ( $p \leq 0,05$ ) de forma negativa, es decir que cuando tv y tr son altos, existe menor diferencia de color.

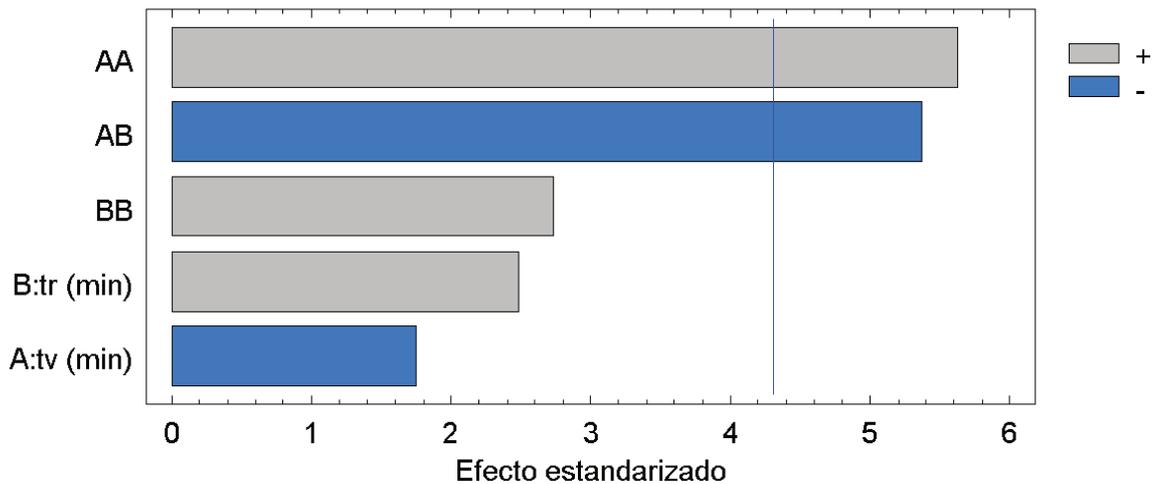
El modelo reducido  $\Delta E^*_0$  se muestra en la Ecuación 4.30:

$$\Delta E^*_0 = 3,73 - 0,35tv + 0,46tr + 0,04tv^2 - 0,05tvtr \quad (4.30)$$

$\Delta E_0$  = diferencia total de color en el día cero

tv = tiempo de vacío (min)

tr = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.42.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta E^*_0$ , para manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día cero

La Figura 4.43 muestra la gráfica de superficie de respuesta y gráfica de contornos de  $\Delta E^*_0$  en función del tiempo de vacío y del tiempo de relajación, se observa que tiempos de vacío inferiores a 3 min combinados con tr entre 11 a 14 min generan el mayor cambio de color (8-10) mientras que combinaciones de tv entre 1 a 8 min con tr por debajo de 4 min, así como también combinaciones de tv y tr > 11 genera la menor variación de color (2-4). En ese sentido Limbo y Piergiovani (2005) indicaron que la diferencia total de color, se usa en particular para distinguir la diferencia entre dos colores, tal como se indica en la siguiente escala:

$\Delta E < 0.2$ : diferencia no perceptible

$\Delta E 0.2 < 0.5$ : muy pequeña diferencia

$\Delta E 0.5 < 1$ : pequeña diferencia

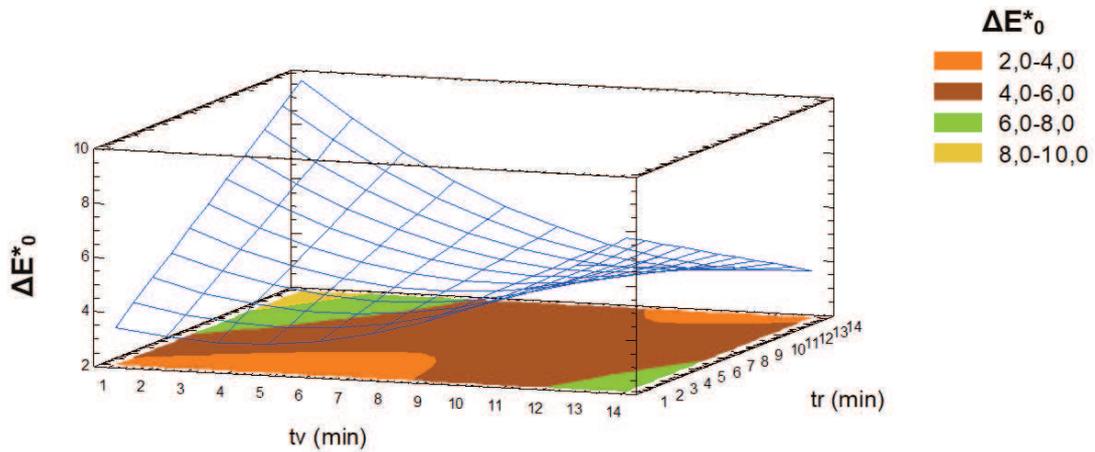
$\Delta E 1 < 2$ : diferencia algo perceptible

$\Delta E 2 < 3$ : diferencia perceptible

$\Delta E 3 < 6$ : fuerte diferencia

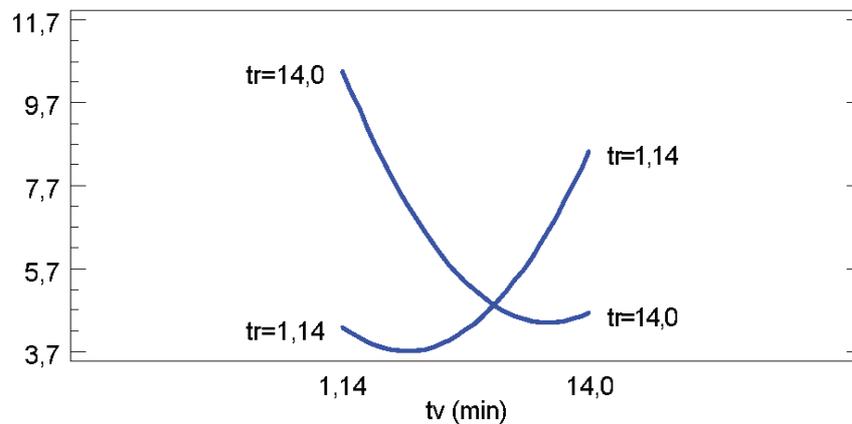
$\Delta E > 6$ : colores diferentes

Por lo tanto, la zona de color naranja y marrón representan una diferencia de color “perceptible”, el color verde y amarillo indican una “fuerte diferencia” entre la fruta tratada respecto a la fruta fresca.



**Figura 4.43.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo diferencia total de color ( $\Delta E^*_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día de ejecución del tratamiento.

La Figura 4.44 muestra la gráfica de interacción del modelo  $\Delta E^*_0$ , se puede observar que combinaciones de tiempo de vacío y relajación bajos generan menor cambio de color, lo mismo sucede con combinaciones de  $t_v$  y  $t_r$  altos. Mientras que el mayor cambio en el color se genera con combinaciones de  $t_v$  bajos y  $t_r$  alto, lo mismo ocurre con  $t_v$  alto en combinación de  $t_r$  bajo.



**Figura 4.44.** Gráfica de interacción para la diferencia total de color en el día cero ( $\Delta E^*_0$ ) de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío

Faicán et al. (2018) estudiaron el proceso de impregnación por vacío en cubos de manzana, empleando una SO de sacarosa a 30°Brix con adición del 1% de ácido ascórbico y 1% de ácido cítrico, variando la presión (67, 7 y 667,3 mbar) con  $t_v= 3$  y 10 min,  $t_r= 3$  y 10 min. Ellos encontraron que la presión y los tiempos de tratamiento tuvieron influencia sobre  $\Delta E^*_{ab}$ , las mayores diferencias de color entre la fruta fresca sin tratar y la fruta impregnada, se obtuvieron a la mayor presión, sin embargo, cuando emplearon la presión más baja (67,7 mbar) que es igual a la usada en la presente tesis, obtuvieron cambios que fueron desde: “algo perceptible” a “bastante perceptible”, según lo sugerido por Limbo y Piergiovani (2005), en ese sentido, el mayor cambio se produjo con una combinación de  $t_v$  y  $t_r$  bajos (3min), lo cual concuerda con lo indicado respecto a los cambios producidos por las interacciones generadas en la presente tesis.

Santana-Moreira et al. (2017) estudiaron la impregnación por vacío de pigmentos naturales ( $\beta$ -caroteno y luteína) en una ensalada de frutas mínimamente procesadas que contenía banana, mango, papaya y durazno ( $P= 666,61$  mbar,  $t_v= 3,7$  y 10 min,  $t_r= 3,7$  y 10 min) los investigadores obtuvieron diferencias de color entre la muestra control y las frutas que conforman la ensalada después de aplicar el tratamiento de IV, la diferencia obtenida fue de  $\Delta E^*_{ab} > 3$ , es decir, muy distinto según lo indicado por Adekunte et al. (2010). Los autores sugieren que el cambio de color se produce por el uso de una solución osmótica coloreada, en este caso con un color anaranjado. En ese sentido, como se había indicado, los tiempos de vacío y relajación tuvieron influencia sobre la diferencia total de color en las manzanas tratadas en la presente tesis, sin embargo también es necesario considerar el color de la miel empleada en la SO ( $L^*=23,7 \pm 0,5$ ;  $a^*= 8,2 \pm 0,7$ ;  $b^*=17,8 \pm 1,8$ ;  $C^*_{ab}= 19,6 \pm 2,0$ ;  $h_{ab}= 65,1 \pm 0,3$ ) de tonalidad general intensa y rojiza (González, 2022), que genera cambio de color de la manzana dado que la IV favorece el ingreso de miel en el interior de la fruta.

***Perfil de compuestos fenólicos***

Las manzanas frescas cortadas sin aplicación del tratamiento de impregnación presentaron un contenido de Ácido Clorogénico (AcC) =  $56,3 \pm 14,20$  mg  $100g^{-1}$ ; catequina (Cat) =  $23,4 \pm 6,52$  mg  $100g^{-1}$ ; epicatequina (Ep) =  $40,0 \pm 10,25$  mg  $100g^{-1}$  y Kaempferol (Ka) =  $2,5 \pm 0,43$  mg  $100g^{-1}$ .

La Tabla 4.40. presenta los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual de compuestos fenólicos (AcC, Cat, Ep y Ka) en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^{\circ}C$ , en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

El ANOVA de los modelos predictivos propuestos para  $\Delta AcC$ ,  $\Delta Cat$ ,  $\Delta Ep$  y  $\Delta Ka$  en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío se presentan en la Tabla 4.41, se observaron cambios significativos para  $\Delta AcC_0$ ,  $\Delta Cat_7$  y  $\Delta Ka_0$ , los modelos explican el 75,2 %; 71,8% y 70,3% para  $\Delta AcC_0$ ,  $\Delta Cat_7$  y  $\Delta Ka_0$  de la variabilidad de los datos respectivamente, sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0,05$ ).

Por su parte, los factores estudiados no tuvieron influencia significativa sobre  $\Delta AcC_7$ ,  $\Delta Cat_0$ ,  $\Delta Ep_0$ ,  $\Delta Ep_7$  y  $\Delta Ka_7$ , la mejor estimación en este caso son los valores promedio obtenidos dentro del rango experimental ensayado, siendo:  $\Delta AcC_7 = 28,3\%$ ,  $\Delta Cat_0 = 296,0\%$ ,  $\Delta Ep_0 = 114,4\%$ ,  $\Delta Ep_7 = 37,1\%$  y  $\Delta Ka_7 = 11,2\%$ .

**Tabla 4.40.** Variación relativa de compuestos fenólicos ( $\Delta\text{AcC}_i$ ,  $\Delta\text{Cat}_i$ ,  $\Delta\text{Epi}$  y  $\Delta\text{Ka}_i$ ) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta\text{AcC}_0$ (%)	$\Delta\text{AcC}_7$ (%)	$\Delta\text{Cat}_0$ (%)	$\Delta\text{Cat}_7$ (%)	$\Delta\text{Ep}_0$ (%)	$\Delta\text{Ep}_7$ (%)	$\Delta\text{Ka}_0$ (%)	$\Delta\text{Ka}_7$ (%)
1	14	7,5	62,11	8,13	245,49	27,16	92,90	30,53	-6,33	7,29
2	7,5	7,5	107,58	29,86	314,61	23,16	129,46	26,99	-11,4	16,92
3	7,5	7,5	109,45	46,56	259,15	40,05	108,8	35,71	-11,07	12,22
4	7,5	14	50,51	48,21	289,36	103,88	107,7	46,67	-6,22	17,74
5	3	3	53,10	37,20	412,44	43,04	143,36	30,43	12,59	3,04
6	3	12	86,87	20,30	304,76	70,17	119,71	53,76	-12,08	2,4
7	1,14	7,5	91,91	12,82	269,48	52,21	105,2	27,78	1,17	9,13
8	7,5	1,14	89,81	18,33	282,81	38,39	98,08	34,4	-10,77	15,04
9	12	3	54,94	39,08	306,28	81,23	116,86	45,77	-18,34	3,31
10	12	12	56,57	12,06	202,55	90,60	70,18	32,68	-18,13	14,26
11	7,5	7,5	98,91	38,21	369,02	27,59	166,41	42,94	-17,5	21,68

**Tabla 4.41.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de compuestos fenólicos ( $\Delta\text{AcC}_i$ ,  $\Delta\text{Cat}_i$ ,  $\Delta\text{Epi}$  y  $\Delta\text{Ka}_i$ ) de en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Suma de Cuadrados									
Fuente	GL	$\Delta\text{AcC}_0$ (%)	$\Delta\text{AcC}_7$ (%)	$\Delta\text{Cat}_0$ (%)	$\Delta\text{Cat}_7$ (%)	$\Delta\text{Ep}_0$ (%)	$\Delta\text{Ep}_7$ (%)	$\Delta\text{Ka}_0$ (%)	$\Delta\text{Ka}_7$ (%)
A: tv (min)	1	675,97*	27,8	7446,14	65,72	1147,14	10,54	264,93*	10,54
B: tr (min)	1	71,74	0,38	5098,4	2161,62*	431,42	25,63	35,40	25,63
AA	1	1605,5*	882,25	2089,09	400,905	1252,16	202,48	123,15	202,48
AB	1	258,25	25,60	3,90	78,85	132,60	33,58	154,75	33,60
BB	1	2363,84*	5,91	140,011	3315,15*	950,11	20,68	16,55	20,68
Falta de ajuste	3	1259,4	981,53	12427,7	2033,46	1620,4	119,10	226,24	119,10
Error puro	2	63,25	139,44	6035,89	153,38	1703,7	44,75	26,22	44,74
R <sup>2</sup>		75,18	46,60	44,01	71,82	50,01	62,45	70,30	62,45

GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

El modelo  $\Delta\text{AcC}_0$  fue afectado de forma negativa por el término lineal tiempo de vacío (tv), el término cuadrático (tv<sup>2</sup>) y el término cuadrático tiempo de relajación (tr<sup>2</sup>) ( $p \leq 0,05$ ), lo que indica que cuando el tiempo de vacío y de relajación incrementan, existe disminución del contenido de ácido clorogénico.

