

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE DESVERDIZADO
PARA LA PRODUCCIÓN DE TORONJA STAR RUBY EN LA EMPRESA TAMACAL
FRUIT S.A.S**

ALEXANDRA PAOLA RUIDÍAZ YEPES



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, QUÍMICA Y CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PAMPLONA
SEPTIEMBRE DE 2021**

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE DESVERDIZADO
PARA LA PRODUCCIÓN DE TORONJA STAR RUBY EN LA EMPRESA TAMACAL
FRUIT S.A.S**

ALEXANDRA PAOLA RUIDÍAZ YEPES

**Trabajo de Grado Para Optar por el Título de
INGENIERA QUÍMICA**

DIRECTORA

**SONIA ESPERANZA REYES GÓMEZ
DOCTORA EN CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**

CODIRECTOR

**MANUEL ANDRÉS RIVERA GUERRERO
INGENIERO QUÍMICO, MAGISTER EN CONTROLES INDUSTRIALES**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, QUÍMICA Y CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PAMPLONA
SEPTIEMBRE DE 2021**

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. Planteamiento del problema	14
1.2. Justificación.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo General.....	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. MARCO CONCEPTUAL	17
3.1. Antecedentes.....	17
3.2. Bases Teóricas	17
3.2.1. Procesos de desverdizado	17
4. METODOLOGÍA	32
4.1. Materiales y Métodos.	32
4.1.1. Materiales	32
4.1.2. Métodos	33
4.2. Diseño metodológico.....	34
4.2.1. Etapa inicial: Investigación de la información.	35
4.2.2. Etapa de análisis	43
4.2.3. Etapa de edición.....	44
4.2.4. Desarrollo del proceso de desverdizado.	44
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
5.1. Influencia de la temperatura en los tratamientos de desverdizado.	51
5.2. Acidez.....	53
5.3 Pérdida de peso.....	55
5.4. Contenido de jugo.....	57
5.5. Sólidos solubles totales (SST).....	59
5.6. Índice de Madurez (IM).....	61
5.7. Índice de color (IC).....	62
6. CONCLUSIONES.....	69
7. RECOMENDACIONES.....	71

8. BIBLIOGRAFÍA.....72
ANEXOS77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las toronjas según su calidad.	26
Tabla 2. Características del Enfriador Evaporativo.	29
Tabla 3. Características del Generador Catalítico Citrus.	30
Tabla 4. Características del Detector de CO ₂	31
Tabla 5. Características del Termohigrómetro Digital.	31
Tabla 6. Principales equipos que se utilizan en el proceso de desverdizado.	39
Tabla 7. Condiciones asignadas en el PHVA para el proceso de desverdizado.	43
Tabla 8. Rango de calibres según la clasificación de la Unión Europea.	45
Tabla 9. Variables del Proceso de Desverdizado.	49
Tabla 10. Temperaturas de la cámara de desverdizado para promover la pigmentación del flavedo de la Toronja.	52
Tabla 11. Análisis de varianza para las Temperaturas en los procesos de desverdizado.	53
Tabla 12. Comparación de las medias de la temperatura por el método de Tukey.	53
Tabla 13. Determinación de la acidez en un proceso de desverdizado.	54
Tabla 14. Análisis de varianza para la acidez.	55
Tabla 15. Diferencias entre los grupos determinados por el método de Tukey para la acidez.	55
Tabla 16. Determinación de la pérdida de peso en un proceso de desverdizado.	56
Tabla 17. Análisis de varianza para la pérdida de peso.	56
Tabla 18. Comparación de las medias para la pérdida de peso en el proceso de desverdizado.	57
Tabla 19. Determinación del contenido de jugo en un proceso de desverdizado.	57
Tabla 20. Análisis de varianza para el contenido de jugo en el proceso de desverdizado.	58
Tabla 21. Comparación de las medias del contenido de jugo por el método de Tukey.	59
Tabla 22. Determinación del contenido de sólidos solubles totales para el proceso de desverdizado.	59
Tabla 23. Análisis de varianza para los sólidos solubles totales.	60
Tabla 24. Comparación de las medias por el método de Tukey.	60
Tabla 25. Determinación del índice de madurez (IM) para el proceso de desverdizado.	61
Tabla 26. Análisis de varianza para el índice de madurez en el proceso de desverdizado.	62
Tabla 27. Comparación de medias por el método de Tukey.	62
Tabla 28. Escala del color visual para cítricos.	63

Tabla 29. Determinación del índice de color en los tratamientos de la toronja Star Ruby.	65
Tabla 30. Análisis de varianza para el índice de color en el proceso de desverdizado.	66
Tabla 31. Comparación de las medias del índice de color por el método de Tukey	67
Tabla 32. Comparaciones de todas las variables dependientes utilizando el método de Tukey. ...	68
Tabla 33. Partes del Enfriador Evaporativo.	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura anatómica de la toronja Star Ruby.	21
Figura 2. Organigrama de la empresa Tamacal Fruit S.A.S	27
Figura 3. Organigrama finca Concepción de la empresa Tamacal Fruit S.A.S.....	28
Figura 4. Diagrama de fases para la metodología.	35
Figura 5. Dimensionamiento del área de desverdizado en la Finca Concepción.....	36
Figura 6. Distribución de los equipos en la cámara de desverdizado.....	37
Figura 7. Cámara de desverdizado de la empresa Tamacal Fruit S.A.S sin ningún tipo de mejoras.	38
Figura 8. Elaboración del techo plástico.	40
Figura 9. Transporte del aire producido por el enfriador evaporativo sobre las canastas de toronja.	40
Figura 10. Visualización del techo elaborado para producir el transporte del aire.	41
Figura 11. Cámara de desverdizado mejorada con la instauración de un aire acondicionado.	42
Figura 12. Diagrama PHVA.....	42
Figura 13. Matriz DOFA.	44
Figura 14. Medición del Calibre de los frutos de toronja.....	45
Figura 16. Degradación de la clorofila para ganar carotenoides.....	64
Figura 17. Comportamiento de los tres tratamientos de toronjas para el estudio del índice de color	67
Figura 18. Cámara de desverdizado apta para mantener atmósferas controladas.	71

DEDICATORIA

Este logro va dedicado principalmente a mi querido Dios, quien me ha llenado de fortaleza y salud en el transcurso de estos años, sin su acción e inspiración este logro no tendría validez.

A mi querido padre Alexander Ruidiaz Rivera, quien ha sido el promotor de todos mis sueños, siempre me ha llenado de tanto cariño y comprensión.

A mi adorada madre Maricruz Yepes Ramos, mujer luchadora quien siempre ha confiado en mí, nunca ha descalificado mis capacidades por el contrario me ha educado con valores y creencias en donde creer es poder.

En conjunto mis padres son el motor de mi vida, cada día me levanto con ganas de salir adelante, pues con tanto amor quien se puede negar a ser feliz.

A toda mi familia especialmente a mi hermana María Alejandra Ruidiaz Yepes que desde que nació es la luz de mis ojos, su hermosa sonrisa y los destellos de alegría impulsan mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Pamplona, por ser el alma máter en donde recibí toda mi formación académica.

A la empresa Tamacal Fruits S.A.S por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto, el cual me ha aportado una inmensidad de conocimientos.

A mi tutora de tesis, la Dra. Sonia Esperanza Reyes, quien siempre ha sido muy amable al dedicar su tiempo y transmitir conocimientos.

A mis apreciados jurados el profesor Juan Pablo Mariscal y la Profesora Anna Rosso, quienes han sido muy gentiles, profesionales y comprensivos en el trayecto del desarrollo de mi trabajo de grado, con sus observaciones han complementado la comprensión de la parametrización de las variables del proceso de desverdizado.

Agradezco a todos mis docentes que, con su sabiduría, conocimiento y valores, han guiado mi camino, motivándome a ser mejor persona y buen profesional.

A mi prima Laura Vanessa Angarita Ruidíaz, que desde pequeña se ha preocupado por mí y aunque vivamos lejos siempre la llevo presente en mi corazón.

A mi querida amiga Nannell Lindarte que desde que nos conocemos se ha convertido en esa personita valiosa que me acompaña en esos momentos en donde solo deseo estar sola, ella ha secado mis lágrimas con tanta simpatía en esos episodios en donde no he podido ser fuerte, la quiero tanto que se ha convertido en la persona que más admiro por su perseverancia, humildad y nobleza.

Finalmente agradezco a todas mis amistades especialmente Natalia Sevillano, Belkis Brillid Arias, Rossy Acevedo, Laura Arias, Margarita Medina, Jonatan Buitrago, Carlos Anaya, Andrea Scaldaferrro y Danna Cabeza, por apoyarme en el transcurso de la carrera, han sido personas tan espectaculares que me han regalado momentos llenos de felicidad y me han enseñado a comprender la realidad.

RESUMEN

El presente trabajo expone las variables que se deben controlar en un proceso de desverdizado, el cual se caracteriza por producir un cambio de color en la epidermis de los frutos. Asimismo, la realización de este proyecto tiene como objetivo crear una metodología para ejecutar el proceso de tal manera que los equipos e insumos de la empresa Tamacal Fruits S.A.S, sean aprovechados y se obtenga un beneficio al ejecutar el proceso productivo dándole un valor agregado al fruto.

Regularmente las cámaras de desverdizado funcionan con un control de temperatura, humedad relativa y concentración de etileno, por consiguiente en el desarrollo de este trabajo se tuvieron en cuenta los instrumentos disponibles para realizar la manipulación de los factores, por lo que se ha decidido trabajar con el generador catalítico Citrus dejando constante la concentración de etileno a un nivel 7 para un tiempo de evacuación de 72 horas y trabajando con humedades relativas en el rango de 90 a 95%, siendo la temperatura la variable independiente de control y variación absoluta. Se realizaron desverdizados a $T < 25^{\circ}\text{C}$ y a $T > 25^{\circ}\text{C}$, de acuerdo a esto se eligieron unas variables dependientes como la acidez, el peso, el contenido de jugo, los sólidos solubles totales (SST), el índice de madurez y el índice de color, los cuales fueron analizados en cada tratamiento para observar la respuesta en el comportamiento de la fruta al exponer las toronjas a etileno variando la temperatura. Se obtuvo como respuesta que las toronjas a las que se le aplicaba etileno a diferentes temperaturas no sufrían cambios en su acidez, pérdida de peso e índice de color. Por el contrario, el contenido de jugo, los sólidos solubles totales y el índice de madurez presentaron diferencias significativas en los tratamientos.

Palabras Claves: Desverdizado, etileno, toronja Star Ruby, índice de color, humedad relativa.

ABSTRACT

This work exposes the variables that must be controlled in a degreening process, which is characterized by producing a color change in the epidermis of the fruits, also the realization of this project aims to create a methodology to execute the process in a way that the equipment and supplies of the Tamacal Fruits SAS company are used and a benefit is obtained when executing the production process, giving added value to the fruit.

Degreening chambers regularly work with a control of temperature, relative humidity and ethylene concentration. Therefore, in the development of this work, the instruments available to carry out the manipulation of the factors were taken into account, so it has been decided to work with the Citrus catalytic generator leaving the ethylene concentration constant at level 7 for an evacuation time of 72 hours and relative humidities in the range of 90 to 95%. The temperature was designated as the independent variable. The degreening process was carried out at $T < 25^{\circ} \text{C}$ and at $T > 25^{\circ} \text{C}$. According to this, the dependent variables that were analyzed in each treatment were acidity, weight, juice content, total soluble solids (TSS), maturity index, and color index. The grapefruits that were exposed to ethylene at different temperatures did not show changes in their acidity, weight loss, and color index. On the contrary, the juice content, the total soluble solids, and the maturity index presented significant differences in each treatment.

Keywords: Degreening, Ethylene, Star Ruby Grapefruit, Color Index, Relative Humidity.

INTRODUCCIÓN

La empresa Tamacal Fruit S.A.S ubicada en el municipio de Guamal, Magdalena, con sedes aliadas en la Subregión Momposina, tiene como propósito transformador convertirse en la primera empresa del Caribe en realizar procesos de desverdizado de Toronja Star Ruby y otros cítricos de la región.

El presente trabajo fue realizado en la empresa Tamacal Fruit S.A.S, organización que se encuentra en el maravilloso y poco desarrollado sector agrícola, específicamente en la rama de producción de frutas frescas cítricas y su comercialización a nivel nacional y de proveeduría de exportación.

Este trabajo se realiza basado en el interés del área de producción de aprovechar las instalaciones de una planta de desverdizado que se encuentra subutilizada dentro de uno de sus predios y que tiene como objetivo mejorar la apariencia del color externo de las frutas para darle un valor agregado y mejorar la aceptación en actuales y nuevos mercados.

Este proyecto se realizó en etapas que permitieron identificar los factores importantes a controlar en el proceso de desverdizado, para realizar mediciones, mejoras y recomendaciones significativas al aprovechamiento de la planta de desverdizado.

En el desarrollo de las etapas del proceso de desverdizado fue importante comprender las características de la Toronja Star Ruby y darle el manejo adecuado que permitiera solo la transformación de su apariencia externa.

Dentro del desarrollo de la metodología se puede entender cuáles son los materiales que se requieren para ejecutar el proceso, cuantificarlos y cualificarlos, como también se busca realizar el proceso con las condiciones actuales de la empresa y crear un plan de mejoramiento donde es necesario adaptar o comprar nuevos equipos, para darle cumplimiento a los requerimientos del proceso como mantener controlada la temperatura, operar a elevadas humedades relativas, mantener baja la concentración de etileno y realizar ventilaciones de aire cuando se alcanzan concentraciones iguales a 2000 ppm de dióxido de carbono (CO₂).