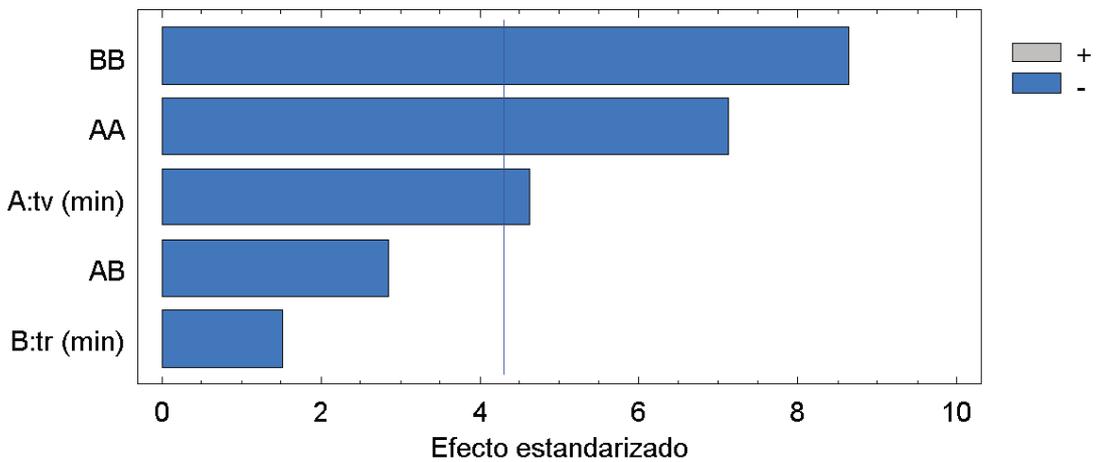
El modelo reducido  $\Delta\text{AcC}_0$  se muestra en la Ecuación 4.31:

$$\Delta\text{AcC}_0 (\%) = 21,1 + 10,42t_v + 14,5t_r - 0,82t_v^2 + 1t_r^2 \quad (4.31)$$

$\Delta\text{AcC}_0$  = variación del contenido de ácido clorogénico en el día cero

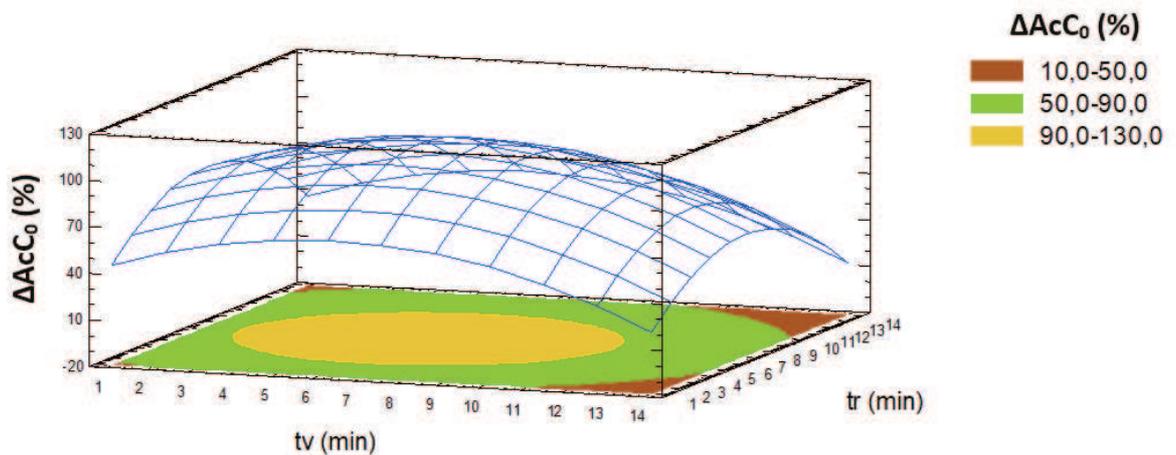
$t_v$  = tiempo de vacío (min)

$t_r$  = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.45.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta\text{AcC}_0$ , para manzanas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío

La Figura 4.46 muestra la gráfica de superficie respuesta y contornos de  $\Delta\text{AcC}_0$  se observa que tiempos de vacío superiores a 11 min combinados con  $t_r < 3$  min o con  $t_r > 9$  min generan los menores incrementos de AcC (10 a 50%), mientras que los mayores aumentos se producen con tiempos de vacío y tiempos de relajación intermedios ( $\approx 7,5$  min) el incremento en el contenido de ácido clorogénico puede alcanzar un máximo de 130%.



**Figura 4.46.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de ácido clorogénico ( $\Delta\text{AcC}_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero

Derossi et al. (2018) estudiaron la aplicación de impregnación al vacío para mejorar las propiedades funcionales de rodajas de manzana frescas cortadas mediante el uso de un extracto de gel de aloe vera, los autores emplearon diferentes presiones de vacío (50-450 mbar),  $t_v= 1,3$  y 5 min,  $t_r= 5, 10$  y 15 min. Ellos observaron que la presión, así como el  $t_r$  tuvieron influencia sobre el contenido de polimananos impregnados en la fruta. A una presión de 50 mbar y  $t_r \approx 8$  min se generó el mayor aumento de polimananos, sin embargo, tiempos de relajación superiores a los 10 min tuvieron un efecto negativo probablemente porque una compresión prolongada dañó el tejido de la manzana favoreciendo la liberación de extractos de aloe vera de los capilares. Similares resultados se observan en la presente tesis, en donde  $t_r$  por encima de 10 min, generan disminución del contenido de ácido clorogénico (Figura 4.48).

Por su parte, Santana-Moreira et al. (2017) estudiaron la impregnación por vacío de pigmentos naturales ( $\beta$ -caroteno y luteína) en una ensalada de frutas mínimamente procesadas que contenía banana, mango, papaya y durazno ( $P= 666,61$  mbar,  $t_v= 3,7$  y 10 min,  $t_r= 3,7$  y 10 min) se obtuvo mayor incremento en el contenido de carotenoides al emplear tiempos de tratamiento más altos (7 y 10 min). Resultados similares se obtuvieron en la presente tesis

con el incremento de ácido clorogénico con combinaciones de tv y tr dentro del rango planteado por los autores.

et al. (2012) estudiaron la influencia de la impregnación por vacío en la fortificación de 13 variedades de manzana con derivados de quercetina (P= 100-800 mbar, tv= 5 min, tr= 10 min), emplearon una SO de jugo de manzana comercial, enriquecida con flavonoides obtenidos de la piel de manzana. En todos los casos se evidenció un incremento de quercetina y sus glucósidos, el mayor aumento se produjo en la variedad Golden Delicious (≈35%), sin embargo, la var. Granny Smith presentó un incremento aproximado del 32%.

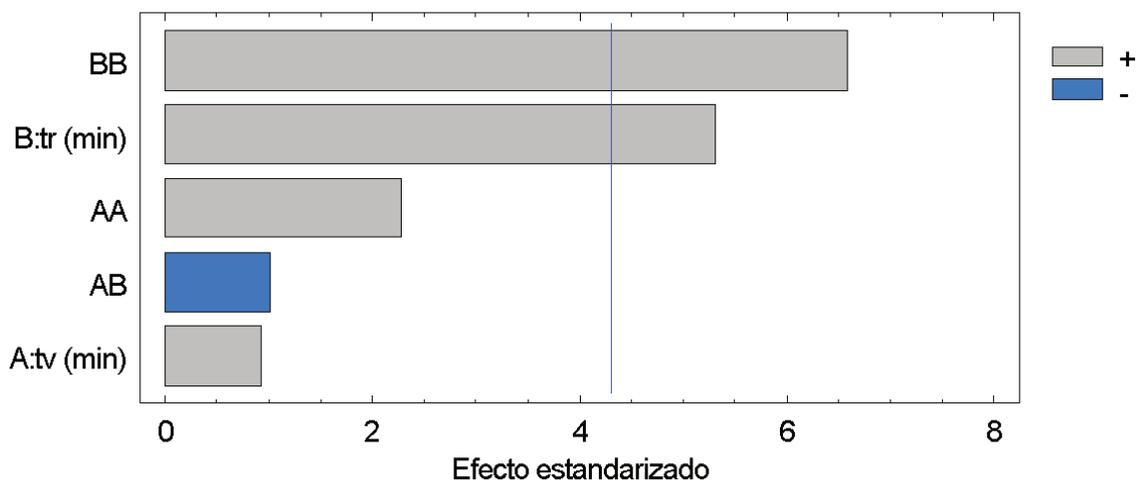
El modelo  $\Delta\text{Cat}_7$  fue afectado de forma positiva por el término lineal tiempo de relajación (tr), y el término cuadrático ( $\text{tr}^2$ ) ( $p \leq 0,05$ ), lo que quiere decir que a medida que aumenta el tiempo de relajación incrementa el contenido de catequina.

El modelo reducido  $\Delta\text{Cat}_7$  se muestra en la Ecuación 4.32:

$$\Delta\text{Cat}_7 (\%) = 71,71 - 12,33\text{tr} + 1,05\text{tr}^2 \quad (4.32)$$

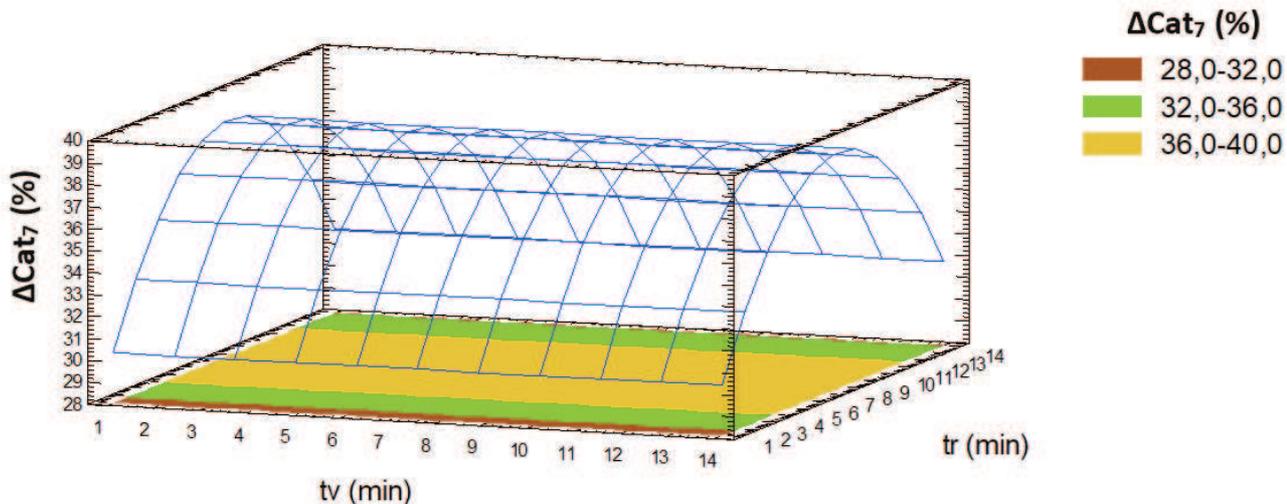
$\Delta\text{Cat}_7$  = variación del contenido de catequina en el día siete

tr = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.47.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta\text{Cat}_7$ , para manzanas frescas cortadas en el día siete

La Figura 4.48. Muestra la gráfica de superficie de respuesta y contornos de  $\Delta\text{Cat}_7$ , se puede observar que tiempos de relajación inferiores a 1 min producen los menor incremento en el contenido de catequina (entre 28 a 32%), por su parte  $tr < 3\text{min}$  y  $tr > 11\text{min}$  generan aumentos que pueden llegar al 36% y el máximo aumento de Cat se consigue con  $tr$  entre 4 a 10 min, alcanzando un máximo de 40%.



**Figura 4.48.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de catequina ( $\Delta\text{Cat}_7$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día siete.

Santarelli et al. (2020) evaluaron la congelación y la aplicación de pre-tratamientos a la congelación en manzanas frescas cortadas *var.* Golden Delicious orgánicas y convencionales, enfocándose en el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante. La impregnación por vacío fue uno de los pre-tratamientos empleados por los investigadores, ellos usaron una SO de jugo de limón orgánico, y una solución de agua destilada, con una presión de 738 mbar,  $tv = 10\text{ s}$ ,  $tr = 60\text{ s}$ . Los autores encontraron incremento en el contenido de Catequina en las manzanas impregnadas por vacío con las dos soluciones osmóticas empleadas en el caso de las manzanas orgánicas en el día de aplicación del tratamiento, y después de 300 días de almacenamiento a  $-45^\circ\text{C}$  no existió diferencia en el contenido de catequina en la fruta tratada por IV

respecto a la fruta sin tratar. Los investigadores indicaron que el incremento en el contenido de catequina podría atribuirse a la mayor extractabilidad de este compuesto favorecida por el estrés mecánico relacionado con los fenómenos de deformación y transferencia de masa determinado por los cambios de presión en las paredes celulares, la laminilla media, y el plasmalema de las estructuras celulares de la fruta. No se produjo disminución del contenido de catequina como en el caso de otros polifenoles, en ese sentido ellos indicaron que esto puede deberse a las diferentes inhibiciones enzimáticas inducidas por la incorporación de la solución de jugo de limón, la diferente afinidad entre la polifenoloxidasas y los distintos polifenoles y la diferente inhibición ejercida por polifenoles individuales y sus productos de oxidación. La impregnación al vacío en solución de jugo de limón promovió la extracción de catequina y mejoró las propiedades funcionales de los productos de manzana independientemente del método de cultivo de la manzana, sea de forma orgánica o convencional.

Al reemplazar el  $t_r$  utilizado por Santarelli et al. (2020) en la ecuación reducida de  $\Delta Cat_7$  (ecuación 4.32) de la presente tesis, se obtiene un incremento en el contenido de catequina del 68,73%. Los resultados demostraron que el HDM ocurrió principalmente en los primeros 5 min de la relajación, donde hubo un gran aumento en la Brix de manzana. En ese sentido, Paes et al. (2007) indicaron que el mecanismo hidrodinámico en el proceso de impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas ocurre en los primeros 5 min del tiempo de relajación.

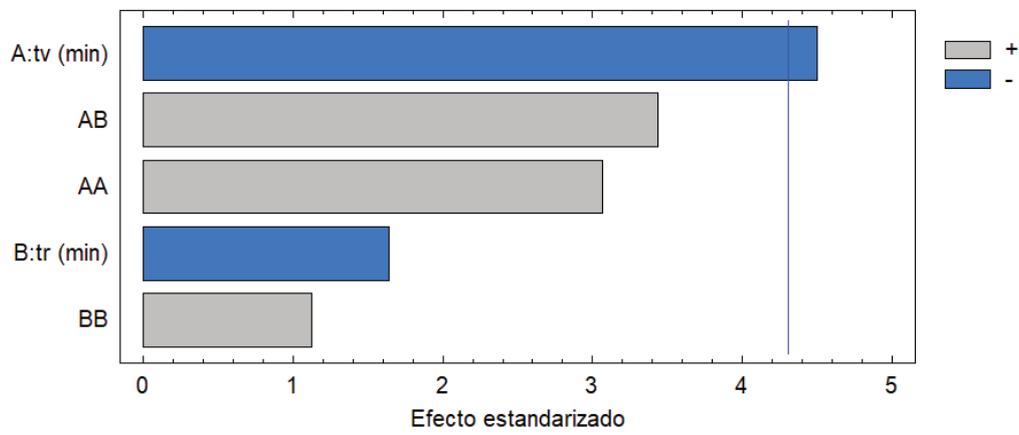
El modelo  $\Delta Ka_0$  fue afectado de forma negativa el término lineal tiempo de vacío ( $t_v$ ) ( $p \leq 0,05$ ) esto quiere decir que a medida que incrementa el  $t_v$ , se reduce el contenido de Kaempferol.

El modelo reducido  $\Delta K_{a0}$  se muestra en la Ecuación 4.33:

$$\Delta K_{a0} (\%) = 0,9 - 1,3t_v \quad (4.33)$$

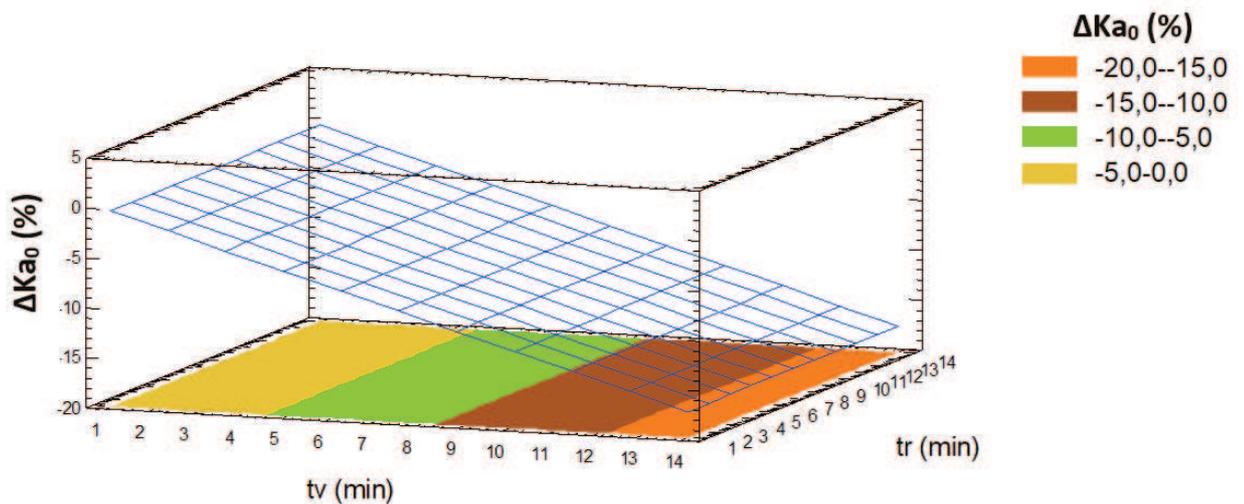
$\Delta K_{a0}$  = variación del contenido de kaempferol en el día cero

$t_v$  = tiempo de vacío (min)



**Figura 4.49.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta K_{a0}$ , para manzanas frescas cortadas en el día de aplicación del tratamiento

La Figura 4.50 presenta el gráfico de superficie de respuesta y contorno de  $\Delta K_{a0}$ , se puede observar la mayor disminución de  $K_a$  se produce con  $t_v > 13$  min (máximo 20%) y a medida que aumenta el tiempo de vacío, existe mayor disminución. Tiempos de vacío inferiores a 5 min producen menos reducción de  $K_a$ , un tiempo cercano a 1 min no genera cambios.



**Figura 4.50.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de catequina ( $\Delta K_{a_0}$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día de aplicación del tratamiento.

Yılmaz et al. (2018) estudiaron el proceso de impregnación por vacío asistida por ultrasonido para la fortificación de manzanas frescas cortadas impregnadas con una SO de zanahoria negra, con  $P= 281,31$  mbar,  $t_v= 3$  min,  $t_r= 20$  min. Encontraron que el contenido de flavonoides en las manzanas impregnadas por vacío sin aplicación de ultrasonido y con una SO que contenía el concentrado de zanahoria negra incrementó aproximadamente dos veces más el contenido de flavonoides respecto a una SO sin el concentrado de la zanahoria. Al reemplazar el  $t_v$  empleado por estos autores, en la ecuación 4.33 de la presente tesis, se obtuvo una disminución del 3%, a diferencia del incremento obtenido en la presente tesis (12,6%). En este caso es necesario considerar las condiciones de presión empleadas en el proceso por parte de los autores, la presión de vacío es aproximadamente 4 veces más alta que la usada en la presente tesis, por lo tanto esa disminución podría producirse, en ese sentido, Derossi et al. (2018) encontraron disminución del contenido de polimananos en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío, a medida que se incrementaba la presión de vacío, sin embargo, con una presión de 50 mbar (la más baja) obtuvieron el máximo incremento de estos compuestos. Este

comportamiento probablemente es causado por el daño en los tejidos vegetales a presiones de vacío altas, que redujeron la capacidad de los capilares para retener la solución externa.

### ***Vitamina C***

Las manzanas frescas cortadas sin aplicación del tratamiento de impregnación presentaron un contenido de vitamina C de  $1,32 \pm \text{mg } 100\text{g}^{-1}$ .

La Tabla 4.42. presenta los resultados experimentales obtenidos para la variación relativa porcentual del contenido de vitamina C en el día de aplicación del tratamiento de impregnación por vacío y después de 7 días de almacenamiento a  $1,5^{\circ}\text{C}$ , en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación.

La Tabla 4.43. muestra el ANOVA de los modelos predictivos propuestos para el contenido de vitamina C en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío, se obtuvieron cambios significativos para  $\Delta\text{VC}_0$  ( $p \leq 0,05$ ), el modelo explica el 77% de la variabilidad de los datos, sin falta de ajuste significativa ( $p \geq 0,05$ ).

Las variables del proceso no tuvieron influencia sobre  $\Delta\text{VC}_7$  en ese caso se obtuvo el valor promedio de 199%, lo que indica incremento en el contenido de vitamina C.

**Tabla 4.42.** Variación relativa del contenido de vitamina C (VitC<sub>i</sub>) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para manzanas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar.

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta VC_0$ (%)	$\Delta VC_7$ (%)
T1	14	7,5	3351,45	2434,96
T2	7,5	7,5	2977,08	1866,70
T3	7,5	7,5	3158,34	2488,99
T4	7,5	14	3942,95	2591,25
T5	3	3	2452,24	1817,49
T6	3	12	3742,30	1820,72
T7	1,14	7,5	1448,40	1357,34
T8	7,5	1,14	2984,40	1378,84
T9	12	3	3039,92	1407,91
T10	12	12	3213,76	1768,09
T11	7,5	7,5	2786,11	1472,26

**Tabla 4.43.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de vitamina C en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta VC_0$ (%)	$\Delta VC_7$ (%)
A: tv (min)	1	28943,0*	3309
B: tr (min)	1	30450,8*	12554,8
AA	1	477,52	1358,07
AB	1	3003,04	731,2
BB	1	9446,7	472,7
Falta de ajuste	3	20730,3	19217
Error puro	2	2164,37	5373,1
R <sup>2</sup>		77,0	42,3

GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

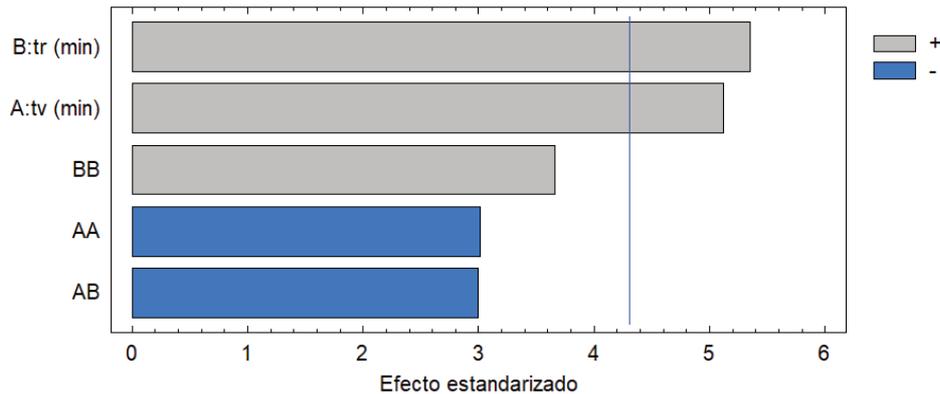
El modelo  $\Delta VC_0$  fue afectado por el término lineal tiempo de vacío (tv) y el término lineal tiempo de relajación (tr) ( $p \leq 0,05$ ). El diagrama de Pareto (Figura 4.51), indica que el tiempo de vacío y el tiempo de relajación, tienen un efecto positivo, es decir que a medida que incrementa el tiempo de vacío y relajación, aumenta el contenido de vitamina C. El modelo reducido  $\Delta VC_0$  se muestra en la Ecuación 4.34:

$$\Delta VC_0 (\%) = 1850,7 + 75,9t_v + 78,3t_r \quad (4.34)$$

$\Delta VC_0$  = variación del contenido de vitamina C en el día cero

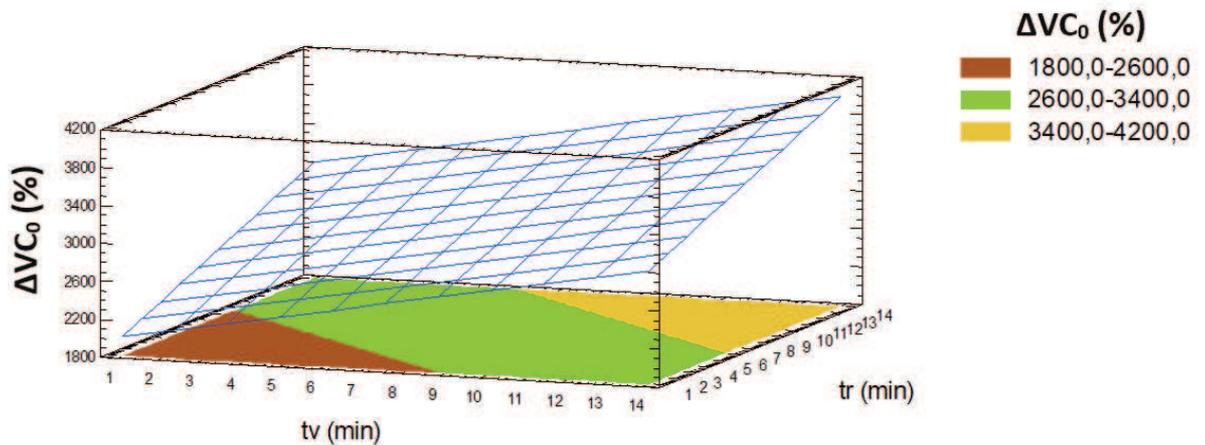
$t_v$  = tiempo de vacío (min)

$t_r$  = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.51.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta VC_0$ , para manzanas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío

La Figura 4.52 muestra la gráfica de superficie respuesta para la variación del contenido de vitamina C, se observa que a medida que aumentan los  $t_v$  y  $t_r$ , se incrementa el contenido de vitamina C, tiempos de vacío superiores a 9 min combinado con  $t_r > 5$  min producen los mayores aumentos del contenido de VC superiores a 4000%.



**Figura 4.52.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual del contenido de vitamina C ( $\Delta VC_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero.

Faicán et al. (2022) encontraron aumentos en el contenido de vitamina C superiores a 1000% en el día de aplicación del tratamiento de impregnación por vacío en cubos de manzana, empleando la misma presión de vacío y solución osmótica que la presente tesis ( $P= 67,7$  mbar;  $SO=$  miel a  $30^\circ$ Brix + 0,5% de ácido ascórbico + 0,5% de ácido cítrico), el tiempo de vacío empleado fue de 14 min, y el tiempo de relajación de 7,5 min. Al reemplazar estos tiempos en la ecuación 4,34 de la presente tesis se obtuvo un incremento superior al 3500% en el contenido de vitamina C, valor cercano al obtenido en la tesis. Dicho incremento se debe a la presencia de ácido ascórbico en la solución osmótica, dicho incremento fue de 13 veces más que la fruta fresca al emplear el 0,5 % de ácido ascórbico + 0,5% de ácido cítrico.

Cortez-Latorre et al. (2021) estudiaron la impregnación por vacío con el objetivo de mejorar la calidad de la manzanas frescas cortada y su potencial saludable, empleando una  $SO$  de sacarosa a  $30^\circ$ Brix con adición del 1% de ácido cítrico y 1% de ácido ascórbico,  $P= 67,7$  mbar,  $t_v= 1,14 -14$  min,  $t_r= 1,14- 14$  min; ellos encontraron que el  $t_v$  tuvo influencia sobre la variación del contenido de vitamina C, a medida que incrementaba el tiempo de vacío aumentaba el contenido de vitamina C, al igual que el comportamiento observado en la

presente tesis. Los autores indicaron que el uso de la impregnación al vacío mejora la incorporación de compuestos antioxidantes en el interior de la matriz alimentaria, retardando la oxidación.

Por su parte Hironaka et al. (2011), estudiaron el proceso de impregnación por vacío en papas enteras, con la finalidad de evaluar el efecto del tiempo de vacío sobre el contenido de AA y también los efectos de la cocción por vapor y el almacenamiento sobre el contenido del ácido ascórbico. Los investigadores emplearon una SO de ácido ascórbico con una concentración del 10%, P= 93,3 mbar, tv= 0-60 min, tr= 180 min, ellos encontraron un incremento del contenido de vitamina C en las papas a medida que aumentó el tiempo de vacío, encontrando el máximo incremento con un tv= 60 min, 21 veces superior a la materia prima sin tratar.

### ***Fenoles totales***

El contenido de fenoles totales para manzanas *var.* Granny Smith frescas cortadas fue de  $40,4 \pm 5,29$  mg GAE  $100g^{-1}$ .

La Tabla 4.44. muestra los resultados experimentales obtenidos para la variación del contenido de fenoles totales ( $\Delta FT_i$ ) en el día de aplicación de los tratamientos de impregnación por vacío y después de siete días de almacenamiento a  $1,5^\circ C$ .

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para la variación del contenido de fenoles totales de manzanas frescas cortadas sometidas a IV se presenta en la Tabla 4.45; los factores tiempo de vacío tiempo de relajación no influyeron significativamente sobre  $\Delta FT_0$  y  $\Delta FT_7$  ( $p \geq 0,05$ ). La mejor estimación en el rango ensayado de las variables es el promedio de todas las corridas experimentales  $\Delta FT_0 = 98,0\%$  y  $\Delta FT_7 = 45,32\%$ .

**Tabla 4.44.** Variación relativa del contenido de fenoles totales (FT<sub>i</sub>) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	ΔFT <sub>0</sub> (%)	ΔFT <sub>7</sub> (%)
T1	14	7,5	86,45	24,07
T2	7,5	7,5	100,04	31,77
T3	7,5	7,5	108,3	42,4
T4	7,5	14	107,1	107,83
T5	3	3	97,44	60,22
T6	3	12	101,37	29,32
T7	1,14	7,5	97,85	23,10
T8	7,5	1,14	91,65	21,88
T9	12	3	76,59	58,40
T10	12	12	86,34	46,53
T11	7,5	7,5	123,73	53,01

**Tabla 4.45.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación del contenido de fenoles totales en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		ΔFT <sub>0</sub> (%)	ΔFT <sub>7</sub> (%)
A: tv (min)	1	349,7	32,87
B: tr (min)	1	152,8	833,4
AA	1	617,5	376,7
AB	1	8,46	90,53
BB	1	274,93	897,9
Falta de ajuste	3	131,61	3359,32
Error puro	2	289,22	225,6
R <sup>2</sup>		74,25	43,13

GL: grados de libertad

Si bien las variables del proceso no tuvieron influencia sobre el contenido de fenoles totales en las manzanas impregnadas por vacío se obtuvieron incrementos en el día de ejecución del tratamiento, mismo que se mantuvo después del tiempo de almacenamiento. En ese sentido, se sugiere que el incremento de los fenoles totales después de la aplicación de la impregnación por vacío se debe a que la miel no sólo inhibe la oxidación enzimática de los

polifenoles, sino que también convierte parte de las o-quinonas en los fenoles originales (Oszmianski y Lee, 1990). También se sabe que este tipo de reacción ocurre con la presencia de ácido ascórbico, que convierte las o-quinonas en fenoles (Robards et al., 1999; Tappi et al., 2017). Nawirska-Olszańska et al. (2020) también evaluaron la aplicación de la tecnología de impregnación al vacío sobre *chokeberry* o aronia, utilizando jugo de manzana y pera como solución osmótica, la IV fue un tratamiento antes del proceso de secado, ellos encontraron un aumento en el contenido de compuestos fenólicos (46,3-63,9%) después de la impregnación al vacío.

### ***Capacidad antioxidante***

La capacidad antioxidante para manzanas *var.* Granny Smith frescas cortadas fue de  $32,1 \pm 5,26$  mg AA  $g^{-1}$

Los resultados experimentales correspondientes a la variación relativa porcentual de la actividad antioxidante ( $\Delta CA_i$ ) en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío se presentan en la Tabla 4.46. para el día cero y después de siete días de almacenamiento a  $1,5^\circ C$ .

El resumen de ANOVA de los modelos propuestos para la variación de la capacidad antioxidante se muestra en la Tabla 4.47. El modelo  $\Delta CA_0$ , resultó adecuado sin falta de ajuste ( $p \geq 0,05$ ) explicando el 93,15% de la variabilidad de los datos.

Por su parte, la actividad antioxidante después del tiempo de almacenamiento ( $\Delta CA_7$ ) no fue influenciada por los tiempos de vacío y relajación ( $p \geq 0,05$ ). Dentro del rango experimental ensayado, se obtuvo un incremento promedio para  $\Delta CA_7 = 123,6\%$ .