Al efectuar el proceso de desverdizado fue fundamental controlar las variables del proceso, ya que de éstas depende el éxito de la variación del color. La temperatura al ser un factor muy importante en el proceso de desverdizado se elige de tal forma que se especifique el mercado en que se comercializa. Si la fruta es para exportación se desverdiza a $T < 25^{\circ}\text{C}$, preferiblemente de $21\text{-}23^{\circ}\text{C}$ según lo reportado previamente (Chaudhary et al., 2015; Conesa, 2018; Sdiri et al., 2012).

Cuando las toronjas se destinan para el mercado nacional o local se pueden desverdizar a condiciones de temperaturas superiores a los 25°C (Balaguera & Palacios, 2018; Sdiri et al., 2012). Estos frutos adquieren una coloración mucho más rápido, pero sufren daños al conservarse en cuartos fríos acondicionados a temperaturas relativamente bajas (-1°C – 4°C). Bajo este precepto se realizó un desverdizado en donde se controla la temperatura y se deja constante la concentración de etileno con la humedad relativa y se realiza una permanente ventilación de aire, con evacuaciones periódicas de CO₂ durante una hora, en general todo el manejo que se le brinde a las toronjas en la cámara de desverdizado debe mantenerse a una ventilación continua controlada. La realización de los procesos de desverdizado arrojó como resultados en los análisis de varianzas que los frutos no sufren diferencias significativas al presentarse los cambios en la temperatura, pero se producen diferencias en las medias de los sólidos solubles totales (SST), contenido de jugo y el índice de madurez según la comparación múltiple de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

Dentro de los objetivos del proyecto para la empresa estuvo entender este proceso en el momento de la ejecución, por lo cual se proponen una serie de mejoras en la distribución de los equipos y materiales utilizados. De igual forma se desarrolló toda una metodología que permite dejar registro de las actividades a realizar identificadas dentro de un flujo de trabajo y formatos de registros que permitan hacer seguimiento a las variables de interés y sus cambios.

Se logró contar con un proceso organizado, entendiendo y suministrando herramientas que permitan a la empresa en los futuros procesos de desverdizado realizar mejoras continuas y toma correcta de decisiones en la generación de una fruta de una apariencia de calidad, muy apetecida en el mercado por poseer un color uniforme y muy cautivador.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En los mercados nacionales e internacionales la fruta fresca es muy apetecida, por esta razón se hace énfasis en producir toronjas de calidad, que cumplan con la coloración característica de la variedad especificada en las normas de comercialización expedidas por la unión Europea (Comisión Europea, 2020).

La Toronja Star Ruby (*citrus Paradisi*), las naranjas Valencia (*citrus sinensis*), pomelos (*citrus máxima*) y tangelos (*citrus tangerina*) hacen parte de la familia de los cítricos, cultivados en los huertos de la empresa Tamacal Fruit S.A.S. Esta empresa posee dentro de sus activos una cámara desverdizadora, algunos equipos requeridos para el desverdizado y parte de los insumos, a los que se les estaba dando un muy bajo aprovechamiento en condiciones no idóneas. Es allí donde se identificó como una oportunidad de gran utilidad la realización de este proyecto y poder alcanzar un avance en las actividades para lograr una alta producción de frutos desverdizados en un tiempo corto, con una excelente apariencia que despierte el interés de los clientes y genere una entrada de ganancias a la empresa.

El inicio del proyecto requirió de una investigación profunda ya que se había dado una rotación al personal operativo y directivo de la organización. En estas circunstancias se perdió la información que se tenía sobre el proceso, la operación de algunos equipos y la distribución de la fruta dentro de la planta. Como la producción de cítricos se da de manera estacional, y para el caso de la producción en la región su cosecha se da desde los meses de noviembre hasta febrero. Este factor impacta en general a todos los predios aumentando los volúmenes de oferta de fruta, lo que lleva entre otras cosas a que los precios del mercado disminuyan. Bajo esta condición se quiere sacar al comercio producciones antes de las cosechas convencionales y así comercializar toronjas cuando exista una alta demanda. Una de las oportunidades que trae el realizar el desverdizado para la organización es que es posible generar una presentación idónea de la fruta cuando ésta apenas esté alcanzando las características organolépticas aptas para el consumo, saliendo al mercado en forma anticipada con mejores precios debido a que no habría una gran oferta en el mercado (Pássaro et al., 2017a).

La empresa desconoce la influencia de las variables que intervienen en el proceso de desverdizado, por lo que a pesar de haber hecho una apuesta muy importante en infraestructura y equipos no han logrado operar de manera satisfactoria la planta de desverdizado. La organización

tiene claro lo importante que es entender todo lo que se debe realizar en una planta de más de 200 metros cuadrados y equipos no tradicionales. Por lo tanto poder como Ingeniera Química aportar en la identificación y medición de variables que permitan la parametrización de criterios de desverdizado, estandarización de datos a medir y evaluación de las características de la planta, convierte todo esto en un insumo de vital importancia, más aún cuando en los próximos años se espera procesar más de 180.000 kg de frutas por cosecha, cifra que se proyecta iría aumentando año tras año según datos suministrados por el área comercial de la empresa.

1.2. Justificación

El estudio de los procesos de desverdizado es importante para el desarrollo de la maduración temprana de una diversidad de frutos cítricos que se clasifican como no climatéricos, por tanto, su intensidad respiratoria de etileno y CO₂ es baja después de ser extraídos del árbol, lo cual no permite que presenten cambios notables en su calidad interna después de la cosecha (Chen et al., 2018; Wojdyło et al., 2021).

Estos procesos de desverdizado no se pueden lograr en campo, es decir la empresa requiere afectar las variables en un ambiente controlado, donde factores como la humedad relativa, grados brix, acidez, temperatura, ventilación, concentración de etileno, producción de CO₂ y la distribución de la fruta dentro del área de desverdizado se puedan gestionar y controlar. Mediante este enfoque se han diseñado estrategias como la utilización de cámaras de desverdizado que tienen como funcionalidad resaltar las características de un fruto fisiológicamente maduro en un periodo de tiempo corto mientras se degradan las clorofilas, que son las pigmentaciones verdes y se producen carotenoides, que son esas pigmentaciones amarillas, anaranjadas o rojizas (Chaudhary et al., 2015).

Este proyecto tiene como objetivo primordial apoyar y aportar avances a la comunidad hortofrutícola del sur del Magdalena y toda la región, para que pueda procesar toda la variedad de cítricos que se cultivan allí y así darle un valor agregado al fruto cuando se llega a la etapa de comercialización, ofreciendo frutos que cumplan estándares establecidos por el mercado y la legislación de la Unión Europea (Global GAP, 2021; Unión Europea, 2011).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Estudiar las condiciones de desverdización con etileno, idóneas para la toronja Star Ruby en función de las características iniciales de la fruta, con el fin de que ésta llegue al consumidor en las mejores condiciones posibles.

2.2. Objetivos Específicos

- Definir las variables a controlar en el proceso de desverdizado de la toronja Star Ruby.
- Monitorear el proceso de desverdizado en el que se emplea etileno.
- Diseñar un flujograma de operación en donde se garantice una alta eficiencia en el proceso de desverdizado de las toronjas Star Ruby.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1. Antecedentes

En la actualidad los principales productores de cítricos en el mundo son Brasil, China, México, Argentina y España. Siendo Brasil el principal productor de naranja con 592.668 hectáreas (Ha), luego sigue China que es el principal productor de mandarinas con 210.100 Ha, seguido de España que es el segundo productor más importante de mandarinas en el mundo y México que es el principal productor de limón con 151.765 Ha (Giraldo & Granados, 2018).

En Colombia se registra un área sembrada de 97.275 hectáreas de cítricos, con una producción de 1.206.856 toneladas, el ex gerente general del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Luis Alberto Martínez Lacouture, expresó que, según las últimas cifras reportadas por la Asociación Hortofrutícola de Colombia, Asohofrucol, las principales áreas de producción se ubican en Meta, Valle del Cauca, Caldas y Magdalena. En 2017, se exportaron 28.130 toneladas de cítricos entre naranja dulce, toronja, mandarina, clementina y tangerino, con destino a diferentes países del mundo, este importante logro es producto del trabajo colectivo entre la Presidencia de la República, el Ministerio de Agricultura, el ICA, el Ministerio Comercio Industria y Turismo, el Fondo Nacional Hortofrutícola, Procolombia, Analdex, y Asohofrucol (Instituto Colombiano Agropecuario, 2018).

Las siguientes revisiones involucran el análisis de algunas investigaciones científicas de la cadena de cítricos que cubren frutos en su fase primaria como naranjas, limones, mandarinas y toronjas, realizadas en los últimos años sobre el mejoramiento de la coloración externa de los frutos cítricos, cumpliendo con la maduración interna sin afectar su composición química. Los cítricos como la toronja (*Citrus paradisi*), la naranja (*Citrus sinensis*), la mandarina (*Citrus reticulata*) y el limón (*Citrus aurantifolia*), se caracterizan por su capacidad de crecer y reproducirse en condiciones ambientales muy diversas, desde zonas tropicales muy cálidas hasta climas subtropicales muy fríos. Todos los cítricos cuentan con dos partes principales, la corteza y los segmentos.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Procesos de desverdizado

Es una técnica poscosecha que consiste en la aplicación de etileno como tratamiento para potenciar el cambio de color en frutos tempranos, diversos trabajos de investigación catalogan al etileno como una hormona vegetal encargada de regular los avances de la maduración, en este

proyecto se trabajó con un cítrico que pertenece a los frutos no climatéricos, lo que indica que la toronja después de ser extraída del árbol reduce parcialmente su producción de etileno, lo que indica que no sigue con su proceso de maduración autónomamente, además el proceso de desverdizado se realiza en cámaras en donde existe un control de temperatura y humedad relativa, con movimiento continuo de aire y renovaciones del mismo para evitar acumulación de CO₂ que produce la fruta al respirar, el exceso de CO₂ reduce la velocidad del desverdizado y es un inhibidor del etileno (Vazquez et al., 2020).

3.2.1.1. Antecedentes de los procesos de desverdizado.

Los cítricos de temporada temprana alcanzan su madurez interna cuando su cáscara aún presenta una coloración verde, esto ocasiona que se utilice un tratamiento de desverdización para mejorar el color externo del fruto. Este proceso consiste en la aplicación de etileno en donde influye principalmente el tiempo de exposición para alcanzar el color deseado. Investigaciones realizadas en las últimas décadas por Sawsen Sdiri y sus colaboradores han demostrado que la aplicación de etileno en los tratamientos poscosecha abren puertas en el sector económico, debido a que se saca al mercado un fruto con una estupenda apariencia externa, resaltando que éste no sufre alteraciones en su composición química, ni en su estructura interna. Ellos realizaron estudios con mandarinas 'Clemenules' (*Citrus clementina Hort. Ex Tan*) y las naranjas 'Navelina' (*Citrus sinensis L.*) en el centro de tecnología Poscosecha del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias de España, en el 2011, donde expresaron que la eficacia de los procesos de desverdizado dependen del tiempo de exposición al etileno y del índice de color con el cual se ingresa el fruto a dicho tratamiento. Ellos han investigado ampliamente el efecto de la temperatura sobre el color externo del fruto para producir carotenoides y reportaron que la temperatura óptima para generar la variación de color está en el rango de 15 a 25 °C (Sdiri et al., 2012).

Estudios documentados en el boletín técnico de Fagro PHS, han informado que los tratamientos de desverdizado en cosechas de naranjas Valencia se realizan frecuentemente por la acción de las elevadas temperaturas nocturnas a la que se exponen los frutos. Asimismo, especifican que las condiciones de la cámara de desverdizado se deben ajustar de tal forma que se reduzca el deterioro del fruto y una indeseada variación de color. En ese estudio propusieron mantener la temperatura del cuarto en un rango de 19°C a 25°C, manteniendo elevadas humedades relativas de 90% a 95%, conservando una composición de etileno de 5 ppm, por un máximo de 72 horas para la duración del proceso, permitiendo concentraciones de CO₂ inferiores a 10.000 ppm. También expresaron

que se puede trabajar con temperaturas mayores para lograr desverdizados acelerados dando puntualmente el valor de 29°C, aunque se debe ser cuidadoso con esta elección ya que se pueden producir afectaciones en la vida útil del fruto.

Teniendo en cuenta todo lo anterior en el proceso debe existir una correcta ventilación y un adecuado intercambio de aire, ya que los niveles superiores a 10.000 ppm de CO₂, reducen la efectividad del etileno en el proceso y causan retrasos en la variación del color (Fagro Post Harvest Solutions, 2018). Simultáneamente, estudios realizados por la empresa Fomesa Fruitech ubicada en Valencia, exponen que el objetivo del desverdizado, es adelantar la comercialización de los frutos cítricos, en donde se evalúa que el fruto haya alcanzado su punto de madurez mínimo para la comercialización, debido a que la piel conserva un color verde. Estas investigaciones aclaran que el proceso de desverdizado no modifica, ni altera los parámetros internos de la fruta. Las variedades de cítricos con los cuales se han realizado procesos de desverdizado son las mandarinas satsumas (*Okitsu*, *Calusellina*), clementinas (*Clemenules*, *Marisol*, *Clemenpons*, *Clemenrubí*, *Hernandina*), naranjas (*navelina*) y limones (*Fino*, *Verna*). Las condiciones de desverdizado dependen de la variedad de fruta que se esté tratando, en este caso la concentración de etileno se mantiene entre 1 y 2 ppm, la humedad relativa entre 90 y 95%, la renovación de aire es necesaria para evitar la acumulación de CO₂ y no producir un estancamiento del proceso, pausando el desverdizado. Para generar la variación de color, trataron las variedades de mandarinas con el etileno como catalizador en un rango de temperatura entre 18 a 21°C, mientras que las naranjas en un rango de 20 a 22°C y los limones en un rango de 24 a 25°C, manteniendo tiempos variables que pueden ir de 1 a 7 días según el color inicial con el cual ingrese la fruta al tratamiento de aplicación de etileno. Es importante saber que las frutas que ingresan con un verde muy fuerte tardan más tiempo en desverdizar que las que ingresan con un verde con trazas amarillas (Conesa, 2018). Estudios realizados reciente por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, dictaminan las precauciones necesarias para realizar procesos de desverdizado, en donde exponen que es muy importante controlar la temperatura, la humedad relativa y la dosificación de etileno. Para un correcto desverdizado se recomienda una dosificación entre 1 y 3 ppm o alcanzar concentraciones inferiores a 5 ppm. Asimismo, consideran que el exceso de etileno acelera la respiración de los cítricos, lo que ocasiona que se produzca un envejecimiento prematuro, pérdidas de peso y podredumbres. Para obtener cítricos de calidad se debe procurar trabajar con temperaturas entre los 19 y 21°C, para así evitar el aumento de la respiración que induce al

incremento de la pérdida de peso, se aconseja trabajar la humedad relativa de 90 a 95% y limitar el tiempo a 72 horas para evitar desecación, envejecimiento y alteraciones fisiológicas de la corteza. El CO₂ se debe mantener en la cámara por debajo de 0,2%, pues el exceso de este ocasiona la inhibición del etileno y reduce la velocidad de desverdizado (Vazquez et al., 2020).