**Tabla 4.46.** Variación relativa de la capacidad antioxidante (CAi) al día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C, para frutillas frescas cortadas, impregnadas por vacío a 67,7 mbar

Tratamiento	tv (min)	tr (min)	$\Delta CA_0$ (%)	$\Delta CA_7$ (%)
T1	14	7,5	174,85	28,43
T2	7,5	7,5	211,42	96,61
T3	7,5	7,5	209,63	146,33
T4	7,5	14	252,80	93,47
T5	3	3	227,18	94,82
T6	3	12	231,25	190,12
T7	1,14	7,5	207,94	57,86
T8	7,5	1,14	158,57	266,46
T9	12	3	187,51	161,75
T10	12	12	189,72	130,64
T11	7,5	7,5	194,56	92,69

**Tabla 4.47.** Análisis de varianza de los modelos obtenidos para variación de la capacidad antioxidante en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	
		$\Delta CA_0$ (%)	$\Delta CA_7$ (%)
A: tv (min)	1	2063,7*	221,8
B: tr (min)	1	2459,96*	4114,12
AA	1	93,16	4006,8
AB	1	0,86	3994,9
BB	1	49,21	9479,6
Falta de ajuste	3	2354,6	14671,1
Error puro	2	171,52	1788,23
R <sup>2</sup>		65,12	62,3

GL: grados de libertad; \*: significativo a ( $p \leq 0,05$ )

La Figura 4.21 presenta el diagrama de Pareto de  $\Delta CA_0$ , se observa que la variación de la capacidad antioxidante en el día cero fue afectada de manera positiva ( $p \leq 0,05$ ) por el término lineal tiempo de relajación (tr), es decir que a medida que aumenta el tiempo de relajación, se incrementa la capacidad antioxidante. De igual forma  $\Delta CA_0$  fue afectado por el término lineal tiempo de vacío (tv) de manera negativa, es decir que a medida que el tv aumenta, se

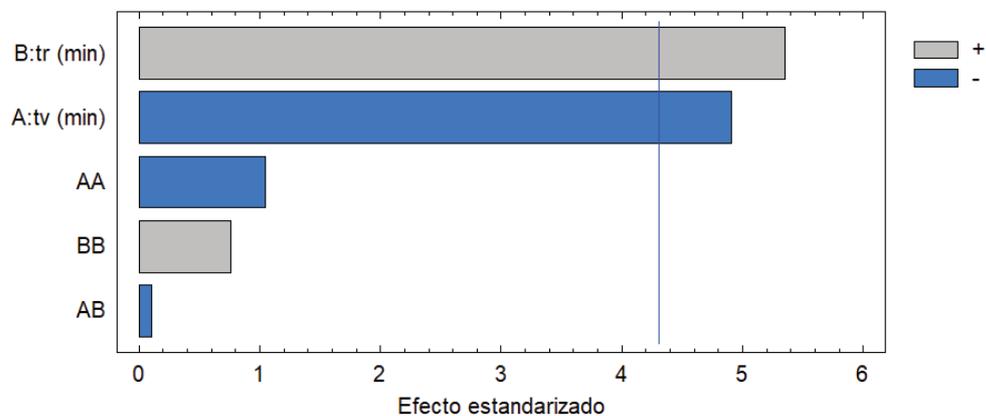
reduce la capacidad antioxidante. El modelo reducido  $\Delta CA_0$  se muestra en la Ecuación 4.35:

$$\Delta CA_0 (\%) = 201,63 - 3,54t_v + 3,9t_r \quad (4.35)$$

$\Delta CA_0$  = variación la capacidad antioxidante el día cero

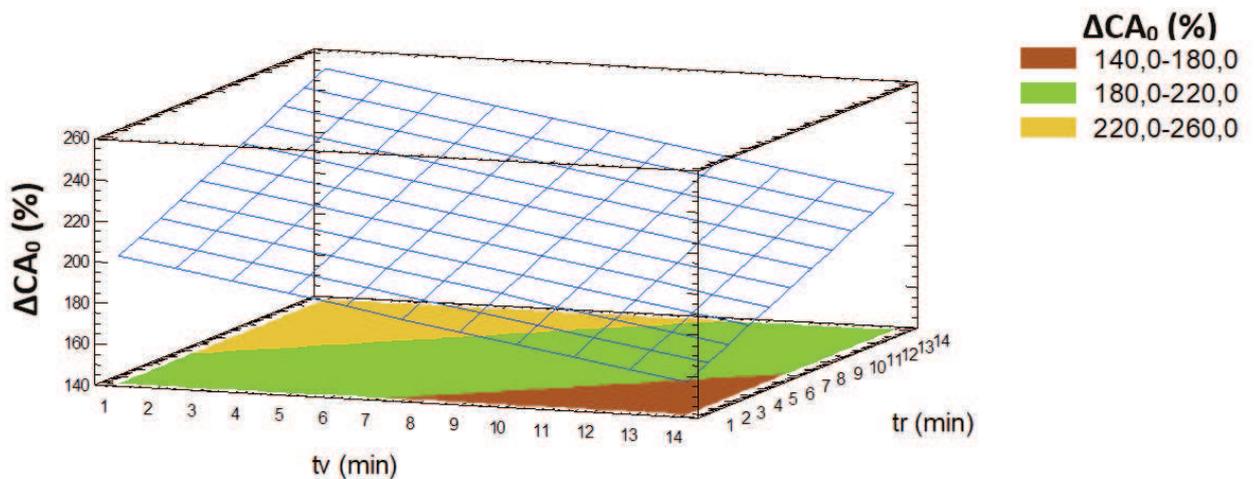
$t_v$  = tiempo de vacío (min)

$t_r$  = tiempo de relajación (min)



**Figura 4.53.** Diagrama de Pareto estandarizado para el modelo  $\Delta CA_0$ , para manzanas frescas cortadas en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío

La Figura 4.54 muestra la gráfica de superficie respuesta para la variación de la capacidad antioxidante en función del tiempo de vacío y relajación, se observa que a medida que incrementa el  $t_r$ , aumenta la capacidad antioxidante, pudiendo alcanzar un aumento de hasta 260% con un  $t_r = 14$  min; por su parte, a medida que aumenta el  $t_v$ , la capacidad antioxidante se reduce,  $t_v > 8$  min alcanzan menos incremento de la capacidad antioxidante, por debajo de 200%.



**Figura 4.54.** Superficie de respuesta y gráfica de contorno para el modelo variación relativa porcentual de la capacidad antioxidante ( $\Delta CA_0$ ) en función del tiempo de vacío y tiempo de relajación, de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío a 67,7 mbar en el día cero,

Santarelli et al. (2020) estudiaron la aplicación de la impregnación por vacío como pre tratamiento a la congelación de manzanas frescas cortadas *var.* Golden Delicious orgánicas y convencionales, los investigadores emplearon una solución osmótica de jugo de limón orgánico,  $P = 738$  mbar,  $t_v = 10$  s,  $t_r = 60$  s. Ellos encontraron que la SO generó aumento en la capacidad antioxidante en las frutas impregnadas por vacío antes de la congelación, los incrementos fueron del 10% y 13% para manzanas orgánicas y convencionales, respectivamente. La incorporación del jugo de limón y sus compuestos antioxidantes (por ejemplo, flavonoides, ácido cítrico) en la manzana después de la IV puede explicar este resultado. Este hecho concuerda con el comportamiento observado en la presente tesis, en donde se consiguió incorporar Vitamina C y compuestos fenólicos que puede producir el aumento de la actividad antioxidante. Al reemplazar los valores de  $t_v$  y  $t_r$  empleados por Santarelli et al. (2020) en la ecuación 4.35 de la presente tesis, correspondiente al modelo reducido  $\Delta CA_0$ , se obtuvo un incremento del 205,0% en la capacidad antioxidante, valor que se relaciona con lo observado y descrito en la gráfica de superficie de respuesta y contornos (Figura 4.56).

Por su parte Yılmaz et al. (2017) estudiaron el enriquecimiento de manzanas frescas cortadas, con colorante natural de zanahoria negra concentrado mediante impregnación al vacío, empleando una  $P= 281,31$  mbar,  $t_v= 3$  min,  $t_r= 20$  min y encontraron incremento de la capacidad antioxidante en las manzanas tratadas con la SO que contenía el concentrado de zanahoria negra a diferentes concentraciones, por otro lado, la SO sin adición del concentrado tuvo disminución en la actividad antioxidante. Los autores indicaron que, el tejido de la manzana podría enriquecerse con el colorante gracias a la IV, lo cual se ve reflejado en los cambios en las propiedades en términos de textura, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Por otro lado, Cortez-Latorre et al. (2021), impregnaron por vacío cubos de manzana, empleando los mismos tiempos de vacío, relajación y presión que la presente tesis, con una solución osmótica de sacarosa a 30° Brix con adición del 1% de ácido cítrico y 1% de ácido ascórbico. Encontraron que el  $t_v$  y  $t_r$  tuvieron influencia sobre la variación de la capacidad antioxidante a medida que  $t_v$  y  $t_r$  incrementaron, la capacidad antioxidante aumentaba, pudiendo alcanzar aumentos del 120%. Respecto a ello, Faicán et al. (2022) encontraron incremento de la capacidad antioxidante de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío ( $P= 67,7$  mbar,  $t_v= 14$  min,  $t_r= 7,5$  min) usando una solución osmótica de miel con y sin adición de ácido cítrico y ácido ascórbico y obtuvieron incrementos de la actividad antioxidante entre 15-23% siendo la más alta aquella que tenía mayor concentración de ácidos en la solución. Al remplazar el valor de  $t_v$  y  $t_r$  de Faicán et al. (2022) en la ecuación 4.35 de la presente tesis se obtuvo un incremento del 178,5% de la capacidad antioxidante, valor cercano al obtenido en la tesis.

Gonzalez-Perez et al. (2022) investigaron el efecto de la presión y el tiempo en la impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas empleando una solución osmótica de jugo de uva concentrado, con una  $P= 130,66-663,94$  mbar,  $t_v= 10, 20$  y 30 min,  $t_r= 5$  min, con soluciones hipertónicas de 40, 50 y 60° Brix en todos los casos se obtuvieron incrementos, ellos indicaron que extender el tiempo de impregnación mejora la ganancia de sólidos y como consecuencia,

aumenta la concentración de compuestos bioactivos en el producto. De la misma manera, los autores observaron que una de las principales ventajas de usar jugo concentrado como agente osmótico es que se evita una pérdida significativa de componentes bioactivos en el producto impregnado, dado que algunos autores han informado la fuga de compuestos bioactivos al usar jugo o soluciones diluidas con compuestos bioactivos como agentes osmóticos en los procesos de IV.

#### **4.2.1. Optimización de respuestas múltiples y validación de los modelos predictivos en manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío.**

Una vez realizado el análisis de los datos correspondientes al diseño se determinaron las condiciones óptimas del proceso de impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas, en ese caso se utilizó la metodología de optimización de respuestas múltiples a través de la función de deseabilidad de Derringer. Las respuestas consideradas para el proceso de optimización fueron:

**SG (%)**= ganancia de sólidos

**WL (%)**= pérdida de agua

**WR (%)**= reducción de peso

**$\Delta SS_0$  (%)**= variación porcentual de sólidos solubles en el día cero

**$\Delta F_0$  (%)**= Variación porcentual de firmeza día cero

**$\Delta a^*_0$  (%)**= Variación porcentual del parámetro de color  $a^*$  en el día cero

**$\Delta E^*_0$** = Diferencia total de color en el día cero

**$\Delta AcC_0$  (%)**= Variación porcentual del contenido de ácido clorogénico

**$\Delta VC_0$  (%)**= Variación porcentual del contenido de vitamina C en el día cero

**$\Delta CA_0$  (%)**= Variación porcentual de la capacidad antioxidante en el día cero

La optimización de respuestas múltiples tuvo como objetivo encontrar las mejores condiciones de  $t_v$  y  $t_r$  para mejorar el aporte de compuestos bioactivos de las manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío preservando el potencial saludable y la vida útil, se buscó retrasar el pardeamiento del producto y mejorar las propiedades sensoriales.

Los parámetros de transferencia de masa tales como ganancia de sólidos, pérdida de agua y reducción de peso son importantes en el proceso de impregnación por vacío, la ganancia de sólidos va relacionada con la incorporación de los sólidos presentes en la solución osmótica (compuestos bioactivos, vitaminas, ácidos, etc.). Durante el proceso de impregnación se genera un intercambio sólido-líquido, en ese sentido la pérdida de agua es un parámetro de importancia, para la obtención de un producto mínimamente procesado se busca que no exista una pérdida de agua representativa y así se conserven los atributos de fruta fresca, la reducción de peso relaciona los parámetros descritos anteriormente (SG, WL), en consecuencia, se busca obtener una reducción de peso mínima y así mantener las características de la fruta.

Al emplear una solución osmótica hipertónica en el proceso se buscó incrementar el contenido de sólidos solubles para que la manzana sea más dulce y por tanto más atractiva sensorialmente, respecto a ello, el uso de una solución osmótica de miel más adición de ácidos tenía el propósito de actuar como antioxidante y evitar cambios indeseables en los parámetros de color. La textura también es un atributo sensorial relevante ya que determina la aceptabilidad del producto por parte del consumidor, por ello la determinación de la firmeza es fundamental. Por otro lado, la adición de Vitamina C en la SO permite incorporar este compuesto nutricional y mejorar el aporte de compuestos bioactivos, de la misma manera, los procesos de impregnación generan cambios en los compuestos fenólicos presentes en la fruta, se busca mantener dichos compuestos o a su vez que se produzca un incremento.

Los criterios de optimización se presentan en la Tabla 4.48. Se maximizó la SG, ya que se busca incorporar solutos de la SO en la fruta se minimizó la WL y

WR. Se maximizó el contenido de SS con la finalidad de mejorar el dulzor de la fruta. Se estableció como objetivo para F el valor de -3% ya que es el valor mínimo de pérdida de firmeza alcanzado en las experiencias ejecutadas, se le ha dado una importancia relativa mayor dado que se buscaba obtener un producto con características similares a la fruta fresca, lo mismo ocurrió con el parámetro  $a^*$ , que tuvo mayor ir dado que se buscaba evitar cambios en el color, en ese aspecto, se minimizó la diferencia total de color. Por otro lado, con el objetivo de mejorar el potencial bioactivo del producto, se maximizó el contenido de vitamina C, el contenido de ácido clorogénico y la capacidad antioxidante.

**Tabla 4.48.** Criterios de optimización para la aplicación de la tecnología de impregnación por vacío en manzanas frescas cortadas

Respuesta	Función objetivo	Límite inferior	Límite superior	Peso inferior	Peso superior	ir
SG	Maximizar	1,52	3,46	1	1	3
WL	Minimizar	0,18	3,6	1	1	3
WR	Minimizar	-2,00	1,05	1	1	3
$\Delta SS_0$	Maximizar	13,92	27,23	1	1	3
$\Delta F_0$	Objetivo=-3	-9,37	-3,03	1	1	4
$\Delta a^*_0$	Objetivo= 0,0	-18,45	36,92	1	1	4
$\Delta E^*_0$	Minimizar	3,15	7,59	1	1	3
$\Delta VC_0$	Maximizar	1448,15	3942,95	1	1	3
$\Delta AcC_0$	Maximizar	50,51	109,45	1	1	4
$\Delta CA_0$	Maximizar	158,57	252,8	1	1	3

ir: importancia relativa que varía desde la menor importancia =1 hasta la más importante= 5. Peso= define la forma de la función de deseabilidad para cada respuesta y varía desde 0,1 hasta 10; los pesos mayores corresponden a las respuestas más importantes. Se eligió un factor de peso de 1 para todas las deseabilidades de la presente tesis. SG= ganancia de sólidos, WL= pérdida de agua, WR= reducción de peso,  $\Delta SS$ = variación de sólidos solubles,  $\Delta F$ = variación de firmeza,  $\Delta a^*$ = variación del parámetro de color  $a^*$ ,  $\Delta E^*$ = diferencia total de color,  $\Delta VC$ = variación de vitamina C,  $\Delta AcC$ = variación de ácido clorogénico,  $\Delta CA$ = variación de capacidad antioxidante

A través de la función de deseabilidad se estimaron las condiciones óptimas de proceso para alcanzar las metas establecidas: tiempo de vacío= 5,74 min y tiempo de relajación= 6,84 min, obteniendo un valor de deseabilidad= 0,63.