En Colombia los estudios desarrollados para evaluar la calidad de los cítricos, expresan que este país posee excelentes condiciones agroecológicas y de suelo por encontrarse ubicado en el trópico, lo que permite tener ventajas en comparación con otras zonas del mundo que se caracterizan por cultivar cítricos. En los tratamientos de cultivos se hace un resumen del estado fenológico del fruto en donde se requiere que éste haya alcanzado su maduración fisiológica para poder realizar un tratamiento de desverdizado cuando el fruto posea un epicarpio muy verde (Diaz, 2021). Por su parte en la actualidad muchos investigadores comparten su experiencia en los tratamientos poscosecha en donde explican que uno de los factores más influyentes para la conservación de los frutos tanto en el tratamiento de desverdizado como en su almacenamiento es la temperatura, por ende al exponer frutos a elevadas temperaturas se aumenta su tasa de respiración y aunque se aumenta la ganancia de carotenoides, se produce el incremento de pérdida de peso de los frutos (Balaguera & Palacios, 2018).

Con base a lo reportado previamente, en este proyecto se propuso realizar el tratamiento de desverdizado a la toronja Star Ruby para lograr alcanzar la pigmentación uniforme en toda la superficie de la fruta y además evitar fisiopatías. Por lo tanto, se ha decidido trabajar a temperaturas inferiores a los 25°C. Asimismo, se mantuvo la humedad relativa en un rango de 90 a 95%, manteniendo constante la concentración de etileno en la cámara por medio del generador catalítico Citrus que está diseñado para procesos de tratamientos con cítricos a concentraciones inferiores a 10 ppm.

3.2.1.2. Generalidades de la toronja

La toronja es un cítrico cultivado en áreas subtropicales y tropicales. Su origen se remonta al siglo XVIII. En 1830 se le asignó su nombre latino *Citrus paradisi*. Fue detectada en Barbados en las islas occidentales, desde allí su cultivo se extendió por todo el Caribe, y posteriormente a los Estados Unidos a una producción de gran escala. En países hispanoamericanos se le conoce como toronja y es un híbrido natural entre el pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osb) y la naranja dulce (*Citrus sinensis* (L.) Osb). El color de la pulpa de la toronja varía de blanco, amarillo, naranja a rojo, debido a los carotenoides o antocianinas (Murthy et al., 2020).

El árbol de toronja es de gran tamaño, frondoso y globoso, con pocas espinas. Posee hojas grandes con peciolo alado, son de tamaño intermedio, con alas grandes, nervios muy marcados, poseen un color verdoso y tienen estambres reducidos con un olor típico. Flores grandes de color blanco con abundante polen que no presentan problemas de cuaje. Los frutos son de forma globular y suelen aparecer en racimos y son de grandes dimensiones, pueden alcanzar un diámetro de 13 cm a 20 cm (Porras, 2014). Consta de exocarpo (flavedo: presenta vesículas que contienen aceites esenciales), posee un mesocarpo (albedo: pomposo y de color blanco) y endocarpo (pulpa: presenta tricomas con jugo) rosa o rojo (Maldonado, 2017). En la figura 1 se ilustra la estructura anatómica de la toronja Star Ruby, en donde se observa que la corteza está constituida por el epicarpio y el mesocarpo, mientras que los segmentos contienen el endocarpo (De La Rosa et al., 2016).

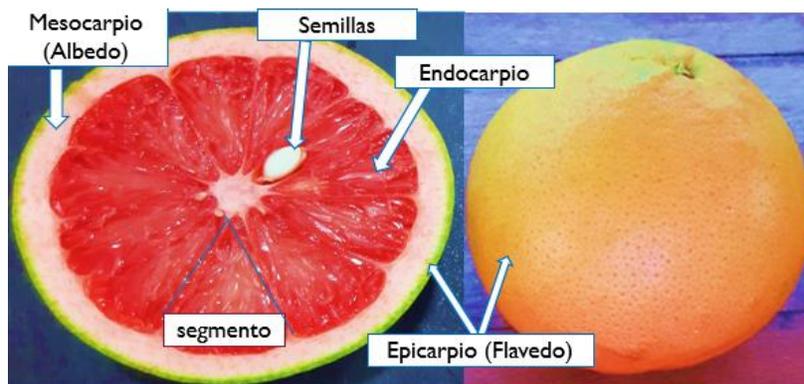


Figura 1. Estructura anatómica de la toronja Star Ruby.

La toronja contiene ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), su nombre según la IUPAC es 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico. Ésta compuesto por 27. 6 kilocalorías en 100 g de porción comestible, 6 g de carbohidratos, 0.8 g de fibra, 1.8 μ g de provitamina A, 10 mg de magnesio, 190 mg potasio, 40 mg de vitamina C, 18 μ g de ácido fólico (Zamora, 2014).

La toronja es uno de los cítricos más consumidos en el mundo, por su valor nutritivo y medicinal. Su popularidad se debe a la combinación de sabores, una leve acidez con astringencia, que proviene de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa), ácidos (cítrico y málico). De hecho, en los últimos años, el interés por los compuestos bioactivos en la dieta ha aumentado debido a sus beneficios para la salud, particularmente en la protección contra algunas enfermedades inflamatorias, cancerosas, cardiovasculares o neurodegenerativas (Mendes et al., 2019). Además, es muy consumida en ensaladas, jugos al natural o concentrado, néctares, mermeladas, conservas, confituras, jaleas y se

utiliza como ingrediente de cosméticos, jabones y detergentes. De la cáscara se extrae aceite esencial que se utiliza en la industria de la perfumería (Hozumi et al., 2017).

3.2.1.3. Patrones de respiración y pigmentaciones de la toronja.

Los cítricos pertenecen al grupo de los frutos no climatéricos ya que reducen su producción de etileno una vez son extraídos del árbol, lo que provoca que no continúe su proceso de maduración.

- *Comportamiento climatérico:* cuando el fruto experimenta una serie de cambios bioquímicos producidos por la acción autocatalítica de etileno después de ser extraído del árbol. Se da un aumento de la respiración, produciendo elevadas cantidades de etileno y CO₂, hasta alcanzar la maduración organoléptica (Pássaro et al., 2008).
- *Comportamiento no climatérico:* los frutos son incapaces de sintetizar el etileno después de ser extraídos del árbol, dicho esto carecen de la capacidad de seguir con el proceso de maduración después de separar el fruto del árbol, no producen elevadas cantidades de etileno para mejorar la madurez de consumo o gustativa (piel, sabor y aroma, entre otras), así que el fruto debe alcanzar su madurez interna antes de ser extraído del árbol (Pássaro et al., 2008).

3.2.1.3.1. Clorofila.

La clorofila está presente en los frutos inmaduros, ha sido ampliamente estudiada junto con sus derivados, debido a sus inmensas propiedades biológicas, los cuales al principio de su desarrollo contienen grandes cantidades de cloroplastos en la cáscara. Durante la maduración los cloroplastos son gradualmente desorganizados a medida que el tilacoide es destruido y la clorofila se descompone, además se encuentran en las hojas que son responsables del proceso fotosintético y de las tonalidades verdes de las plantas. Son entidades que llevan a cabo el proceso fotosintético productor de energía utilizando luz solar, CO₂ y agua (Wojdyło et al., 2021).

3.2.1.3.2. Etileno.

El etileno actúa como una fitohormona volátil y es ampliamente conocido por ser un regulador clave de los procesos de desarrollo de las plantas, como la maduración en frutos climatéricos, no climatéricos y la senescencia en varios tejidos. El etileno se sintetiza en todos los órganos de las plantas, incluidas las hojas, las raíces, los brotes y las flores; sin embargo, las tasas más altas de síntesis de etileno se encuentran durante la maduración (Garza-Aguilar et al., 2020). En las frutas

no climatéricas no hay incremento en la producción de etileno, pero la aplicación de este ocasiona que se produzca el cambio de color en el flavedo de los cítricos (Pássaro et al., 2017b).

3.2.1.3.3. Carotenoides.

Los carotenoides son los principales componentes bioactivos que se encuentran en los frutos. Las coloraciones amarillas, anaranjadas y rojas son causadas por la presencia de carotenoides. Estos pigmentos junto con la clorofila se encuentran en los especímenes capaces de realizar la fotosíntesis. Estos compuestos solo son sintetizados por las plantas (Assaf Silva, 2007).

3.2.1.4. Calidad de la toronja.

El cuidado de la fruta es muy importante desde la cosecha, por eso diariamente se busca darle cumplimiento a los estándares de calidad que están establecidos en el Codex Alimentarius, Normas de Calidad de la Unión Europea y Normas de calidad vigentes en Estados Unidos. En Colombia se aplican las Normas Técnicas Colombianas (NTC) expedidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) que realizan los mismos controles que las normas de la Unión Europea (Pássaro et al., 2017a). Actualmente, la empresa Tamacal Fruit S.A.S se encuentra en proceso de adquirir la certificación por parte de Good Agricultural practice – GAP (Global-GAP).

La certificación Global-GAP tiene sus inicios en 2003. Surgió con el propósito de brindar garantías de seguridad en cuanto a la calidad de los alimentos, involucrando todas las actividades de pre cosecha hasta la manipulación postcosecha en la seccional de empaque, establece normas de buenas prácticas agrícolas para las empresas de producción y de procesamiento de alimentos, aplica para granjas o fincas que cumplen con las buenas prácticas agrícolas. Las organizaciones agrícolas deben demostrar su trabajo responsable en los cultivos basados en esta norma que es reconocida internacionalmente (Control Unión Perú SAC, 2021; Global GAP, 2021).

El Codex Alimentarius contiene los requisitos mínimos de todas las categorías de los cítricos, además especifica las disposiciones especiales para cada categoría (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., 2007). Los frutos deberán cumplir:

- Estar enteros.
- Estar sanos y exentos de podredumbre o deterioro que no permitan que sean aptos para consumo.

- Libres de daños, estar exentos de cualquier olor y/o sabores extraños.
- Estar limpios y exentos de plagas que afecten el aspecto general.
- Estar exentos de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción a una cámara frigorífica.
- Estar exentos por daños ocasionados por las bajas y/o altas temperaturas.
- Estar exentos de indicios de resequedad.

Las normas de calidad de la Unión Europea establecen las características relevantes de los atributos de los cítricos, para evitar que estos puedan causar daños en la salud de los consumidores (Conesa, 2018).

El reglamento UE 543/2011 establece la norma de comercialización de los cítricos, regula la calidad, la coloración, la clasificación (extra, I, II) y los requisitos mínimos de madurez. Los procesos de comercialización de hortalizas y frutas frescas requieren que la empresa ejecute controles, con el fin de darle cumplimiento a las normas y otros requisitos legales (Comisión Europea, 2020). En los procesos de producción de cítricos las normas de calidad tienen por objeto establecer los requisitos que deberán cumplir las frutas tras su acondicionamiento y envasado, cada uno de los frutos deben estar enteros, limpios, exentos de daños superficiales y cumplir con los requerimientos mínimos de madurez que se basan en alcanzar un grado de desarrollo adecuado al momento de la recolección para alcanzar el color típico de la variedad a la que pertenezcan (Unión Europea, 2011).

3.2.1.5. Parámetros de calidad.

La calidad de un producto depende de una serie de factores y características relacionadas con sus propias condiciones intrínsecas. La calidad de los cítricos viene determinada por las cualidades importantes para ser aceptadas por el consumidor, entre estas cualidades se pueden identificar aquellas que hacen referencia a la calidad externa del fruto como la forma, el peso, el espesor de la corteza y el índice de color. También se examina las características que integran la calidad interna del mismo fruto, como el contenido de zumo, la acidez, el contenido de azúcares (SST) y el índice de madurez (IM).

3.2.1.5.1. Parámetros Físicos.

Los atributos físicos son muy importantes porque permite distinguir unos frutos de otros, estos atributos son medidos aplicando principios físicos.

A. Peso y Tamaño.

El peso y el tamaño son un parámetro básico de la calidad de la fruta (Pássaro et al., 2017b), permiten captar la atención del consumidor, actúan como parámetros críticos ante las preferencias de los compradores en el mercado pues existe la tendencia de consumir frutos grandes antes que otros pequeños (Arévalo, 2013).

B. Espesor de la Corteza.

El espesor del albedo es uno de los parámetros que se debe tener en cuenta para evaluar la calidad de las toronjas debido a que existe una estrecha relación entre el grosor del albedo y su tamaño. Se puede considerar que los frutos extra grandes poseen mayor grosor del albedo, lo cual no es muy aceptable por los consumidores (Bello et al., 2014).

C. Color.

Todas las variedades de cítricos son frutos no climatéricos, por lo que se cosechan cuando ya cumplen con su punto de maduración interna adecuado, que es esa relación existente entre los sólidos solubles totales y la acidez. Este indicador se debe alcanzar en el árbol debido a que los cítricos no continúan con su proceso de maduración cuando la fruta es arrancada del árbol. El hecho de que los cítricos presenten una coloración verde no es un indicativo de que la fruta no haya alcanzado su grado de madurez adecuado para su ingesta. La coloración deberá ser la típica de la variedad o cumplir con la coloración comercial en dos tercios de la superficie de la fruta. Se permite que las frutas de color verdoso que cumplan con los requisitos mínimos de maduración se puedan desverdizar (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., 2007).

D. Sólidos Solubles Totales (SST).

El contenido de azúcar se puede determinar directamente por procedimientos químicos, pero resulta más fácil e igualmente útil utilizar un refractómetro o un hidrómetro. Para esto se realiza la extracción del jugo de la fruta. El refractómetro sirve para observar la desviación de la luz polarizada al atravesar una solución, en este caso el jugo de toronja. La graduación del instrumento viene dada en grados brix (Arévalo, 2013). El contenido mínimo de sólidos solubles totales no deberá ser inferior al 8% (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., 2007).

3.2.1.5.2. *Parámetros Químicos.*

Son tan importantes que hacen referencia a las características principales de los productos de calidad.

A. Acidez Total (AT).

El ácido cítrico es el ácido predominante en los cítricos, se encuentra en un rango del 80-95% de los ácidos totales de la mayoría de este tipo de frutas. Este ácido constituye la mayoría de los SST, cuando el contenido de azúcar es muy bajo, lo cual es un indicador de que la fruta aún no está madura. La acidez se determina por valoración ácido-base con NaOH al 0,1 N (Arévalo, 2013).

B. Índice de Madurez (IM).

Es la relación existente de la tasa de azúcares entre los ácidos. Refleja la comestibilidad de la fruta y suele estar expresada en términos del cociente de los SST/acidez. Este parámetro permite determinar la madurez comercial, así como su índice organoléptico. El porcentaje mínimo de sólidos solubles totales por refractometría es de 12° brix, mientras la acidez titulable se expresa como ácido cítrico %m/m = 0,7. Lo que indica que los cítricos han alcanzado su madurez cuando el IM > 1 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013)

Los frutos se clasifican en tres categorías, según su calidad como se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. *Clasificación de las toronjas según su calidad.*

Categoría Extra.	Categoría I	Categoría II.
Calidad superior	Buena calidad.	Calidad mínima a las anteriores.
Sin daños externos	Defectos leves externos.	Se incrementan los daños externos.
Coloración propia de la variedad.	Defectos leves de coloración.	No existe coloración homogénea, defectos de forma.
Buen aspecto exterior.	Buen aspecto exterior.	Desmejora el aspecto exterior, presentan defectos de coloración.
Sin defectos superficiales.	Defectos leves en la superficie del fruto.	No se afecta las propiedades organolépticas.

Fuente: (Comisión Europea, 2020; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., 2007; Unión Europea, 2011).

3.2.1.6. Información de la empresa.

La empresa Tamacal Fruits S.A.S fue fundada en un entorno familiar hace 30 años, por dos hermanos gemelos, el médico Armando Torres y el ingeniero agrónomo Alberto Torres. La empresa está constituida como una sociedad por acciones simplificadas, se dedica a la producción y comercialización de frutas tropicales y subtropicales, cuya gran fortaleza se basa en las buenas prácticas agrícolas (BPA) para comercializar frutos valorados por su alta calidad.

La empresa Tamacal Fruit dispone dentro de sus activos con tres fincas: el Espejo, Tamacal y Concepción. En la finca Concepción solo se cosechan árboles de toronja Star Ruby, en las otras fincas cultivan distintos frutos cítricos como la naranja valencia, tangelo, pomelo y limones.

El organigrama de la empresa Tamacal Fruit S.A.S se muestra en la figura 2.

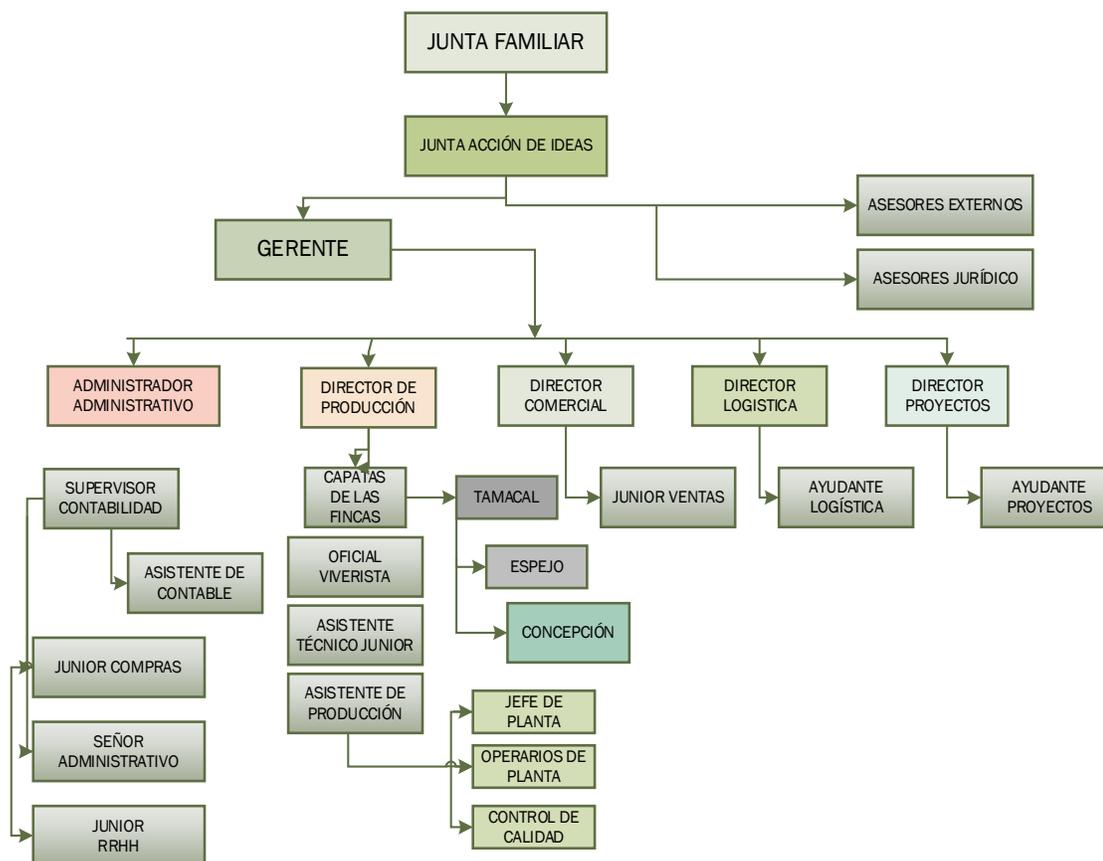


Figura 2. Organigrama de la empresa Tamacal Fruit S.A.S

La finca Concepción se encuentra en la vereda la Mojana, del corregimiento de Peñoncito, del municipio de San Zenón, Magdalena. Se llega por el camino que va desde el peaje de Santa Ana

Magdalena, hacia el municipio de Pijiño, luego a partir del corregimiento de Peñoncito del municipio San Zenón a 1,5 km del carretable hacia la Cabeza de San Zenón se da un cruce a la derecha, de ahí a 280 metros en la desviación dónde está la Cruz Blanca como punto de referencia. Después se cruza a la izquierda y luego de recorrer 1,2 km se encuentra el portón de ingreso a la Finca Concepción. El área total de la finca Concepción es de 55 hectáreas y el área aproximada sembrada es de 36,7 hectáreas.

El organigrama de la finca Concepción de la empresa Tamacal Fruit S.A.S se muestra a continuación en la figura 3:

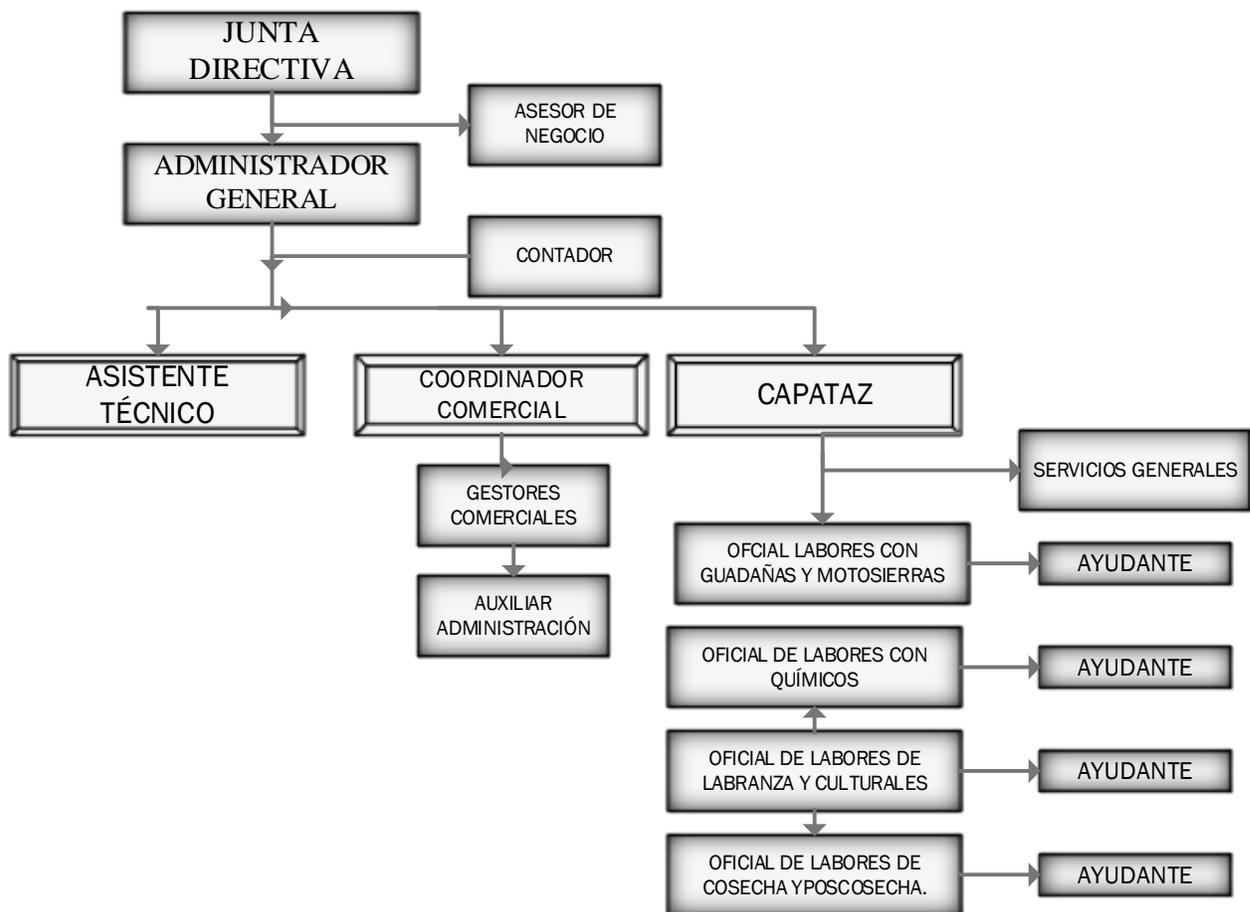


Figura 3. Organigrama finca Concepción de la empresa Tamacal Fruit S.A.S

3.2.1.7. Equipos de la empresa.

La empresa Tamacal Fruit S.A.S cuenta con la infraestructura y equipos necesarios para la llevar a cabo los tratamientos postcosecha de las frutas que producen. A continuación, se enlistan dichos equipos.

3.2.1.7.1. Enfriador Evaporativo.

El enfriador evaporativo se utiliza en grandes edificaciones industriales o comerciales, ofreciendo soluciones para el control de temperatura, utiliza el principio de la evaporación del agua para generar aire fresco. Estos requieren de un bajo consumo de agua y energía, y contribuyen a la protección del medio ambiente. En los procesos proporcionan altas eficiencias y bajos niveles de ruido al momento de su funcionamiento. Este equipo se considera el pilar del proceso de desverdizado, permite mantener la atmósfera controlada pues disminuye la temperatura de la cámara, aumenta la humedad y contribuye con la renovación de aire. Funciona tomando el aire del exterior a condiciones ambientales y lo pasa por el panel evaporativo que actúa como un relleno, transformando el aire caliente-seco en aire frío-húmedo, en la tabla 2 se pueden observar los parámetros de diseño del enfriador evaporativo (Glaciar Ingeniería S.A.S, 2014).

Tabla 2. Características del Enfriador Evaporativo.

Enfriador Evaporativo			
Marca	Glaciar S.A.S	Modelo	EEX-39310
Dimensiones			
A	1382 mm	C	1174 mm
B	1522 mm	D	3937 mm
Peso neto	120 kg	peso en operación	156 kg
Ventilador			
Diámetro	800 mm	Velocidad máxima	1100 rpm
Potencia máxima	3100 W	Fases	3
Voltaje	208-240 Ø	Flujo de aire	9000- 14500 cfm
Bomba			
Caudal	19 L/min	Voltaje	230 Ø
Relleno			
Área del Celdek	39,37 ft ²		

Fuente :(Glaciar Ingeniería S.A.S, 2014).