Se ejecutó la validación de los modelos bajo las condiciones óptimas de tv y tr obtenidas mediante la optimización de respuestas múltiples, la Tabla 4.49 muestra los valores predichos y experimentales para las respuestas consideradas en la evaluación.

**Tabla 4.49.** Valores predichos y experimentales para manzanas frescas cortadas frescas cortadas impregnadas bajo condiciones óptimas (tv=5,74 min, tr= 6,84 min).

<b>Respuesta</b>	<b>Predicho (%)</b>	<b>Inferior* (%)</b>	<b>Superior* (%)</b>	<b>Experimental (%)</b>
SG	2,32	1,52	3,46	2,81±0,184
WL	1,14	0,18	3,60	2,12±0,712
WR	-1,09	-2,0	1,05	-0,70±0,540
$\Delta SS_0$	17,85	13,92	27,23	25,45±5,47
$\Delta F_0$	-3,79	-9,37	-3,03	-13,95±4,75
$\Delta a^*_0$	15,16	-18,45	36,92	31,14±0,50
$\Delta VC_0$	2639,87	1448,15	3942,95	8138,45±1980,29
$\Delta AcC_0$	104,27	50,51	109,45	151,02±16,35
$\Delta CA_0$	210,27	158,57	252,80	223,51±34,14
$\Delta E^*_0$	4,45	3,15	7,59	4,83±1,30

En cuanto a los valores experimentales obtenidos en la validación de los modelos empleando las condiciones óptimas: tv= 5,74min y tr= 6,84 min, la mayoría de ellos, excepto el contenido de vitamina C y el contenido de ácido clorogénico, se encuentran dentro de los intervalos de confianza, como consecuencia, se aceptan los modelos obtenidos. Por otro lado  $\Delta VC_0$  y  $\Delta AcC_0$  tuvieron incrementos superiores a lo esperado, situación que es beneficiosa en

cuanto a la mejora del potencial saludable producto que debe consumirse para no superar la ingesta diaria recomendada para Vitamina C.

La Tabla 4.50 muestra los resultados correspondientes a las respuestas que no se consideraron para la optimización de respuestas múltiples pero que fueron evaluadas bajo las condiciones óptimas de proceso.

**Tabla 4.50.** Resultados promedio obtenidos para las respuestas que no fueron consideradas para la optimización del proceso de impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas.

<b>Respuesta</b>	<b>Día cero</b>	<b>Día siete</b>
$\Delta$ SS	25,5	30,9
$\Delta$ pH	-12,3	-7,5
$\Delta$ F	-13,9	-22,7
$\Delta$ L*	-6,1	-10,5
$\Delta$ a*	31,1	-58,7
$\Delta$ b*	18,0	27,3
$\Delta$ C* <sub>ab</sub>	16,8	27,9
$\Delta$ h <sub>ab</sub>	0,7	-2,6
$\Delta$ VC	8138,5	7178,8
$\Delta$ AcC	151,0	60,1
$\Delta$ Cat	707,8	220,6
$\Delta$ Ep	121,1	46,1
$\Delta$ Ka	-31,2	14,9
$\Delta$ FT	9,61	-41,3
$\Delta$ CA	223,8	49,5
$\Delta$ E*	4,0	9,8

$\Delta$ SS= variación de sólidos solubles (%);  $\Delta$ pH= variación del pH(%);  $\Delta$ F= variación de firmeza (%);  $\Delta$ L\*, $\Delta$ a\*, $\Delta$ b\*,  $\Delta$ C\*<sub>ab</sub>,  $\Delta$ h<sub>ab</sub> = variación de los parámetros de color(%);  $\Delta$ E\*= diferencia total de color,  $\Delta$ AT= variación del contenido de vitamina C (%);  $\Delta$ AcC= variación de ácido clorogénico (%);  $\Delta$ Cat= variación de catequina (%);  $\Delta$ Ep= variación de epicatequina (%);  $\Delta$ Ka= variación de kaempferol (%);  $\Delta$ FT= variación del contenido de fenoles totales (%);  $\Delta$ CA= variación de la capacidad antioxidante (%); Var= función de las variables del proceso.

#### **4.2.2. Calidad microbiológica de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío bajo condiciones óptimas de procesamiento**

Los resultados correspondientes a los recuentos microbiológicos para las manzanas frescas cortadas sin aplicación del tratamiento de impregnación por vacío fueron: 3,21 Log UFC g<sup>-1</sup> para aerobios mesófilos totales (AMT), 1,84 Log UFC g<sup>-1</sup> para psicrótrofos totales (PT) y 1,39 Log UFC g<sup>-1</sup> para mohos y levaduras (MyL). En cuanto a AMT y PT, los recuentos obtenidos se encuentran por encima de aquellos reportados por Rodríguez-Arzuaga (2015), no así para MyL en donde se obtuvieron valores similares para manzanas frescas de la variedad *Granny Smith*. Los resultados para las manzanas impregnadas por vacío en el día cero tuvieron incrementos en AMT obteniéndose diferencias significativas respecto a la FF, en cuanto a PT y MyL los resultados fueron iguales a la fruta sin tratar, se obtuvieron recuentos para FT<sub>0</sub>= 4,14; 1,15 y 3,15 Log UFC g<sup>-1</sup> para AMT, PT y MyL, respectivamente.

En cuanto a los resultados obtenidos después del tiempo de almacenamiento, en comparación con la fruta fresca sin tratar, se obtuvieron diferencias para PT y MyL, encontrándose incrementos en sus valores respecto de la FF, se obtuvieron valores de: 3,00 y 2,80 Log UFC g<sup>-1</sup> para PT y MyL, respectivamente, no se presentaron cambios para AMT, el valor obtenido fue 2,83 Log UFC g<sup>-1</sup>. Estos resultados están de acuerdo con aquellos obtenidos por Abadias et al. (2007) en ensaladas de frutas expandidas en establecimientos minoristas, encontraron resultados para AMT en un rango entre 2 - 7,1 Log UFC g<sup>-1</sup>; PT= 1,7-7,1 Log UFC g<sup>-1</sup> y MyL= 1,7-4,9 Log UFC g<sup>-1</sup>. Por su parte se puede decir que todos los recuentos obtenidos para el día cero, así como después del almacenamiento, se encuentran dentro del criterio microbiológico para productos frescos cortados (< 6 Log UFC g<sup>-1</sup>) reportados por Pirovani et al. (2006).

### **4.2.3. Calidad sensorial de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío bajo las condiciones óptimas de procesamiento**

Los resultados del ANOVA correspondiente al análisis sensorial descriptivo cuantitativo de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C bajo condiciones de tiempo de vacío y tiempo de relajación óptimas ( $t_v = 5,74$  min;  $t_r = 6,84$  min), se presentan en la Tabla 4.51.

**Tabla 4.51.** Resultados promedio del análisis sensorial descriptivo para manzanas frescas sin tratar y manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución de los tratamientos y después de 7 días de almacenamiento a 1,5 °C.

Término descriptor	Muestras		
	FF	FT <sub>0</sub>	FT <sub>7</sub>
Olor típico	3,4±2,29 <sup>a</sup>	2,3±0,82 <sup>a</sup>	2,7±2,56 <sup>a</sup>
Olor a miel	1,3±2,52 <sup>b</sup>	5,3±2,40 <sup>a</sup>	3,7±2,53 <sup>ab</sup>
Olor extraño	1,9±2,61 <sup>a</sup>	0,9±1,59 <sup>a</sup>	1,9±2,58 <sup>a</sup>
Apariencia	5,0±1,12 <sup>b</sup>	7,1±0,92 <sup>a</sup>	6,5±1,11 <sup>a</sup>
Pardeamiento	3,1±2,17 <sup>a</sup>	0,7±0,51 <sup>b</sup>	2,0±1,63 <sup>ab</sup>
Humedad superficial	2,5±1,28 <sup>b</sup>	4,7±2,10 <sup>a</sup>	6,2±1,04 <sup>a</sup>
Textura	8,1±1,33 <sup>a</sup>	7,3±1,23 <sup>a</sup>	5,3±1,59 <sup>b</sup>
Jugosidad	5,9±1,21 <sup>a</sup>	5,9±1,16 <sup>a</sup>	6,1±1,31 <sup>a</sup>
Dulzor	4,2±1,49 <sup>a</sup>	5,7±1,80 <sup>a</sup>	4,6±1,47 <sup>a</sup>
Gusto ácido	5,1±1,70 <sup>a</sup>	3,7±1,21 <sup>a</sup>	5,1±1,58 <sup>a</sup>
Sabor típico	7,1±0,57 <sup>a</sup>	4,9±1,95 <sup>ab</sup>	4,6±2,06 <sup>b</sup>
Sabor a miel	0,5±2,62 <sup>b</sup>	4,3±2,62 <sup>a</sup>	4,7±1,64 <sup>a</sup>
Sabor extraño	0,5±0,54 <sup>b</sup>	0,4±0,52 <sup>b</sup>	1,7±1,56 <sup>a</sup>

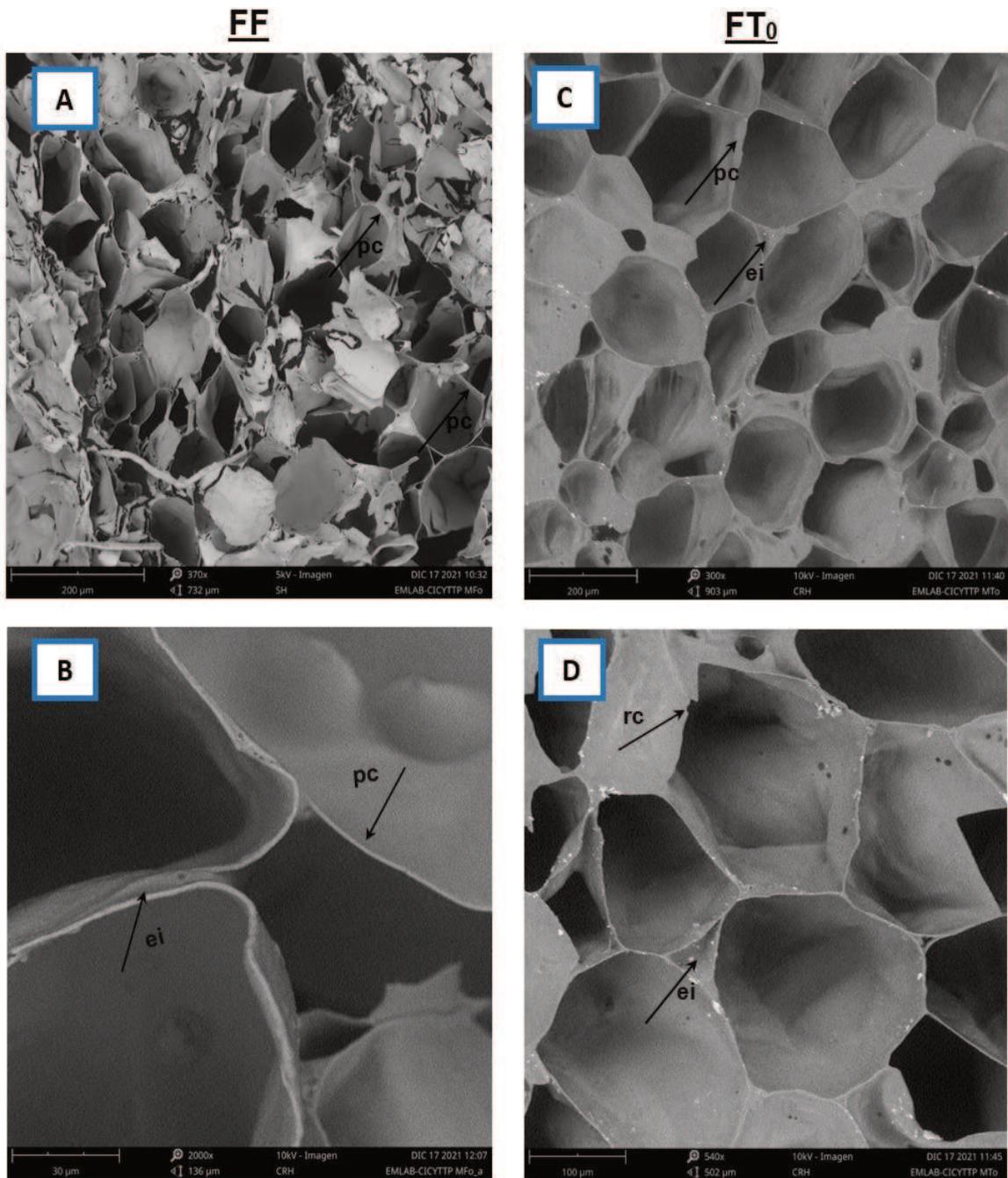
Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre muestras determinadas por el test de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). FF= manzanas frescas cortadas, FT<sub>0</sub>= manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día cero, FT<sub>7</sub>= manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío después del almacenamiento por 7 días a 1,5°C.

Se obtuvieron diferencias significativas para los descriptores: olor a miel, apariencia, pardeamiento, humedad superficial, textura, sabor típico, sabor a miel y sabor extraño. En cuanto al descriptor olor a miel, la FT<sub>0</sub> y FT<sub>7</sub> difieren de FF, el olor a miel es más “intenso” en las frutas tratadas. Respecto a la apariencia, FT<sub>0</sub> y FT<sub>7</sub> presentan mejor puntuación que la FF. El pardeamiento es

igual para FF y FT<sub>7</sub>, sin embargo, la FT<sub>0</sub> presenta un pardeamiento más “leve”, se observa humedad superficial diferente en las frutas tratadas respecto a la FF, estas son más húmedas que la fruta sin tratar. Respecto a la textura, no se presentaron cambios de FT<sub>0</sub> respecto a la FF, sin embargo, después del almacenamiento las manzanas fueron menos firmes en relación a la FF. En lo que concierne al sabor, FF y FT<sub>0</sub> son iguales, sin embargo, al día siete el sabor típico es menos perceptible, el mismo comportamiento ocurre en cuanto a la presencia de un sabor extraño, es más intenso en la fruta tratada después del tiempo de almacenamiento y finalmente se presenta sabor a miel en FT<sub>0</sub> y FT<sub>7</sub>, en el caso de FF esa sensación es casi nula.