3.2.1.7.2. Generador Catalítico.

Es un equipo que proporciona una producción de etileno continúa y constante para un proceso de maduración o un de desverdizado. Las frutas no climatéricas son muy sensibles al etileno,

por esta razón el generador de etileno Citrus viene diseñado para evacuar concentraciones entre 1 y 10 ppm. Estas concentraciones no causan daños fisiológicos a las frutas y por el contrario permiten garantizar una adecuada variación de la pigmentación del flavedo de la fruta. Asimismo, la aplicación de etileno debe controlarse a una temperatura óptima durante un determinado tiempo en específico para evitar el deterioro temprano. El generador de etileno para cítricos está diseñado para desverdizar cámaras de un volumen de 850 m³, en la tabla 3 se presentan las características de este equipo (Catalytic, 2021).

Tabla 3. Características del Generador Catalítico Citrus.

Generador catalítico Citrus	
Peso del generador	5,9 kg
Dimensiones	
Alto	30,5 cm
Profundidad	12,1 cm
Ancho	25,4 cm
Voltaje	220 VCA
Interruptor de 8 niveles de evacuación	
1	172 h/L.
2	140 h/L.
3	120 h/L.
4	108 h/L.
5	96 h/L.
6	84 h/L.
7	72 h/L.
8	60 h/L.

3.2.1.7.3. Detector de la Calidad del Aire Profesional CO₂, Temperatura y Humedad.

Es un aparato electrónico que se encarga de detectar la calidad del aire, se adapta a un módulo de detección electroquímica de alta precisión, posee un sensor digital que le permite medir la temperatura y la humedad con una alta eficiencia. Se utiliza en los procesos de desverdizado para medir la transpiración de la fruta y realizar las evacuaciones periódicas al producirse la acumulación de CO₂, en la tabla 4 se presentan las características de este aparato (PCE Instruments, 2021).

Tabla 4. Características del Detector de CO₂.

Detector de la calidad del aire: CO₂, T y HR			
Marca	Generic	Modelo	JD-3002 CO2 TVOC USB
Especificaciones			
Material	Plástico	Peso del detector	222 g
Pantalla	LCD	Dimensiones	7 cm*16 cm*25cm
Rango de medición de T	0 - 90°C.	Rango de medición de CO ₂	350 - 2000 ppm
Forma de carga	Entrada USB		
Batería			
Material	Litio	Voltaje	3,7 V

3.2.1.7.4. Termohigrómetro Digital Htc-2 Sonda Temperatura y Humedad.

Es un dispositivo multifuncional que mide la temperatura tanto externa como interna de la cámara, consta de una sonda incorporada para medir la temperatura exterior, además permite medir la humedad relativa en el interior del cuarto, posee un reloj y calendario. Se utiliza en los procesos de desverdizado para monitorear que el área de trabajo se encuentre en las condiciones adecuadas de temperatura y humedad. En la tabla 5 se puede observar las características de este equipo (Electronilab., 2021).

Tabla 5. Características del Termohigrómetro Digital.

Termohigrómetro Digital Htc-2 Sonda Temperatura y Humedad			
Marca	PCE Instruments	Modelo	HTC-2
Especificaciones			
Material	Plástico	Peso	140 g
Pantalla	LCD	Dimensiones	102mm*92mm*25mm
Rango de medición de T	-10 °C - 90°C	Rango de la Humedad Relativa.	10% -99%
Fuente de energía	Batería AAA (1,5 V)	Longitud de Sonda	1 m

3.2.1.7. Mejoramiento de los procesos

Los principales intereses de una organización al imponerse como meta el mejoramiento de los procesos de la empresa consisten en: disminuir los diferentes tipos de despilfarro, eliminar en la

mayor parte los errores en los métodos de trabajo, minimizar los tiempos de demoras, maximizar el aprovechamiento de los activos, promover el entendimiento de éstos por parte del personal, simplificar el uso de los mismos, ser amigables con el cliente y adaptables a las solicitudes cambiantes de los clientes entre otros. Teniendo en cuenta que todo esto proporcione a la organización una ventaja competitiva. En la metodología de manejo de fases utilizada por Harrington H. James, en su libro “Mejoramiento de los Procesos de la Empresa”, se describe unas fases respecto al mejoramiento de procesos de las empresas (Harrington, 1993). Las fases son:

- **Fase I.** *Organización para el mejoramiento:* se asegura el éxito mediante el establecimiento de liderazgo, comprensión y compromiso.
- **Fase II.** *Comprensión del proceso:* Comprender todas las dimensiones del actual proceso de la empresa.
- **Fase III.** *Modernización:* Mejorar la eficiencia, efectividad y adaptabilidad del proceso de la empresa.
- **Fase IV.** *Medición y controles:* Poner en práctica un sistema para controlar el proceso para un mejoramiento progresivo.
- **Fase V.** *Mejoramiento continuo.*

4. METODOLOGÍA

En el presente proyecto se realiza el proceso de desverdizado de toronjas Star Ruby aplicando etileno con un generador Citrus que opera en continuo, teniendo en cuenta las principales variables del proceso productivo identificadas previamente (índice de color, temperatura, humedad relativa, grados brix, acidez y el tamaño del fruto). Para su ejecución se le dio uso a unas instalaciones y equipos que se encontraban sin operar. Con este proyecto se espera lograr comercializar toronjas a las que se les ha dado un valor agregado al mejorar su apariencia al conseguir un color homogéneo del flavedo.

4.1. Materiales y Métodos.

4.1.1. Materiales

En el desarrollo del proyecto se han utilizado herramientas de oficinas como Computadores, hojas para impresiones, internet, softwares como Google drive, Bitrix24, Excel, Word, Visio entre otras herramientas que permitieron cumplir la fase de oficina. Para la fase operacional se utilizaron

herramientas, equipos e insumos como el enfriador evaporativo Glaciar S.A.S, el generador catalítico Citrus, una bomba fumigadora Lhaura, el detector de CO₂, el catalizador líquido Eti-Gen II, un termohigrómetro digital Htc-2 con sonda de temperatura y humedad y frutos de toronja Star Ruby provenientes de la finca Concepción.

4.1.2. Métodos

4.1.2.1. Índice de color (IC).

El color se midió utilizando tablas cromatográficas para cítricos (Anexo 1), registradas por el IVIA, en donde se analizó el estado inicial con el cual fue recolectada la fruta, generalmente de color verde. Luego la fruta se ingresó a la cámara desverdizadora, en donde se midieron los cambios de colores que se iban dando durante la aplicación de etileno, y se monitorearon cualitativamente cada 4 horas hasta completar las 72 hrs. Se observaron las variaciones de color desde verde hasta coloraciones naranjas o en la gama de los rojos según la tonalidad característica de la variedad.

4.1.2.2. Pérdida de peso.

Para determinar la pérdida de peso de los frutos durante su conservación postcosecha, estos se pesaron al iniciar el proceso de desverdizado (t = 0 h) y al finalizarlo. Para calcular el porcentaje de pérdida de peso se reemplazaron estos datos en la ecuación 1, donde Pi es el peso inicial del fruto y Pf el peso final.

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Ecuación 1. Determinación del porcentaje de pérdida de peso.

4.1.2.3. Acidez Titulable.

El porcentaje de acidez se valoró por titulación acido-base con NaOH al 0,1 N de factor conocido. La acidez se expresó como ml de NaOH al 0,1 N necesarios para neutralización de los ácidos orgánicos presentes en 100 gramos de porción comestible (Villalba et al., 2014).

4.1.2.4. Índice Refractométrico.

Los grados Brix y sólidos solubles totales (SST), se determinaron utilizando un refractómetro manual ATC. Esta determinación se mide a una escala graduada en grados brix, consistió en

tomar una gota del jugo de cada una de las toronjas y se colocó entre la tapa y el prisma, luego se cerró la tapa y se procedió a mirar el ocular para observar el rango.

4.1.2.5. Cantidad de Jugo.

Se determinó mediante la selección del fruto, para luego extraerle el jugo con un exprimidor industrial, el contenido del jugo se midió con una probeta.

4.1.2.6. Índice de madurez (IM).

El índice de madurez (IM) se calculó mediante la relación que existe por parte de los grados brix o SST y la acidez del zumo (ecuación 2), siendo la acidez del zumo, la acidez titulable expresada en 100 mg/100 g de porción comestible.

$$\text{Índice de madurez} = \frac{\text{grados Brix}}{\text{Acidez titulable}}$$

Ecuación 2. Determinación del Índice de madurez de la toronja Star Ruby.

4.2. Diseño metodológico.

Se han definido una serie de fases para el desarrollo del trabajo de grado a partir de una secuencia adaptada a las características del proyecto, encaminado a la búsqueda del cumplimiento de los objetivos.

Las fases para el desarrollo del proyecto han sido agrupadas de tal forma que su secuencia se mantenga adaptada a la metodología de manejo de fases utilizada por James H. Harrington en su libro “Mejoramiento de los Procesos de la Empresa”(Harrington, 1993).

Fases del proyecto de grado.

- **Fase I:** Investigación de información.
- **Fase II:** Diagnóstico de la empresa.
- **Fase III:** Análisis de las instalaciones, equipos e insumos.
- **Fase IV:** Documentación para el proceso.
- **Fase V:** Instrumentación de medición y análisis.
- **Fase VI:** Mejoras continuas en el proceso de desverdizado.
- **Fase VII:** Planeación y ejecución.

En la figura 4 se pueden observar las diferentes fases que se desarrollaron en el proyecto de grado y su relación o concordancia con la metodología sugerida por el doctor James H. Harrington, en su libro ya mencionado.

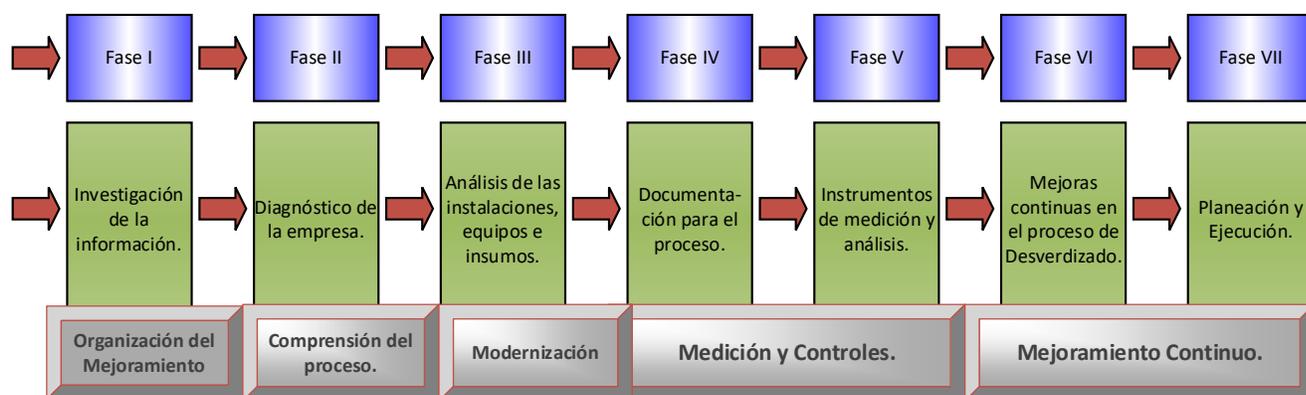


Figura 4. Diagrama de fases para la metodología.

Para dar inicio al proceso se cubrieron las siguientes etapas:

4.2.1. Etapa inicial: Investigación de la información.

Su objetivo fundamental fue la elaboración del proyecto de trabajo, para lo cual se determinó el objeto de estudio, que era enfocarse en los parámetros para el proceso de desverdizado. Se requirió realizar revisiones bibliográficas y entrevistas a diferentes miembros de TAO QUÍMICA S.A.S, en especial al personal gerencial, cuyo cargo es ocupado por el ingeniero Jaime Andrés Duque, profesional encargado de la atención a los usuarios que adquirieron el generador catalítico Citrus en su empresa. Posteriormente, se estableció contacto con expertos conocedores del tema en el área de desverdizado en la empresa Asocie Perú, quienes brindaron información que permitió realizar el plan de mejoramiento de las instalaciones del proyecto. Inmediatamente se realizaron una serie de intervenciones que permitieron identificar el estado actual de la cámara desverdizadora, las necesidades y los requerimientos para realizar un correcto desverdizado.

4.2.1.1. Diagnóstico inicial

Se realizó la visita a la finca Concepción en donde se hizo una evaluación de las instalaciones, inspección de los equipos analizando si funcionaban o presentaban daños técnicos. En este apartado se observó que la empresa necesitaba realizar una gran inversión en equipos como lo es adquirir un humidificador ultrasónico, ya que el sistema actual de microaspersores aportaba un tamaño de gota de agua muy grande lo cual no favorecía el proceso y generaba quemaduras en epicarpio del fruto.

4.2.1.2. Comprensión del proceso

El proceso de desverdizado consiste en mantener atmósferas controladas en la cámara en donde se aplica etileno, bajo este criterio se hizo énfasis en manipular la temperatura, la distribución de las canastas para mejorar la ventilación del área de trabajo y se seleccionaron variables como la acidez, los grados brix, el índice de color, el contenido de jugo, el índice de madurez y el peso para monitorear el proceso. Se tomaron las dimensiones de la cámara como se ilustra en la figura 5, se obtuvo que la cámara de desverdizado tiene un área de 200 m² para un volumen de 440 m³. Después se creó un esquema de ubicación o instalación de los equipos en el que se puede observar que el enfriador evaporativo es el equipo de mayor tamaño en la cámara (figura 6).

También se hizo un seguimiento a toda la tubería y a los tanques de almacenamiento de agua para identificar cuales abastecían el área de maquilado y desverdizado. Esta intervención fue muy importante porque a partir de esta información, se empezaron a realizar listas de chequeo y una serie de mejoras a las instalaciones.