#### **4.2.4. Análisis de imágenes del tejido vegetal**

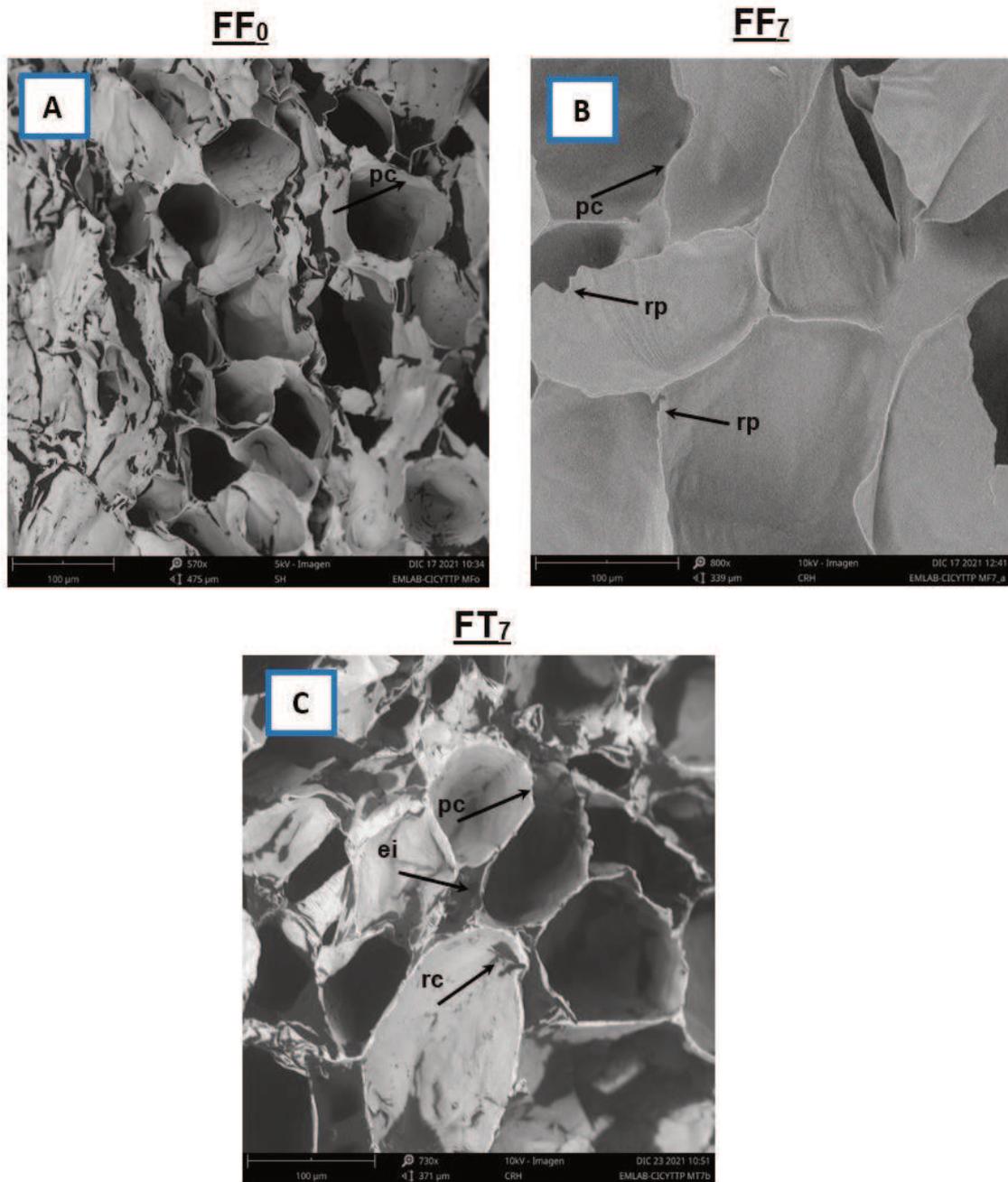
La Figura 4.55 presenta las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido para manzanas frescas cortadas y manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en el día de ejecución del tratamiento de impregnación, bajo diferentes magnificaciones.



**Figura 4.55.** Micrografías electrónicas de barrido de la superficie de: A) manzana fresca cortada (Magnificación: 370x; voltaje: 5kV). B) manzana fresca cortada impregnada por vacío en el día de ejecución del tratamiento (Magnificación: 2000x; voltaje: 10kV). C) manzana fresca cortada (Magnificación: 300x; voltaje: 10kV) D) manzana fresca cortada impregnada por vacío en el día de ejecución del tratamiento (Magnificación: 540x; voltaje: 10kV). **FF**= fruta fresca cortada, **FT<sub>0</sub>**= fruta impregnada por vacío en el día cero, **pc**= pared celular, **ei**= espacio intercelular, **rc**= ruptura celular

Las manzanas frescas sin tratar presentan células de diferentes tamaños, algunas más alargadas que otras y se observa que las células tienen un buen nivel de compartimentación (A) asimismo se reconoce un espacio intercelular pequeño (B), por su parte, la fruta impregnada por vacío presenta células más uniformes entre ellas, en cuanto al tamaño sin embargo los espacios intercelulares son más grandes (C,D), por su parte, en las frutas tratadas por impregnación por vacío (C y D) se observa mayor extensión de las paredes celulares. Se reconoce rupturas de la pared celular en la manzana tratada y se puede observar de mejor forma con una mayor magnificación (D). Los resultados obtenidos en la presente tesis y que se muestran en las microscopías indican que existen diferencias en la microestructura de la fruta fresca sin tratar y la fruta impregnada por vacío en el día de ejecución del tratamiento, observándose deformación de la pared, celular, aumento del tamaño de los espacios intercelulares y ruptura de la pared celular como consecuencia de la IV, estos cambios se ven reflejados en la textura del producto, en donde se produjo disminución de la firmeza de aproximadamente -14,0% bajo las condiciones óptimas de proceso (Tabla 4.49). En ese sentido, Deng y Zhao (2008) indicaron que el colapso de los tejidos de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío, se debió a la pérdida de agua y captación de sólidos, asimismo indicaron que la deformación de los espacios celulares en la fruta tratada es una consecuencia del ingreso solutos dentro de la pared celular y los espacios intercelulares. De igual forma, bajo las condiciones de vacío, el gas removido del tejido afecta la presión en el interior de los poros de modo que la SO ingresa en los tubos capilares basado en el mecanismo hidrodinámico, aumentando así el área de superficie interfacial. Este intercambio estuvo asociado a la relajación de la red celular. Por su parte, Barat et al. (1999) encontraron que la pérdida de agua resultó en la contracción del plasmalema junto con la pared celular, durante el tratamiento osmótico o en la separación de ambos elementos celulares al aplicar la presión de vacío en línea con el llenado de la cavidad celular con la solución osmótica.

La Figura 4.56 muestra las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido para muestras de manzanas frescas cortadas sin tratamiento en el día cero, así como manzanas sin tratar e impregnadas por vacío después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C.



**Figura 4.56.** Micrografías electrónicas de barrido de la superficie de: A) manzana fresca cortada del día cero (Magnificación: 570x; voltaje: 5kV). B) manzana fresca cortada del día siete (Magnificación: 800x; voltaje: 5kV). C) frutilla fresca cortada impregnada por vacío en el día siete (Magnificación: 730x; voltaje: 10kV). **FF<sub>0</sub>**= fruta fresca cortada, **FF<sub>7</sub>**= fruta fresca cortada en el día siete, **FT<sub>7</sub>**= fruta impregnada por vacío en el día siete, **pc**= pared celular, **ei**= espacio intercelular, **rc**= ruptura celular, **rp**= ruptura de pared celular

Las micrografías de la Figura 4.56 muestran diferencias entre la fruta fresca sin tratar en el día cero y la fruta fresca, así como la fruta tratada, las dos últimas almacenadas por siete días a 1,5°C. La FF<sub>7</sub> muestra ruptura de la pared celular (B), mientras que la fruta tratada al día siete presenta ruptura tanto de la pared celular, así como de la célula (C). La FT<sub>7</sub> presenta descompartmentalización de las células, así como deformación, todas las paredes celulares muestran ruptura. Los resultados se traducen en disminución de la firmeza como consecuencia de la aplicación de la impregnación por vacío, como se puede observar en la Tabla 4.49 en donde la pérdida bajo las condiciones óptimas de tv y tr fue de 22,73%, pérdida que fue 1,7 veces mayor a aquella obtenida en el día cero. Respecto a ello, Faican et al. (2022) encontraron diferencias en la firmeza entre los días cero y siete en manzanas frescas cortadas impregnadas con una SO de miel a 30°Brix , con P= 67,7 mbar, la pérdida al día cero fue de 5 a 6 veces mayor que la obtenida en el día cero, ellos indicaron que la pérdida de firmeza del tejido mínimamente procesado ocurre como respuesta al daño inducido, dado que esto incrementa las enzimas que se dirigen a la pared celular y a las membranas en respuesta al daño. Como se indicó anteriormente para el caso de las frutillas y basado en lo expuesto por Huber et al. (2001) quienes indicaron que la degradación de la textura en el tejido de los mínimamente procesados puede ocurrir como una respuesta al daño inducido, ya que hallaron una disminución significativa y rápida de la firmeza en papaya fresca cortada, respecto a fruta fresca intacta almacenada bajo las mismas condiciones.

## 5. CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

A) Mediante el proceso de impregnación por vacío en frutillas frescas cortadas se incorporaron antocianinas al emplear una solución osmótica de jugo natural de frutilla; los tiempos de vacío y relajación jugaron un rol importante en esta respuesta, generándose incrementos favorables, en pelargonidin 3-O-glucósido. De la misma forma, la adición del 1% de ácido ascórbico en la solución osmótica favoreció el aumento de la vitamina C en las frutillas tratadas, en ese caso, el tiempo de vacío tuvo influencia sobre dicho incremento. A partir de estos resultados se puede inferir que el proceso de impregnación por vacío es una buena alternativa para reponer y/o incrementar el aporte de compuestos bioactivos y permite obtener un producto potencialmente saludable.

Se desarrollaron modelos predictivos por medio de la metodología de superficie de respuesta para representar los cambios en los diferentes atributos durante la impregnación por vacío (IV) en frutillas frescas cortadas, empleando una solución osmótica isotónica de jugo natural de frutilla con adición del 1% de ácido cítrico y 1% de ácido ascórbico con una presión de vacío de 67,7 mbar variando los tiempos de vacío ( $t_v$ ) y de relajación ( $t_r$ ) entre 1,14 a 14 min. De las respuestas propuestas, se pudieron obtener modelos predictivos para ganancia de sólidos (SG), variación de la firmeza (F), variación del contenido de antocianinas totales (AT), variación de pelargonidin 3-O-glucósido (P3G), variación del contenido de fenoles totales (FT) y variación en la capacidad antioxidante (CA) en el día de ejecución del tratamiento de impregnación por vacío (día 0), así como también variación del contenido de vitamina C (VC) en el día 0 y después de 7 días de almacenamiento.

En general se puede concluir que:

- En el día de ejecución del tratamiento de IV con cualquier condición del proceso ( $t_v$  y  $t_r$  entre 1,14 y 14 min) se obtuvo ganancia de agua

y ganancia de peso (valores negativos), reducción de los sólidos solubles, pH y firmeza.

- Las frutillas impregnadas fueron más claras que la fruta cortada sin procesar y con un croma más vívido, pero menos rojas en el día cero, sin embargo, en el día 7 la fruta fue más roja.
- Respecto al potencial saludable, se produjo incremento en el contenido de antocianinas totales después del almacenamiento y aumentos en las principales antocianinas presentes en las frutillas: pelargonidin 3-O-glucósido en el día 7, cianidin 3-O-glucósido, pelargonidin 3-O-rutinosido en los días cero y siete. El contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante presentaron en promedio, aumento después del almacenamiento.

A través de la optimización de respuestas múltiples se encontraron las condiciones de tiempo de vacío (tv) y tiempo de relajación (tr) óptimas para la impregnación por vacío de frutillas frescas cortadas (tv = 5,8 min, tr= 14 min). En estas condiciones operativas, se logran coincidentemente incrementos en el contenido de antocianinas totales, pelargonidin 3-O-glucósido, contenido de vitamina C, fenoles totales y capacidad antioxidante, por lo tanto, se puede decir que el potencial bioactivo del producto mejoró después de aplicar la IV bajo las condiciones óptimas.

Las frutillas impregnadas presentaron características sensoriales similares a la fruta fresca sin tratar. Después del almacenamiento, se observó moderado olor y sabor extraño en la fruta, manteniéndose el resto de los atributos.

Las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido nos permitieron observar deterioro en la microestructura de las frutillas impregnadas por vacío, mismas que fueron más evidentes después del tiempo de almacenamiento, lo cual concuerda con la disminución de firmeza obtenida.

En general, respecto a los resultados obtenidos se pudo demostrar que la impregnación por vacío con una solución osmótica isotónica de jugo natural

de frutilla más la adición de ácido ascórbico y ácido cítrico, permitió obtener un producto listo para el consumo con mayor aporte de compuestos bioactivos que la fruta sin tratar ya que se consiguió reponer e incrementar el contenido de antocianinas y vitamina C perdidas en operaciones previas de mínimo procesamiento tales como corte, lavado y desinfección. En ese sentido, los valores de vitamina C en la fruta después del almacenamiento continuaron siendo superiores a la fruta fresca sin tratar, haciendo de este un producto potencialmente saludable con una calidad microbiológica satisfactoria. Sin embargo, algunas propiedades sensoriales tuvieron cambios significativos, después del almacenamiento. En este sentido, se podría buscar definir un tiempo de almacenamiento inferior al planteado en la presente tesis con el objetivo de generar menores cambios.

B) En cuanto a los resultados de manzanas, se puede concluir que el proceso de impregnación por vacío con una solución osmótica a base de miel, con adición de ácido ascórbico y cítrico permite incrementar el contenido de vitamina C y compuestos fenólicos. Las variables estudiadas (tiempo de vacío y relajación) generaron un impacto beneficioso sobre el potencial bioactivo de la fruta tratada. Los compuestos fenólicos ácido clorogénico, catequina y kaempferol presentaron cambios significativos en función de la aplicación de la IV. Por otra parte, la aplicación de una solución de miel produjo reducción de los valores de  $L^*$  debido a la tonalidad intensa y rojiza de la miel en la manzana de color claro.

Se desarrollaron modelos predictivos por medio de la metodología de superficie de respuesta para representar los cambios generados en los atributos durante la impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas con una solución osmótica hipertónica de miel a 30°Brix con adición del 0,5% de ácido cítrico y 0,5% de ácido ascórbico usando una presión de vacío de 67,7 mbar y variando los tiempos de vacío y de relajación entre: 1,14 min a 14 min. De las respuestas propuestas se obtuvieron modelos predictivos para ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL), reducción de peso (WR), variación del contenido de sólidos solubles (SS), variación del parámetro de

color  $a^*$ , diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ), variación en el contenido de ácido clorogénico (AcCl), variación del contenido de vitamina C (VC) y variación de la capacidad antioxidante (CA) en el día 0.

En general se puede concluir que:

- Las manzanas impregnadas por vacío bajo cualquier condición de proceso ( $t_v$  y  $t_r$  entre 1,14 y 14 min), presentaron disminución del pH, pérdida de la luminosidad, manzanas más amarillas y con un color más vívido en el día 0 y en menor medida después del almacenamiento.
- Respecto al potencial saludable, se logró incremento en el contenido de diferentes compuestos fenólicos: catequina y epicatequina en el día 0 así como ácido clorogénico, epicatequina y kaempferol en el día 7. Los aumentos pueden atribuirse a una respuesta al estrés relacionado a los fenómenos de deformación y transferencia de masa generados en la IV, así como también a la acción de la miel que convierte parte de las o-quinonas en fenoles. También aumentó el contenido de Vitamina C y la capacidad antioxidante después del almacenamiento se mantuvo dicho incremento.

A través de la optimización de respuestas múltiples, se encontraron las condiciones de tiempo de vacío y tiempo de relajación óptimas para la impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas. ( $t_v = 5,74$  min,  $t_r = 6,84$  min). Bajo estas condiciones operativas se consiguió ganancia de sólidos, incremento de peso, aumento de los sólidos solubles, aumento en el contenido de vitamina C, ácido clorogénico y capacidad antioxidante, en ese sentido se puede indicar que las manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío en condiciones óptimas, presentaron un potencial bioactivo mejorado.

En cuanto a la calidad sensorial inicial, la manzana impregnada presentó características sensoriales similares a la fruta fresca sin tratar, diferenciándose principalmente por el olor y sabor a miel. Luego de los 7 días de almacenamiento, la calidad sensorial de la fruta tratada evidencio el

desarrollo de leve olor y sabor extraño, manteniendo el resto de sus parámetros de calidad.

Las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido nos permitieron observar diferencias entre fruta fresca y tratada, presentándose alteraciones de la microestructura en la fruta impregnada, mismas que se traducen en la pérdida de firmeza obtenida, sobre todo después del almacenamiento por 7 días a 1,5°C.

En base a los resultados obtenidos se pudo evidenciar que la impregnación por vacío de manzanas frescas cortadas con una solución osmótica hipertónica de miel con adición de ácido cítrico y ascórbico, permitió obtener un producto listo para el consumo, con atributos potencialmente saludables mejorados debido a la incorporación de compuestos bioactivos como vitamina C y compuestos fenólicos, y con aumento de la capacidad antioxidante, cuyos valores se mantuvieron por encima de la fruta sin tratar después del almacenamiento, el producto presentó mayor contenido de sólidos solubles, con olor y sabor a miel con una calidad microbiológica satisfactoria, aunque por otro lado su microestructura y propiedades mecánicas fueron afectadas, lo cual se proyectó en la pérdida de firmeza como resultado de la aplicación de la IV.

- C) El hecho que los nuevos datos experimentales obtenidos en los ensayos de validación estén dentro del rango de los valores predichos por los modelos para frutillas y manzanas permiten concluir que los modelos son robustos estadísticamente y pueden usarse para predecir procesos de IV con otros requerimientos u objetivos.