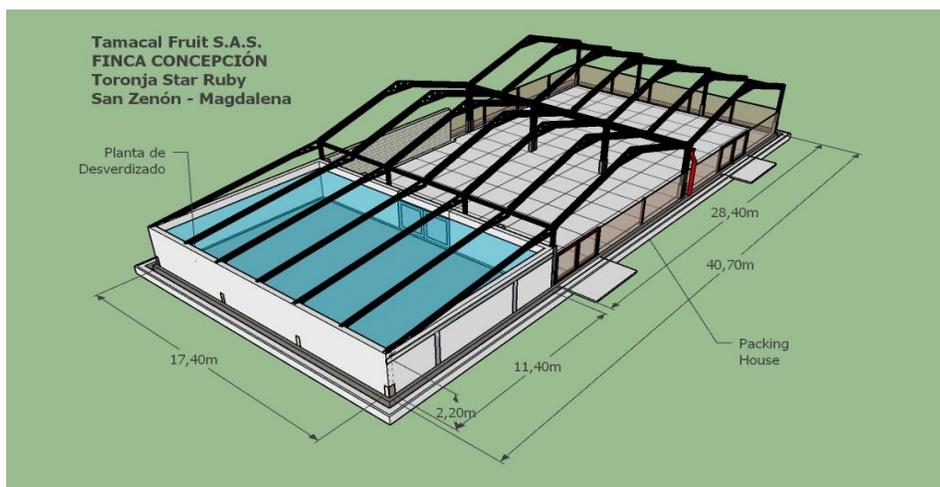


Figura 5. Dimensionamiento del área de desverdizado en la Finca Concepción.

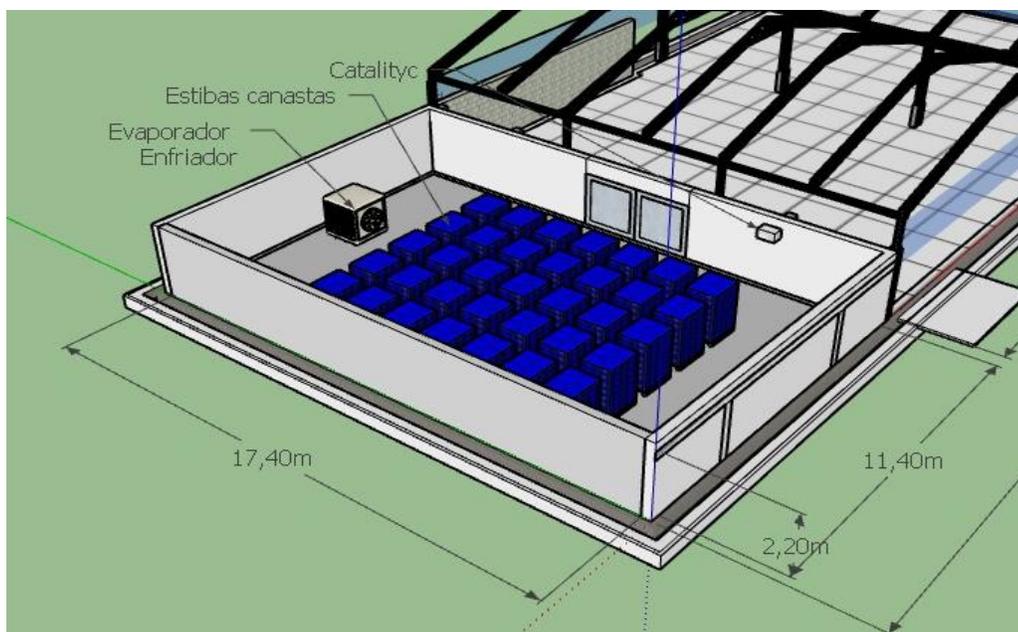


Figura 6. Distribución de los equipos en la cámara de desverdizado.

4.2.1.3. Modernización.

Consistió en el mejoramiento del área de trabajo, siguiendo el protocolo de desverdizado para cítricos de la empresa Sanifruit, la cual fue fundada en 1987 en España, es pionera por realizar tratamientos de poscosecha en el sector citrícola ejecutando los estándares de calidad vigentes (Mir, 2021). Por lo que se buscó adecuar la sala de tal forma que el proceso fuese eficiente, efectivo y similar a las cámaras funcionales acondicionadas, como las utilizadas para desverdizar frutos a temperaturas menores de $< 25^{\circ}\text{C}$ (Sanifruit, 2021).

En este apartado se resalta que la cámara de desverdizado de la empresa Tamacal Fruits se encuentra equipada con un enfriador evaporativo, un generador catalítico Citrus y un termohigrómetro digital (figura 7). En la instalación se analizó la distribución de las estibas, de tal forma que el Eti-Gen II utilizado como insumo para generar el cambio de color se esparciera homogéneamente a todos los cítricos en la cámara.

Con base en los anterior, se decidió poner señalizaciones que indicaran la posición de cada estiba dentro de la cámara para cuando se ingresara fruta para desverdizar.

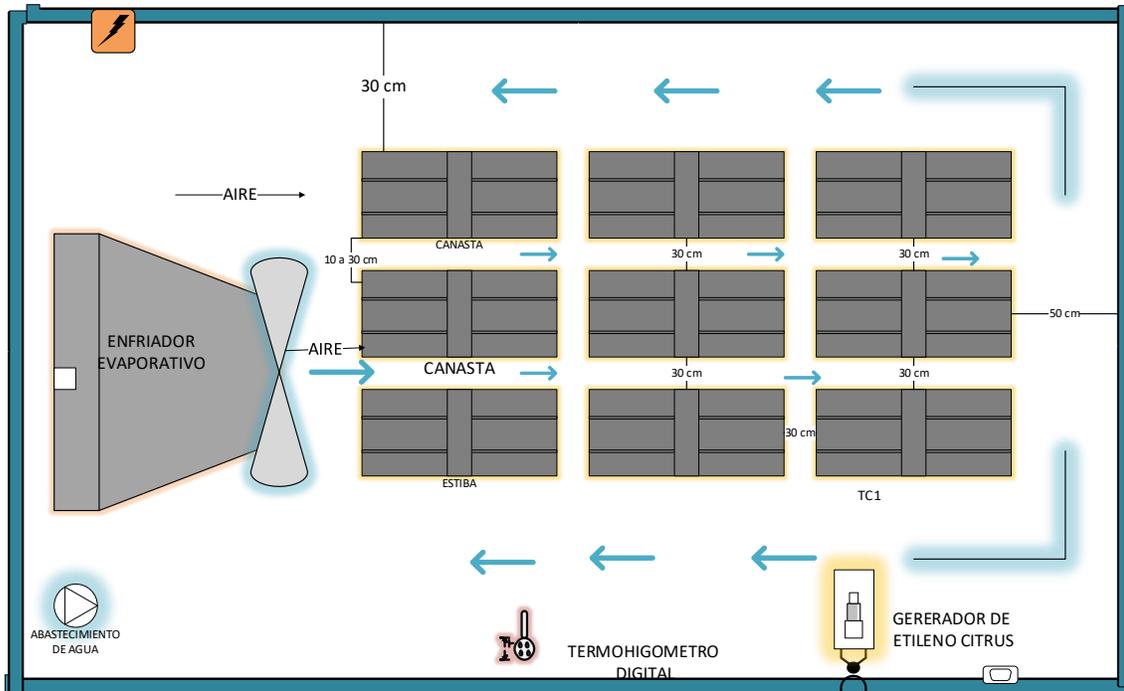


Figura 7. Cámara de desverdizado de la empresa Tamacal Fruit S.A.S sin ningún tipo de mejoras.

4.2.1.4. Medición y controles.

En este apartado se redactaron protocolos de procesos y equipos en donde se especifican las condiciones de operación de la cámara de desverdizado (Anexo 2). Se diseñaron formatos para el inicio, la operación y la finalización del proceso (Anexos 3, 4 y 5, respetivamente) y un listado de mejoras para la cámara de desverdizado que consiste en adquirir equipos avanzados a corto, mediano y largo plazo.

La documentación generada sirve como base para promover una cultura organizacional de reporte y registro, que en un futuro facilitará el seguimiento del proceso en la empresa. Además, en la documentación quedaron los registros de las mediciones de los equipos y dispositivos de la tabla 6.

Tabla 6. Principales equipos que se utilizan en el proceso de desverdizado.

Equipo	Imagen	Utilización
Enfriador evaporativo		Se encarga de reducir la temperatura de la cámara, tomando el aire exterior a condiciones ambientales, luego lo pasa por el panel evaporativo o relleno para transformarlo en aire frío y húmedo.
Generador catalítico		Realiza evacuaciones continuas de Eti-Gen II, el cual se introduce por un orificio en la parte superior y se activa al entrar en contacto con el calor proporcionado por el generador.
Termohigrómetro digital		Sensa la temperatura tanto interna como externa de la cámara y también mide la humedad relativa.
Detector calidad aire profesional CO ₂ , temperatura y humedad.		Mide concentraciones de CO ₂ que transpira la fruta durante el proceso.

4.2.1.5. Mejoramiento continuo.

Se realizó una inspección de los avances realizados en las instalaciones y con el estado actual de la planta. Se llevó a cabo un desverdizado disponiendo de un controlador de temperatura, humedad relativa y flujo continuo de etileno a concentraciones inferiores a 10 ppm. De ahí surgió la necesidad de construir un techo flexible en plástico para conducir el aire producido por el enfriador evaporativo (figura 8) sobre las canastas de frutas ingresadas a la cámara para desverdizarse (figura 9). Esto se hizo con el fin de evitar que el aire producido por el enfriador

evaporativo impacte negativamente sobre la epidermis de la toronja y lograr prevenir daños externos ocasionados por no mantener una adecuada ventilación de aire. En la figura 10 se puede observar el diseño final del techo construido en plástico.



Figura 8. Elaboración del techo plástico.



Figura 9. Transporte del aire producido por el enfriador evaporativo sobre las canastas de toronja.



Figura 10. Visualización del techo elaborado para producir el transporte del aire.

4.2.1.6. Mejoras realizadas en la cámara de desverdizado.

- Se construyó un techo falso en plástico negro para transportar el aire sobre las canastas, para que se produjera una recirculación del aire que salía del enfriador evaporativo, para desplazarse por el plástico y luego descender a la parte inferior donde se encontraban las canastas.
- Se demarcó el área en donde iban ubicadas las estibas, para que existiera un reparto homogéneo del aire, tomando como referente el dimensionamiento especificado por la empresa Sanifruit en donde las canastas deben estar separadas por lo menos 50 cm del evaporador, 30 cm de las paredes y las canastas o estibas deben estar separadas de 10 a 30 cm entre sí.

Al realizar una prueba piloto se observó que el enfriador evaporativo no estaba bajando suficientemente la temperatura ($T < 25^{\circ}\text{C}$), como lo recomendado por otros autores (Chaudhary et al., 2015; Conesa, 2018; Fagro Post Harvest Solutions, 2018; Morales et al., 2020; Sdiri et al., 2012). A este respecto, en otro trabajo reportaron el uso de un aire acondicionado para mantener baja la temperatura de la cámara (Sanifruit, 2021). Es por esto que, se instaló un aire acondicionado el cual actuaba como un apoyo sustituto para el enfriador evaporativo, para contribuir a que la temperatura descendiera, como se muestra en la figura 11. El enfriador evaporativo se utilizó para generar un flujo continuo de aire por toda la cámara y evacuar el CO_2 producido por las frutas cuando se generaba una acumulación de 2000 ppm.

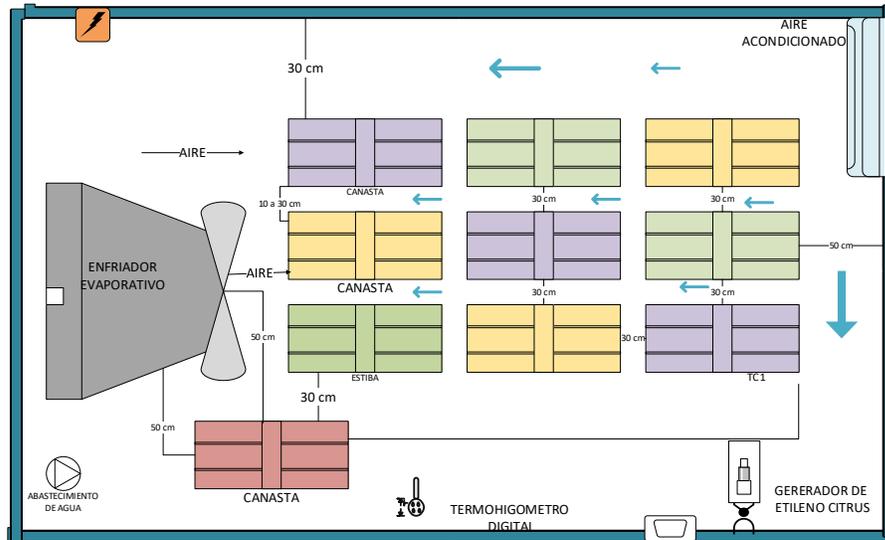


Figura 11. Cámara de desverdizado mejorada con la instauración de un aire acondicionado.

En la etapa de mejoramiento continuo la empresa estipuló que las mejoras son actividades permanentes cuya finalidad es prepararse para los retos que abarca la operación y la exploración de nuevos mercados. De ahí se sugiere a la empresa crear un plan de mejoramiento basado en los procesos PHVA, que requiere Planear, Hacer, Verificar y Actuar, según se muestra en la figura 12.