Respecto a la calidad microbiológica se puede indicar que los recuentos microbiológicos para mesófilos totales, psicrotrofos totales, mohos y levaduras, se mantuvieron dentro de los valores aceptables dentro del criterio microbiológico correspondiente a productos frescos cortados tanto en el día cero y después de 7 días de almacenamiento a 1,5°C en las dos matrices frutales estudiadas

D) En la presente tesis se obtuvieron diferentes valores de  $t_v$  y  $t_r$  óptimos, para cada una de las matrices frutales empleadas, usando diferentes soluciones osmóticas. En ese sentido, es importante destacar las diferencias en la incorporación de solutos presentes en la SO en el interior de la matriz frutal; el comportamiento de cada una de ellas es diferente, debido a las características morfológicas y estructurales, así como también por la solución osmótica y su concentración. En frutillas se generó menor SG, menor incremento de SS y mayor pérdida de firmeza en relación a los resultados obtenidos para manzanas cuya SG e incremento de SS fue mayor. Dichas diferencias se deben en primer lugar a la estructura y también a la concentración de la solución, como se indicó anteriormente, respecto a ello se debe considerar que la porosidad de la manzana supera en aproximadamente 4 veces a la frutilla, por lo que existe mayor fracción volumétrica para ser llenada por la SO y de la misma forma se genera menor pérdida de turgencia celular en relación a la frutilla, lo que conlleva diferentes cambios en las propiedades microestructurales y mecánicas de los productos. De la misma manera, soluciones osmóticas de mayor concentración pueden producir mayor ganancia de sólidos sin generar mayores cambios en la estructura de matrices con porosidad elevada como consecuencia de las variaciones de presión en el sistema sólido-líquido.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ackermann, J., Fischer, M., & Amado, R. (1992). Changes in sugars, acids, and amino acids during ripening and storage of apples (cv. Glockenapfel). *Journal of agricultural and food chemistry*, 40(7), 1131-1134.

Abadias, M., Alegre, I., Usall, J., Torres, R., y Viñas, I. (2011). Evaluation of alternative sanitizers to chlorine disinfection for reducing foodborne pathogens in fresh-cut apple. *Postharvest Biology and Technology*, 59(3), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.09.014>

Adekunte, A. O., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannell, A. G. M., & O'donnell, C. P. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122(3), 500-507.

Afroz, R., Tanvir, E. M., Paul, S., Bhoumik, N. C., Gan, S. H., & Khalil, M. I. (2016). DNA damage inhibition properties of sundarban honey and its phenolic composition. *Journal of Food Biochemistry*, 40(4), 436-445.

Ali, A., Yeoh, W. K., Forney, C., & Siddiqui, M. W. (2018). Advances in postharvest technologies to extend the storage life of minimally processed fruits and vegetables. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(15), 2632-2649.

Andrés, A., Salvatori, D., Albors, A. Chiralt, A., Fito, P. 2001. Vacuum impregnation viability of some fruits and vegetables. En: P. Fito, A. Chiralt, J. Barat, W. Spiess y D. Behsnilian (Ed). *Osmotic dehydration and vacuum impregnation: Aplications in food industries* (pp. 66-77). Lancaster, Estados Unidos: Technomic Publishing Co

Andrés-Bello, A., Barreto-Palacios, V. I. V. I. A. N., García-Segovia, P., Mir-Bel, J., & Martínez-Monzó, J. (2013). Effect of pH on color and texture of food products. *Food Engineering Reviews*, 5(3), 158-170.

Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 7(6), 179-187.

Alzamora, S. M., Gerschenson, L. N., les, S. L., & Nieto, A. (1997). Structural changes in the minimal processing of fruits: some effects of blanching and sugar impregnation. *Food engineering* 2000, 117-139

Artés, F., & Allende, A. (2005). Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally fresh processed leafy vegetables. *European Journal of Horticultural Science*, 70(5), 231.

Barat, J. M., Albors, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1999). Equilibration of apple tissue in osmotic dehydration: microstructural changes. *Drying Technology*, 17(7-8), 1375-1386.

Bellary, A. N., & Rastogi, N. K. (2012). Effect of hypotonic and hypertonic solutions on impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 33-40.

Blanda, G., Cerretani, L., Bendini, A., Cardinali, A., Scarpellini, A., & Lercker, G. (2008). Effect of vacuum impregnation on the phenolic content of Granny Smith and Stark Delicious frozen apple cvv. *European Food Research and Technology*, 226(5), 1229-1237.

Bauman, H., and J. Henze. (1983). Intercellular space volume of fruit. *Acta Horticulture* 138:107– 11.

Betoret, E., Betoret, N., Rocculi, P., & Dalla Rosa, M. (2015). Strategies to improve food functionality: Structure–property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 1-12.

Bolin, H. R., Huxsoll, C. C., Jackson, R., & Ng, K. C. (1983). Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*, 48(1), 202-205.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28 (1), 25-30.

Boyer & Hai Liu. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*.

Calbo, A. G., & Sommer, N. F. (1987). Intercellular volume and resistance to air flow of fruits and vegetables. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.

Carciofi, I., Lynch, J. P. G., & Maspi, N. (2021). Economías regionales: red de actores, procesos de producción y espacios para agregar valor.

CiAnciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Afrin, S., Gasparrini, M., Reboredo-Rodriguez, P., Manna, P. P., ... & Quiles, J. L. (2018). Phenolic compounds in honey and their associated health benefits: A review. *Molecules*, 23(9), 2322.

Chen, L., Mehta, A., Berenbaum, M., Zangerl, A. R., & Engeseth, N. J. (2000). Honeys from different floral sources as inhibitors of enzymatic browning in fruit and vegetable homogenates. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(10), 4997-5000.

Chiralt, A., Fito, P., Andrés, A., Barat, J. M., Martinez-Monzo, J., & Martínez-Navarrete, N. (1999). Vacuum impregnation: a tool in minimally processing of foods (pp. 341-356). Boca Raton, FL: CRC Press.

Cortez, J., Faican, M., Piagentini, A., Pirovani, M. (2018). Influencia del tiempo de vacío y relajación sobre el potencial saludable de manzanas frescas cortadas impregnadas por vacío suave. Libro de actas del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias aplicadas

Cortez, J. D., Faicán, M. A., Pirovani, M. E., & Piagentini, A. M. (2018). Determinación de polifenoles en frutas con vitamina C incorporada: Metodología

para mejorar la especificidad del ensayo de Folin-Ciocalteu. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2).

Cortez-Latorre, J.D., Faicán, M., Pirovani, M., & Piagentini, A. (2021), Improving Fresh-cut Apple Quality and Healthy Potential Related Attributes Through Mild Vacuum Impregnation Process. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15995>

Danasa, A.M. Perfil de mercados de manzana y pera. (2018). Dirección de Planeamiento y Análisis de Mercado. Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación.

De Corato, U. (2019). Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-36.

Degraeve, P., Saurel, R., & Coutel, Y. (2003). Vacuum impregnation pretreatment with pectinmethylesterase to improve firmness of pasteurized fruits. *Journal of Food Science*, 68(2), 716-721.

Delgado, A. E., & Rubiolo, A. C. (2005). Microstructural changes in strawberry after freezing and thawing processes. *LWT-Food Science and Technology*, 38(2), 135-142.

Deng, Y., & Zhao, Y. (2008). Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). *Journal of Food Engineering*, 85(1), 84-93.

Derossi, A., De Pilli, T., & Severini, C. (2010). Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: A study on pepper. *Journal of Food Engineering*, 99(1), 9-15.

Derossi, A., De Pilli, T., La Penna, M. P., & Severini, C. (2011). pH reduction and vegetable tissue structure changes of zucchini slices during pulsed vacuum acidification. *LWT-Food Science and Technology*, 44(9), 1901-1907.

Derossi, A., De Pilli, T., & Severini, C. (2013). Application of pulsed vacuum acidification for the pH reduction of mushrooms. *LWT-Food Science and Technology*, 54(2), 585-591.

Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous optimization of several response variables. *Journal of quality technology*, 12(4), 214-219.

Dinçer, C. (2021). Modeling of hibiscus anthocyanins transport to apple tissue during ultrasound-assisted vacuum impregnation. *Journal of Food Processing and Preservation*, e15886.

Dražeta, L. R. (2002). Structure, function and quality development in apples: a thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Plant Biology at Massey University, Palmerston North, New Zealand (Doctoral dissertation, Massey University).

Ertek, G., Taştan, Ö., & Baysal, T. (2022). Combined use of vacuum impregnation and encapsulation technologies for phenolic enrichment of strawberries. *Food Chemistry*, 398, 133853.

Faicán Benenaula, M. A. (2022). Evaluación de la factibilidad de la impregnación por vacío suave en la elaboración de frutillas y manzanas frescas cortadas.

Faicán Benenaula, M. A., Piagentini, A. M., & Pirovani, M. E. (2022). Vacuum impregnation of fresh-cut apples with osmotic solutions containing honey.

Faicán, M., Cortez, J., Piagentini, A., Pirovani, M. (2017). Influencia del tiempo de vacío y relajación sobre la calidad de manzanas sometidas a impregnación por vacío suave. Publicado en CD del Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de alimentos.

Faicán, M., Cortez, J., Piagentini, A., Pirovani, M. (2018). Impregnación por vacío: Impacto de las variables tecnológicas para la obtención de manzanas mínimamente procesadas. *Revista Iberoamericana de Postcosecha*.

Faicán, MA., Piagentini, A., Pirovani, M. (2019). Efecto del tiempo de vacío y relajación sobre algunos aspectos de calidad de frutillas mínimamente procesadas impregnadas por vacío suave. Libro de resúmenes del Congreso Argentino de Biología y Tecnología Postcosecha.

Faicán, M., Cortez, J., Piagentini, A., Pirovani, M. (2018) Efecto del tiempo de vacío y relajación sobre la textura de manzanas mínimamente procesadas tratadas por Impregnación por vacío. Libro de actas del Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Faicán, M., Cortez, J., Piagentini, A., Pirovani, M. (2018). Impregnación por vacío: Impacto de las variables tecnológicas para la obtención de manzanas mínimamente procesadas. *Revista Iberoamericana de Postcosecha*.

Faicán, M.; Piagentini, A. M.; Pirovani, M. E. (2018). Manzanas impregnadas por vacío suave: influencia de miel y adición de ácidos sobre algunos aspectos de calidad". 7º COSIMP Congreso de Ciencias Farmacéuticas del Mercosur y Simposio en Ciencia y Tecnología de Alimentos del Mercosur. Cascavel (Paraná, Brasil).

FAOSTAT. (2019). Fao.org. Producción de fresa. Consultado en línea en noviembre del 2022, disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

FAOSTAT. (2020). Fao.org. Producción de fresa. Consultado en línea en noviembre del 2022, disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Fathy, S. M., & Drees, E. A. (2015). Protective effects of Egyptian cloudy apple juice and apple peel extract on lipid peroxidation, antioxidant enzymes and inflammatory status in diabetic rat pancreas. *BMC complementary and alternative medicine*, 16(1), 8.

Ferreira, D., Kon, T., Kudo, T., Guerra, M. (2010). Enzymatic browning, Polyphenol Oxidase Activity, and Polyphenols in Four Apple Cultivars: Dynamics during Fruit Development. *Hortscience*, 45, (8):1150–1154

Fito, P. (1994). Modelling of Vacuum Osmotic Dehydration of Food. *Journal of food engineering*, 22, 313-328.

Fito, P., & Pastor, R. (1994). Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 21(4), 513-519.

Fito, P., Andrés, A., Chiralt, A., & Pardo, P. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, 27(3), 229-240.

Fito, P., Chiralt, A., Betoret, N., Gras, M., Cháfer, M., Martínez-Monzó, J., ... & Vidal, D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering: Application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), 175-183.

Fito, P., Chiralt, A., Barat, J. M., Andrés, A., Martínez-Monzó, J., & Martínez-Navarrete, N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 297-302.

Fuleki, T., Pelayo, E., & Palabay, R. B. (1994). Sugar composition of varietal juices produced from fresh and stored apples. *Journal of agricultural and food chemistry*, 42(6), 1266-1275.

Francini, A., & Sebastiani, L. (2013). Phenolic compounds in apple (*Malus x domestica* Borkh.): compounds characterization and stability during postharvest and after processing. *Antioxidants*, 2(3), 181-193.

Garbulsky, I. (2022). Volver a crecer, la meta de la frutilla corondina. *Revista Agroclave*. Recuperado de <https://www.agroclave.com.ar/edicion-impresa/volver-crecer-la-meta-la-frutilla-corondina->

[n2710683.html#:~:text=En%20todo%20el%20pa%C3%ADs%20hay,del%20Pla%20y%20%C3%81rea%20Metropolitana.](#)

Gerschenson, L. N., Rojas, A. M., & Marangoni, A. G. (2001). Effects of processing on kiwi fruit dynamic rheological behaviour and tissue structure. *Food Research International*, 34(1), 1-6.

Gheldof, N., Wang, X. H., & Engeseth, N. J. (2002). Identification and quantification of antioxidant components of honeys from various floral sources. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(21), 5870-5877.

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9-19.

Giovannoni, J. (2001). Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual review of plant biology*, 52(1), 725-749.

González González, G. (2022). Impregnación a vacío suave con miel como estrategia para mejorar la calidad de mandarinas y naranjas mínimamente procesadas.

González-Pérez, J. E., Jiménez-González, O., Ramírez-Corona, N., Guerrero-Beltrán, J. A., & López-Malo, A. (2022). Vacuum impregnation on apples with grape juice concentrate: Effects of pressure, processing time, and juice concentration. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102981.

Górnaś, P., Rudzińska, M., & Segliņa, D. (2014). Lipophilic composition of eleven apple seed oils: a promising source of unconventional oil from industry by-products. *Industrial Crops and Products*, 60, 86-91.

Gündüz, K. (2015). Strawberry: Phytochemical Composition of Strawberry (*Fragaria × ananassa*). En: Monique S.J. Simmonds, Victor R. Preedy (Ed).

Nutritional composition of fruit cultivars (pp. 733-750). United Kingdom: Academic Press

Guillemin, A., Degraeve, P., Noël, C., & Saurel, R. (2008). Influence of impregnation solution viscosity and osmolarity on solute uptake during vacuum impregnation of apple cubes (var. Granny Smith). *Journal of Food Engineering*, 86(4), 475-483.

Hancock, J. F., Luby, J. J., Brown, S. K., & Lobos, G. A. (2008). Apples. *Temperate fruit crop breeding: germplasm to genomics*, 1-38.

Hironaka, K., Kikuchi, M., Koaze, H., Sato, T., Kojima, M., Yamamoto, K., ... & Tsuda, S. (2011). Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. *Food chemistry*, 127(3), 1114-1118.

Hough, G., Witting, E. (2005). Introducción al análisis sensorial. In: *Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos*. Hough, G. y Fiszman S. (Ed). pp: 13-16. CYTED. Madrid, España.

Huber DJ, Karakurt Yand Jeong J. 2001. Pectin degradation in ripening and wounded fruits. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* 13, 224–241

Huber, D. J., Karakurt, Y., & Jeong, J. (2001). Pectin degradation in ripening and wounded fruits. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13, 224-241.

Hulme, A. C., Rhodes, M. J. C., & Wooltorton, L. S. C. (1971). The relationship between ethylene and the synthesis of RNA and protein in ripening apples. *Phytochemistry*, 10(4), 749-756.

Husaini, A. M., & Zaki, F. A. (2016). Strawberries: a general account. In *Strawberry: Growth, development and diseases* (pp. 1-9). Wallingford UK: CABI.

Hyson, D. A. (2011). A comprehensive review of apples and apple components and their relationship to human health. *Advances in nutrition*, 2(5), 408-420.

Igual, M., Castelló, M. L., Ortolá, M. D., & Andrés, A. (2008). Influence of vacuum impregnation on respiration rate, mechanical and optical properties of cut persimmon. *Journal of Food Engineering*, 86(3), 315-323.

INTA. (2016). Producción mundial de manzanas y peras. Estación experimental Agropecuaria Alto valle. Programa Nacional de Frutales. Revisión noviembre del 2019.

Janick, J., & Moore, J. N. (Eds.). (1996). *Fruit breeding, tree and tropical fruits* (Vol. 1). John Wiley & Sons.

Jeon, M., & Zhao, Y. (2005). Honey in combination with vacuum impregnation to prevent enzymatic browning of fresh-cut apples. *International journal of food sciences and nutrition*, 56(3), 165-176

Jin Heo, H., & Yong Lee, C. (2005). Strawberry and its anthocyanins reduce oxidative stress-induced apoptosis in PC12 cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1984–1989. <https://doi.org/10.1021/jf048616l>

Kirschbaum, D., y Pacheco, R. (2017). Panorama del cultivo de frutilla en Junio del 2017. *Boletín de frutas y hortalizas* . Convenio INTA-CMCBAN 61.

Kręcis, M., Stępień, B., Paśławska, M., Popłoński, J., & Dulak, K. (2021). Physicochemical and quality properties of dried courgette slices: Impact of vacuum impregnation and drying methods. *Molecules*, 26(15), 4597.

Lana, M. M., Tijskens, L. M. M., & Van Kooten, O. (2005). Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 35(1), 87-95.

Laura, A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic compounds. In *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 253-271). Woodhead Publishing.

Leneveu-Jenvrin, C., Charles, F., Barba, F. J., & Remize, F. (2019). Role of biological control agents and physical treatments in maintaining the quality of fresh and minimally-processed fruit and vegetables. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-19.

Li, Y., Zhang, L., Chen, F., Lai, S., & Yang, H. (2018). Effects of vacuum impregnation with calcium ascorbate and disodium stannous citrate on Chinese red bayberry. *Food and Bioprocess Technology*, 11(7), 1300-1316.

Limbo, S., & Piergiovanni, L. 2006. Shelf life of minimally processed potatoes: Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Postharvest biology and technology*, 39(3), 254-264.

Lin, D. S., Leonard, S. W., Lederer, C., Traber, M. G., & Zhao, Y. (2006). Retention of fortified vitamin E and sensory quality of fresh-cut pears by vacuum impregnation with honey. *Journal of food science*, 71(7), S553-S559.

Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Gao, Z. (2017). Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 23-38.

Maraboli, P. (2022). Balance temporada manzans2021/22. *Boletín Técnico Pomáceas*, 124(4). ISSN 0717-6910

Martinez-Monzo, J., Martinez-Navarrete, N., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). Mechanical and structural change in apple (var. Granny Smith) due to vacuum impregnation with cryoprotectants. *Journal of Food Science*, 63, 499–503

Martinez., J. (2019). Argentina, tercer exportador mundial de miel, tuvo la peor cosecha en diez años. *El Clarín*. Recuperado de [www.elclarin.com](http://www.elclarin.com)

Martin-Belloso, O., Rojas-Grau, M. (2005). Factores que afectan la calidad. En: A. González, A. Gardea y F. Cuamea Navarro. (Ed). *Nuevas tecnologías de*

Conservación de Productos vegetales frescos cortados (pp.77-91). México: Logiprint honey. Journal of food science, 71(7), S553-S559.

Méndez-Galarraga, M. P., Salsi, M. S., Piagentini, A. M., & Pirovani, M. E. (2019). Spray washing disinfection with peracetic acid in the processing of fresh-cut strawberries: An alternative for dipping techniques. International Journal of Fruit Science, 19(3), 258-275.

Mierzwa, D., Szadzińska, J., Gapiński, B., Radziejewska-Kubzdela, E., & Biegańska-Marecik, R. (2022). Assessment of ultrasound-assisted vacuum impregnation as a method for modifying cranberries' quality. Ultrasonics Sonochemistry, 89, 106117.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2021). Apicultura: Políticas públicas para fortalecer el desarrollo de la cadena apícola. Recuperado de <https://magyp.gob.ar/apicultura/>

Monsen, E. R. (2000). Dietary reference intakes for the antioxidant nutrients: vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 100(6), 637.

Moreno, J., Bugueño, G., Velasco, V., Petzold, G., & Tabilo-Munizaga, G. (2004). Osmotic dehydration and vacuum impregnation on physicochemical properties of Chilean papaya (*Carica candamarcensis*). Journal of food science, 69(3), FEP102-FEP106.

Moreno, J., Petzold, G., Pavez, C & Zúñiga, P. (2014). Strawberries: Antioxidant Properties, Health Benefits and Innovative Technologies 189. En: Nathan Malone (Ed). Strawberries cultivation, antioxidant properties and health benefits (pp.189-214). New York: Nova Science Publishers, Inc.

Mujica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., López-Malo, A., Palou, E., & Welti-Chanes, J. (2003). Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect

of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*, 57(4), 305-314.

Murata M, Tsurutani M, Tomita M, Homma S & Kaneko K. 1995. Relationship between apple ripening and browning: changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(5), 1115-1121.

Nawirska-Olszańska A, Paślawska M, Stępień B, Oziębłowski M, Sala K & Smorowska A. 2020. Effect of vacuum impregnation with apple-pear juice on content of bioactive compounds and antioxidant activity of dried chokeberry fruit. *Foods*, 9(1), 108.

Oszmianski, J., & Lee, C. Y. (1990). Inhibition of polyphenol oxidase activity and browning by honey. *Journal of agricultural and food chemistry*, 38(10), 1892-1895.

Özoğlu, H., & Bayındırlı, A. (2002). Inhibition of enzymic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. *Food Control*, 13(4-5), 213-221.

Paes, S. S., Stringari, G. B., & Laurindo, J. B. (2007). Effect of vacuum and relaxation periods and solution concentration on the osmotic dehydration of apples. *International journal of food science & technology*, 42(4), 441-447.

Phenol Explorer. Database on polyphenol content in foods.(2009). Recuperado de: <http://phenol-explorer.eu/>

Pirovani, M. E., Güemes, D. R., & Piagentini, A. (2006). *Vegetales frescos cortados: Procesamiento y calidad (Primera)*. Universidad Nacional del Litoral.

Piagentini AM & Pirovani ME. 2017. Total phenolic content, antioxidant capacity, physicochemical attributes and browning susceptibility of different apple cultivars for minimal processing. *International Journal of Fruit Science* 1(17), 102-116. DOI: 10.1080/15538362.2016.1262304.

Pirovani, M. E., Güemes, D. R., Piagentini, A. M. (2003). Fresh-cut spinach quality as influenced by spin drying parameters. *Journal of food quality*, 26(3), 231-242.

Pirovani, M. E., Güemes, D. R., Piagentini, A. M. (2006). *Vegetales Frescos Cortados: Procesamiento y Calidad*. 1ª Ed Colección Ciencia y Técnica. Ediciones UNL. Santa Fe, Argentina. pp 94.

Pirovani, M. E., Piagentini, A. M., & Van de Velde, F. (2015). Bioactive compounds in fresh-cut fruits: Occurrence and impact of processing and cold storage. *Biotechnology of Bioactive Compounds: Sources and Applications*, 37-62.

Quan Shi, X., & Fito Maupoey, P. (1993). Vacuum osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*, 11(6), 1429-1442.

Quintanilla, A., Mencía, A., Powers, J., Rasco, B., Tang, J., & Sablani, S. S. (2018). Vacuum impregnation of firming agents in red raspberries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

Radziejewska-Kubzdela, E., Biegańska-Marecik, R., & Kidoń, M. (2014). Applicability of vacuum impregnation to modify physico-chemical, sensory and nutritive characteristics of plant origin products—a review. *International journal of molecular sciences*, 15(9), 16577-16610.

Renard C., Thibault J. (1991). Composition and Physico-chemical properties of Apple fibres from fresh fruits and industrial products. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 24, 523-527

Rico, D., Martín-Diana, A. B., Barat, J. M., y Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 18, 373–386. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.03.011>

Robards, K., Prenzler, P. D., Tucker, G., Swatsitang, P., & Glover, W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food chemistry*, 66(4), 401-436.

Rößle, C., Brunton, N., Gormley, T. R., & Butler, F. (2011). Quality and antioxidant capacity of fresh-cut apple wedges enriched with honey by vacuum impregnation. *International journal of food science & technology*, 46(3), 626-634.

Rodríguez Arzuaga, M. (2015). Estudio de la aplicación de tratamientos térmicos suaves y antioxidantes de origen natural a manzanas frescas cortadas.

Rodríguez-Arzuaga, M., & Piagentini, A. M. (2018). New antioxidant treatment with yerba mate (*Ilex paraguariensis*) infusion for fresh-cut apples: Modeling, optimization, and acceptability. *Food Science and Technology International*, 24(3), 223-231.

Rodríguez-Arzuaga, M. R., Güemes, D., Benavides, M. J., Rivas, M. Z., Pirovani, M. É., & Piagentini, A. M. (2013). Evaluación preliminar del efecto del tratamiento químico sobre atributos fisicoquímicos, sensoriales y bioactivos de manzanas frescas cortadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(2), 223-229.

Rodríguez-Arzuaga, M., Salsi, M. S., & Piagentini, A. M. (2021). Storage quality of fresh-cut apples treated with yerba mate (*Ilex paraguariensis*). *Journal of Food Science and Technology*, 58, 186-196.

Secretaría de Agroindustria (2018). La Semana de la miel. Medios Web. Ministerio de producción y trabajo Presidencia de la Nación

Schulze, B., Peth, S., Hubbermann, E. M., & Schwarz, K. (2012). The influence of vacuum impregnation on the fortification of apple parenchyma with quercetin derivatives in combination with pore structures X-ray analysis. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 380-387.

Samarghandian, S., Farkhondeh, T., & Samini, F. (2017). Honey and health: A review of recent clinical research. *Pharmacognosy research*, 9(2), 121.

Sanchez, C., Castignani, H., Rabaglio, M. (2018). El mercado apícola internacional. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Santana Moreira, M., de Almeida Paula, D., Maurício Furtado Martins, E., Nascif Rufino Vieira, É., Mota Ramos, A., & Stringheta, P. C. (2018). Vacuum impregnation of  $\beta$ -carotene and lutein in minimally processed fruit salad. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(3), e13545.

Santarelli V, Neri L, Sacchetti G, Di Mattia CD, Mastrocola D and Pittia P. 2020. Response of organic and conventional apples to freezing and freezing pre-treatments: Focus on polyphenols content and antioxidant activity. *Food chemistry*, 308, 125570.

Senturk Parreidt, T., Schmid, M., & Müller, K. (2018). Effect of Dipping and Vacuum Impregnation Coating Techniques with Alginate Based Coating on Physical Quality Parameters of Cantaloupe Melon. *Journal of food science*, 83(4), 929-936.

Shao, X., Bai, N., He, K., Ho, C. T., Yang, C. S., & Sang, S. (2008). Apple polyphenols, phloretin and phloridzin: new trapping agents of reactive dicarbonyl species. *Chemical research in toxicology*, 21(10), 2042-2050.

Shikov, V., Mihalev, K., Yoncheva, N., Karagyozev, V., & Mollov, P. (2012). Antioxidant capacity of frozen strawberries as affected by the vacuum impregnation in polyphenol-rich extract. *Journal of EcoAgriTourism*, 8(2), 231-237.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144 LP – 158. Retrieved from <http://www.ajevonline.org/content/16/3/144.abstract>

Sinha, N. (2006). Apples. Handbook of fruits and fruit processing, 265-278.

Sinha, N., Sidhu, J., Barta, J., Wu, J., & Cano, M. P. (Eds.). (2012). Handbook of fruits and fruit processing. John Wiley & Sons.

Soliva-Fortuny, R. C., & Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. Trends in Food Science & Technology, 14(9), 341-353.

Sordo, M. D. H., Travadelo, M., & Pernuzzi, C. (2017). Evolución del cultivo de frutilla en la provincia de Santa Fe (Argentina) en los últimos 50 años= Strawberry crop evolution in province of Santa Fe (Argentina) in the last 50 years. Asociación Argentina de Horticultura.

Tapia, M. S., López-Malo, A., Consuegra, R., Corte, P., & Welti-Chanes, J. (1999). Minimally processed papaya by vacuum osmotic dehydration (VOD) techniques/papaya mínimamente procesada mediante técnicas de deshidratación osmótica al vacío (VOD). Food Science and Technology International, 5(1), 41-49.

Tappi, S., Tylewicz, U., Romani, S., Dalla Rosa, M., Rizzi, F., & Rocculi, P. (2017). Study on the quality and stability of minimally processed apples impregnated with green tea polyphenols during storage. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 39, 148-155.

Tortoe, C., & Orchard, J. (2006). Microstructural changes of osmotically dehydrated tissues of apple, banana, and potato. Scanning, 28(3), 172-178.

Tu, S. H., Chen, L. C., & Ho, Y. S. (2017). An apple a day to prevent cancer formation: Reducing cancer risk with flavonoids. Journal of food and drug analysis, 25(1), 119-124.tu

Tylewicz, U., Mannozi, C., Romani, S., Castagnini, J. M., Samborska, K., Rocculi, P., & Dalla Rosa, M. (2019). Chemical and physicochemical properties

of semi-dried organic strawberries enriched with bilberry juice-based solution. *Lwt*, 114, 108377.

USDA. 2019. Apple, Nutrition facts. Recuperado en: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/341508/nutrients--%20en%20este%20caso%20es%20necesario%20verifica4r%20como%20se%20cita%20una%20p%C3%A1gina%20web>

Van de Velde, F. (2014). Cambios en el potencial saludable y la calidad nutricional y sensorial de frutillas mínimamente procesadas como consecuencia de las condiciones de procesamiento, la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Doctoral dissertation).

Van de Velde, F., Pirovani, M. E., & Drago, S.R. (2018). Bioaccessibility analysis of anthocyanins and ellagitannins from blackberry at simulated gastrointestinal and colonic levels. *Journal of Food Composition and Analysis*, 72, 22-31.

Van de Velde, F., Esposito, D., Grace, M. H., Pirovani, M. E., & Lila, M. A. (2019). Anti-inflammatory and wound healing properties of polyphenolic extracts from strawberry and blackberry fruits. *Food research international*, 121, 453-462.

Van de Velde, F., Esposito, D., Overall, J., Méndez-Galarraga, M. P., Grace, M., Élida Pirovani, M., & Lila, M. A. (2019). Changes in the bioactive properties of strawberries caused by the storage in oxygen-and carbon dioxide-enriched atmospheres. *Food science & nutrition*, 7(8), 2527-2536.

Velderrain-Rodríguez, G. R., López-Gámez, G. M., Domínguez-Avila, J. A., González-Aguilar, G. A., Soliva-Fortuny, R., & Ayala-Zavala, J. F. (2019). Minimal Processing. In *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities* (pp. 353-374). Woodhead Publishing.

Vrhovsek, U., Rigo, A., Tonon, D., Mattivi, F., (2004). Quantitation of Polyphenols in Different Apple Varieties. *Journal of agricultural and food chemistry*

Wu, J., Gao, H., Zhao, L., Liao, X., Chen, F., Wang, Z., Hu, X. (2007). Chemical compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chemistry* 103. Pag. 88–93

Xie, J. y Zao, Y. (2003). Nutritional enrichment of fresh apple (Royal Gala) by vacuum impregnation. *Food science and nutrition*, 54, 387-398.

Xie, J., & Zhao, Y. (2004). Use of vacuum impregnation to develop high quality and nutritionally fortified frozen strawberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 28(2), 117-132.

Yilmaz, F. M., & Bilek, S. E. (2018). Ultrasound-assisted vacuum impregnation on the fortification of fresh-cut apple with calcium and black carrot phenolics. *Ultrasonics sonochemistry*, 48, 509-516.

Yousuf, B., Deshi, V., Ozturk, B., & Siddiqui, M. W. (2020). Fresh-cut fruits and vegetables: Quality issues and safety concerns. In *Fresh-cut fruits and vegetables* (pp. 1-15). Academic Press.

Zhao, Y. & Xie, J. (2004). Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in foods science and technology*, 15, 434-451

Zhao, X., Bai, N., He, K., Ho, C. T., Yang, C. S., & Sang, S. (2008). Apple polyphenols, phloretin and phloridzin: new trapping agents of reactive dicarbonyl species. *Chemical research in toxicology*, 21(10), 2042-2050.