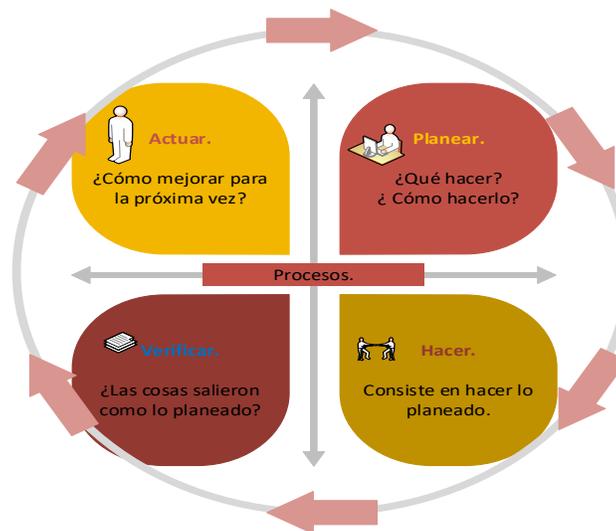


Figura 12. Diagrama PHVA.

La utilización del modelo PHVA está orientado en tener un enfoque claro sobre los procesos para promover un mejoramiento continuo. Asimismo, despertar el interés de todos los involucrados

en el proyecto, para laborar en un ambiente organizado, manteniendo los procedimientos bajo control, para vigilar que las actividades se ejecuten bajo lo estipulado.

Se elaboró un PHVA que consistió en asignarle valores a las variables de entrada del proceso de desverdizado (tabla 7), para luego hacer el proceso e ir verificando si se daba cumplimiento a esa asignación en el momento de actuar. Cuando se realizaba cada monitoreo del proceso se ingresaban los datos al formato que lleva por nombre monitoreo de las toronjas al inicio y durante el desverdizado (Anexo 3), para así saber en qué momento las condiciones eran alteradas según el funcionamiento de los equipos.

Tabla 7. Condiciones asignadas en el PHVA para el proceso de desverdizado.

Condición	Rango
Nivel de etileno	7
Temperatura	< 29°C
Humedad relativa	90 – 95%
Transpiración de CO ₂	<=2000 ppm
Separación entre las estibas	30 cm
Ventilación de aire	Continuo

Durante la ejecución de los procesos de desverdizados se identificaron las actividades a realizar, por lo tanto, el personal de trabajo directo (personal operativo) debe realizar el protocolo de desverdizado bajo los acuerdos formulados. Es de vital importancia aclarar que la temperatura de la cámara jamás puede exceder los 29°C.

4.2.1.7. Validación

Se sometió a juicio las modificaciones realizadas a la cámara y se analizó si el proceso de desverdizado cumplía con los requerimientos de calidad, en este caso el principal factor a calificar es la obtención de frutos con un color homogéneo libre de daños externos y fisiopatías.

4.2.2. Etapa de análisis

Su objetivo fue realizar los cálculos estadísticos referidos a los datos obtenidos durante la ejecución del proceso de desverdizado. De igual manera es muy importante señalar que la discusión de los resultados se realizó a partir de los datos obtenidos en el proceso experimental en la cámara de desverdizado, teniendo en cuenta los datos plasmados como fundamentos teóricos y la

información reportada por otros investigadores que consideraron las mismas variables en sus trabajos.

También se realizó un análisis DOFA para la identificación de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de este proyecto. Consistió en evaluar esos puntos máximos y mínimos en que opera la empresa, teniendo en cuenta que se aspira a reproducir de forma continua los procesos desverdizados.

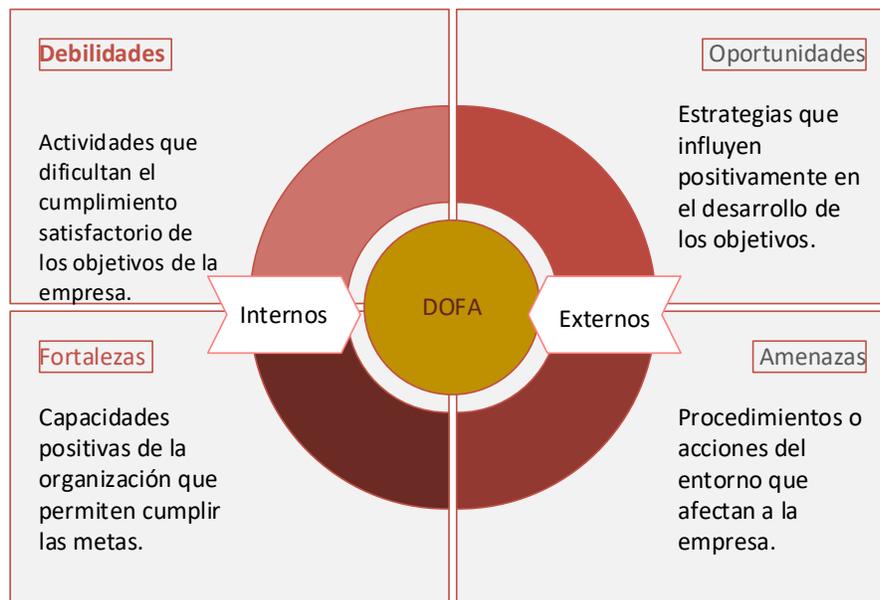


Figura 13. Matriz DOFA.

La matriz DOFA fue muy útil ya que permitió identificar esas debilidades durante la planificación y la ejecución del desverdizado. El planteamiento de la matriz se hizo teniendo en cuenta un diagnóstico externo (macro entorno), que involucra las oportunidades y las amenazas en conjunto con un diagnóstico interno (micro entorno), que relaciona fortalezas y debilidades. En el Anexo 6 se puede observar la matriz DOFA diseñada para el proceso de desverdizado.

4.2.3. Etapa de edición

Se refiere a la redacción del manuscrito en donde se plasmó los acontecimientos más importantes del proceso de desverdizado, para luego organizar el informe final, su corrección y reproducción.

4.2.4. Desarrollo del proceso de desverdizado.

El desverdizado de la toronja Star Ruby se inicia con actividades de campo al momento de realizarse la recolección de la fruta cuando ésta cumple con su punto de maduración. Luego se recibe la fruta en la zona de maquilado, en donde se le hace la limpieza, desinfección, secado y un proceso de categorización, en esta fase la maquiladora proporciona frutas de tamaño pequeño, mediano, grande y extra grande. A partir de esta categorización se escogen frutos libres de daños externos y se clasifican manualmente por calibre como se muestra en la tabla 8 y la figura 14.

Tabla 8. Rango de calibres según la clasificación de la Unión Europea

Número de calibre	mm
Calibre 1	109-139
Calibre 2	100-119
Calibre 3	93-110
Calibre 4	88-102
Calibre 5	84-97
Calibre 6	81-93
Calibre 7	77-89
Calibre 8	73-85
Calibre 9	70-80



Figura 14. Medición del Calibre de los frutos de toronja.

Después, se seleccionaron las frutas del mismo calibre y se introdujeron en canastas para ser ingresadas a la cámara de desverdizado. De manera sincrónica en el área de desverdizado se realizó la adecuación de las instalaciones con una limpieza del área de trabajo y se procedió a distribuir las canastas de tal forma que no quedaran aglomeradas y mantuvieran una distancia mínima entre sí de 30 cm.

Seguidamente, se procedió a configurar los equipos, en este caso se encendió el enfriador evaporativo, se le asignó $T = 23^{\circ}\text{C}$, se encendió el detector de CO_2 al mismo tiempo que el

generador catalítico, al cual se le asignó el nivel 7 para evacuar el etileno en un tiempo de 72 horas. Luego, se realizó la humidificación manual con una bomba fumigadora hasta alcanzar una humedad del 95%, simultáneamente se encendió el termohigrómetro digital que se encarga de realizar la lectura general de humedad relativa y temperatura de la cámara. En seguida, se procedió a iniciar el proceso de desverdizado. Posteriormente, se realizó un monitoreo cada 3 o 4 horas para observar que los parámetros de los equipos se mantuvieran en los valores asignados y también se revisó la calidad de las toronjas. Para esto, se seleccionaban frutos al azar para realizar observaciones por medio de técnicas no destructivas y destructivas.

Es importante aclarar que la técnica destructiva se realizó tres veces en el proceso de desverdizado. La primera al iniciar el proceso, la segunda en un tiempo de 30 h y la tercera al finalizar el desverdizado. Para esto, se eligieron 15 frutos al azar de los 100 seleccionados para muestreo y se determinó la acidez titulable, los sólidos solubles totales, contenido de jugo y el índice de madurez, que es el cociente de los grados brix entre la acidez titulable.

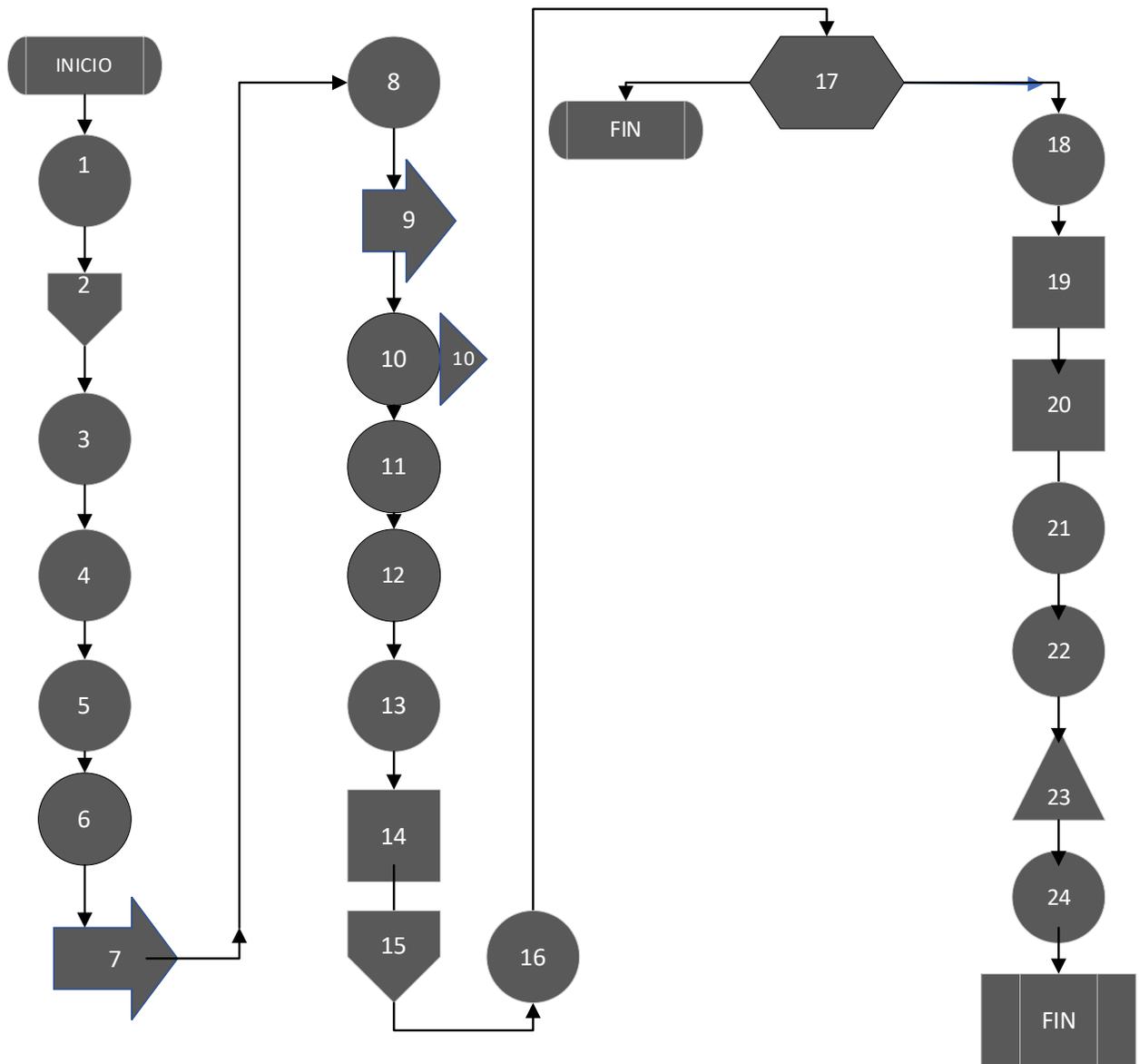
Para la técnica no destructiva, se eligieron 15 frutos representativos los cuales fueron observados durante todo el desverdizado para analizar la evolución del índice de color, si surgían daños externos o aparecían manchas en la epidermis del fruto y si se producía alguna pérdida de peso en la ejecución del proceso.

La finalización del proceso se realizó al alcanzar la pigmentación característica de la toronja Star Ruby, siendo esta una coloración naranja o rojiza. Es importante mencionar que todos los frutos no se retiraban al mismo tiempo de la cámara desverdizadora, pues aquellos frutos que ingresaban con un color del albedo muy verde requerían mucho más tiempo en la cámara que aquellos que ingresaban con tonalidades verdes fusionadas con amarillo, recalcando que nunca el proceso superó el tiempo de 72 horas.

4.2.4.1. Descripción general del proceso de desverdizado.

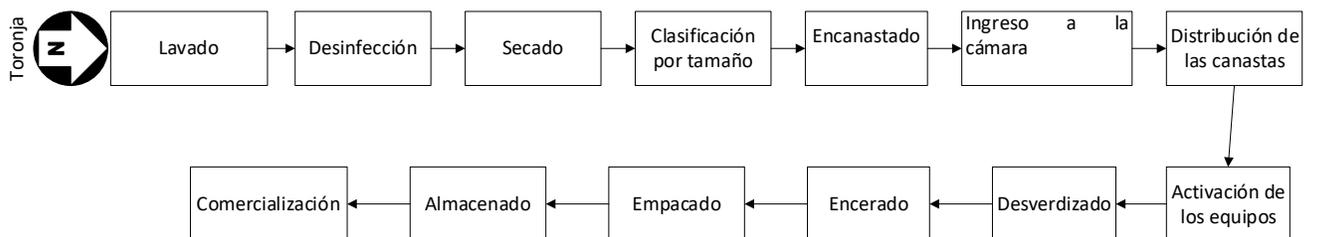
#	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES					
1	Recolección de la fruta	X				
2	Recepción de la fruta				X	
3	Adecuación de las instalaciones de trabajo	X				
4	Lavado de la fruta	X				
5	Desinfección de la fruta	X				
6	Secado de la fruta	X				
7	Clasificación de la fruta por calibre			X		
8	Encanastado	X				
9	Ingreso de la fruta a la cámara de desverdizado	X				
10	Distribución de las estibas en la cámara	X				
11	Ingreso de la temperatura al enfriador evaporativo	X				
12	Activación de los humidificadores	X				
13	Encendido del generador catalítico Citrus	X				
14	Verificación de la ventilación en el interior de la cámara.		X			
15	Espera de la evolución del proceso				X	
16	Monitoreo de las condiciones de operación	X				
17	Inicio de la operación de desverdizado	X				
18	Evacuación de CO ₂ de la cámara.	X				
19	Verificación de las condiciones		X			
20	Monitoreo del índice de color		X			
21	Análisis de los parámetros de calidad	X				
22	Encerado	X				
23	Almacenamiento					X
24	Empacado	X				

4.2.4.2. Diagrama general del proceso de desverdizado.



Nota: * El círculo simboliza una operación, el cuadrado una inspección, la flecha el transporte, el pentágono un periodo de espera y el triángulo almacenamiento.

4.2.4.3. Diagrama de bloques del proceso



4.2.4.4 Variables y definición operacional.

Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría (Hernández et al., 2010). En este caso se definen las características del entorno como la temperatura, la humedad relativa y la concentración de etileno. Asimismo, se analizan variables para correlacionar y comparar si existe una relación estrecha entre las condiciones al inicio sin exponer el fruto a etileno y después hasta alcanzar el punto final del proceso, cuando ya ha existido una exposición a etileno. Las variables a manipular durante el proceso de desverdizado se pueden categorizar como mixtas, ya que, al analizar el peso, los grados brix, el contenido de zumo, índice de color, la acidez y el índice de madurez se observan variables cuantitativas y cualitativas.

Tabla 9. Variables del Proceso de Desverdizado.

Variables independientes	Variable operacional	Tipo de variable
Temperatura	Termómetro	Numérica continua
Humedad relativa	termohigrómetro o higrómetro	Numérica continua
Concentración de etileno	generador Citrus	Numérica continua
Variables dependientes	Variable operacional	Tipo de variable
Índice de color	Tablas cromatográficas para cítricos del IVIA	Catagórica ordinal
Contenido de jugo	Probeta	Numérica continua
Acidez titulable	Hidróxido de sodio y Fenolftaleína.	Numérica continua
Sólidos solubles totales (SST)	Refractómetro	Numérica continua
Peso	Balanza digital	Numérica continua
Índice de madurez (IM)	Refractómetro, Hidróxido de sodio y fenolftaleína.	Numérica continua

En el presente proceso de desverdizado, la temperatura y la humedad tienen una fuerte influencia para producir la pigmentación del flavedo de la toronja aplicando etileno, pero estas se están analizando por separado debido a que no existe una relación estrecha entre ellas para controlarse, pero ellas sí contribuyen al manejo de las variables dependientes, que sufren cambios notorios al presentarse alguna variación. Estas variables son el resultado de un estudio previo, fundamentado en una investigación de documentación y en términos generales se está aplicando a una investigación experimental, cuyos hallazgos han sido relacionados y comparados con los de la literatura.

4.2.4.5. Técnica de recolección de datos.

Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información como, por ejemplo, la observación directa, la encuesta oral o escrita, la entrevista, el análisis documental, entre otras.

Las técnicas de recolección de datos implican tres actividades vinculadas entre sí, las cuales son:

- Seleccionar el instrumento de medición de los disponibles en el estudio, este instrumento debe ser válido y confiable, de lo contrario no se podría basar los resultados.
- Aplicar este instrumento de medición, es decir, las observaciones de las variables que son de interés para el estudio (medir variables).
- Preparar las mediciones obtenidas para que puedan analizarse correctamente (Hernández et al., 2010).

Para el desarrollo del proyecto de grado se plantean como técnicas de recolección de datos el análisis documental (recolección de información) y el trabajo de campo o experimental que se ha realizado de forma directa al seleccionar u observar los resultados obtenidos al ejecutar el proceso y manipular los instrumentos que se usaron para medir el comportamiento de las variables.

Como se presentaban continuas fluctuaciones en los factores de la cámara de desverdizado el método utilizado fue la observación, por lo tanto, fue necesario inspeccionar y controlar constantemente el ambiente, ya que cualquier cambio brusco podría dañar el fruto y paralizar el proceso.

Se ha reportado que la temperatura tiene una gran efecto en el color de la corteza de los cítricos, mientras que la humedad relativa influye en el control de la pérdida de peso (Van Wyk et al., 2009). En este caso de estudio la temperatura se fijó a 23°C con el fin de cumplir con los requerimientos de los autores (Chaudhary et al., 2015; Sanifruit, 2021; Sdiri et al., 2012), aunque en muchos casos la cámara no mantenía constante este rango.

4.2.4.6. Diseño muestral.

Durante el desarrollo del proyecto se eligió un muestreo probabilístico (Anexo 7), que se adapta por su sencillez a un muestreo aleatorio al azar simple y se puede tomar como referente una muestra para tamaño finito, debido a que se conocen todos los elementos que conforman la población.

Además, se desarrolló un diseño de experimentos en donde se tenían tres variables independientes directas como la temperatura, la humedad relativa y la concentración de etileno. Al momento de procesar las muestras solo se realizó el tratamiento variando la variable temperatura, ya que existían los recursos para medirla y realizar su control.

Para la manipulación de las variables dependientes se realizaron tres tratamientos, en el primero se evaluaron los frutos de control, en el segundo se evaluaron frutos desverdizados a temperaturas superiores a 25°C ($T > 25^{\circ}\text{C}$) y el tercer tratamiento a temperaturas inferiores a 25°C ($T < 25^{\circ}\text{C}$).

Para el objeto de estudio en la cámara desverdizadora se ingresaron 2 toneladas de toronja Star Ruby, de las cuales se seleccionaron 100 frutos al azar, en donde se midieron sus propiedades tanto físicas como químicas (variables dependientes).

Al momento de seleccionar las muestras se tuvo en cuenta que, al manipularse la temperatura, se tenían que evaluar seis variables dependientes, para observar que efecto se producía en el índice de color, el peso, el contenido de azúcar (SST o $^{\circ}\text{Brix}$), la acidez, el contenido de zumo y el índice de madurez durante el proceso.

Entonces del total de la población que son las 100 toronjas seleccionadas al azar, se seleccionó un 45% de ellas para realizar las mencionadas pruebas destructivas, al igual que los frutos de control.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para procesar los datos obtenidos del proceso de desverdizado se utilizó un análisis de varianza ANDEVA (ANOVA en inglés), con un nivel de significancia del 5%. En este caso se hizo una estimación de las varianzas entre las muestras y las medias, para determinar si existían o no diferencias significativas en los tratamientos, luego se realizó una prueba F para determinar si se trataba de una misma población (H_0 : las muestras provienen de una misma población) o, por el contrario, provienen de distintas poblaciones. Una vez se determinó que algunas medias eran diferentes se realizó una prueba post-Andeva (Tukey), para identificar en las comparaciones de las muestras entre grupos se encontraba la diferencia que alteraba el nivel de significancia.

5.1. Influencia de la temperatura en los tratamientos de desverdizado.

Es importante aclarar que se realizaron tres procesos de desverdizado, en donde cada proceso se inició con la temperatura estándar alcanzada por la cámara, las condiciones en las cuales se encontraba la cámara como se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Temperaturas de la cámara de desverdizado para promover la pigmentación del flavedo de la Toronja.

N°	Tiempo (h)	Tambiente (°C)	Temperatura de cámara (T>25°C)	Temperatura de la cámara (T<25°C)
1	0	31	25,1	23
2	2	31	25,2	23,1
3	4	31	27,8	23
4	8	30,9	27,8	23
5	12	30,5	27,7	23,4
6	16	31	27,9	23,7
7	20	31,2	27,1	23,6
8	24	31,3	29,7	23,7
9	28	31,2	27,8	23,7
10	32	31,3	27,6	23,7
11	36	31,2	27,6	23,7
12	40	31,1	27,5	23,6
13	44	31,3	27,4	23,7
14	48	31,3	27,7	23,6
15	52	31,2	27,1	23,6
16	56	32	27,2	23,7
17	60	32,1	27,3	23,5
18	64	32,2	27,4	23,7
19	68	32,3	27,5	23,7
20	72	31,2	27,6	23,6
Promedio		31,315	27,4	23,515
Varianza		0,220	0,879	0,070

En los tres tratamientos se alcanzaron pigmentaciones adecuadas para las toronjas Star Ruby, pero al realizar el análisis de varianza se encontró que entre los diferentes tratamientos existían diferencias significativas. Por lo que se realizó la comparación entre la probabilidad y el nivel de significancia, en este caso como $P = 3,84E-42$ es mucho menor que $\alpha = 0,05$. Entonces se acepta la hipótesis en donde los tratamientos tienen un efecto sobre los distintos grupos, por lo que las medias son estadísticamente diferentes (Tabla 11).

Tabla 11. Análisis de varianza para las Temperaturas en los procesos de desverdizado.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	608,403	2	304,202	780,671	3,84E-42	3,159
Dentro de los grupos	22,211	57	0,390			

Tomando los grados de libertad y la suma de cuadrados dentro de los grupos de la tabla 11, se procedió a determinar el cuadrado del error medio.

Para realizar tanto el análisis de varianza como la comparación de medias por el método de Tukey se requirió que todos los datos estuviesen balanceados con un mismo número de datos, luego se procedió a determinar la diferencia honestamente significativa, que consiste en utilizar el multiplicador ($Q_{\alpha}=3,44$) que se saca de la tabla de Tukey (Anexo 8), por la raíz del cuadrado del error medio entre el número de elementos de cada uno de los grupos. De donde se obtuvo que la diferencia honestamente significativa ($HSD = 0,474$) y se procedió a comparar los pares de medias por el método de Tukey como se muestra en la tabla 12. Como se ha aceptado la hipótesis alterna se puede afirmar que los niveles de cifras significativas superan el valor del $HSD = 0,474$.

Tabla 12. Comparación de las medias de la temperatura por el método de Tukey.

Tukey	T1	T2	T3
T1	0,000	3,915	7,800
T2	3,915	0,000	3,885
T3	7,800	3,885	0,000

5.2. Acidez

Se tomaron 15 frutos al comenzar el proceso de desverdizado, se extrajo su jugo y se tomó una alícuota de 10 ml y se disolvió en 100 ml de agua destilada. Luego se realizó una titulación con hidróxido de sodio al 0,1N y se obtuvo la cantidad de ácido cítrico de cada muestra. Los datos se registraron en la tabla 13 en orden de la realización del tratamiento. Después se procedió a realizar el análisis de un factor, en donde se determinó el promedio y la varianza de los datos.

Tabla 13. Determinación de la acidez en un proceso de desverdizado.

Ácido cítrico (g/100ml)			
1	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
	9	8,9	9
2	9,4	9	9
3	9	8,8	9
4	9	9	8,9
5	9	9	8,8
6	9,2	9,2	9
7	8,8	9,2	9,1
8	8,6	9	9,2
9	9,2	9,4	8,9
10	9,1	9	9
11	9	9,2	8,9
12	8,8	9	9
13	9	8,9	9
14	9	8,8	9,1
15	9,2	8,9	9
Promedio	9,020	9,020	8,993
Varianza	0,037	0,027	0,009

Luego cuando se realizó el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%, se observó que todas las muestras de toronjas tuvieron poca o ninguna significancia estadística, por lo que se puede decir que el grado de acidez se mantuvo constante durante todo el proceso, lo que indica que el sometimiento de la fruta a escenarios con etileno no afectó su composición química. Además, al realizarse el análisis de los datos se puede afirmar que no existen diferencias entre las medias de los tratamientos. En la tabla 14 se muestra que el valor de F es mucho menor que el valor crítico para F, ($F = 0,144 < V_c \text{ de } F = 3,220$), por lo que se acepta la hipótesis nula de que todas las medias son iguales y se acepta la premisa en donde los diferentes grupos experimentales poseen promedios que son estadísticamente iguales (Tabla 14).

Tabla 14. Análisis de varianza para la acidez.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,007	2,000	0,004	0,144	0,866	3,220
Dentro de los grupos	1,037	42,000	0,025			

A partir de los datos de la tabla 14 se procedió a determinar los valores de las diferencias entre los tratamientos, teniendo en cuenta que como se ha aceptado la hipótesis nula, estos valores no superarán el valor de la HSD determinado por el método de Tukey. Los niveles de significancia no tienen ningún efecto sobre los diferentes grupos de acidez, entonces para los 42 grados de libertad entre los grupos se trabaja con un HSD = 0,139. Al observar la tabla 15 se visualiza que las cifras de las comparaciones de medias son inferiores al HSD = 0,139. Lo que comprueba que en los procesos de desverdizado no se presentan diferencias significativas en la acidez al exponer la toronja a etileno a diferentes temperaturas.

Tabla 15. Diferencias entre los grupos determinados por el método de Tukey para la acidez.

Tukey	T1	T2	T3
T1	0,000	0,000	0,027
T2	0,000	0,000	0,027
T3	0,027	0,027	0,000

5.3 Pérdida de peso.

Para evaluar la pérdida de peso de la fruta se tuvo en cuenta monitorear los mismos 15 frutos hasta el final del proceso. Los datos se recopilieron en la tabla 16, en donde se observa un pequeño descenso en función de la evolución del proceso. Esta pérdida de peso se le atribuye a la humedad relativa, en este caso se mantuvo elevada en un rango del 90 al 95%.

Los datos de la tabla 16 se utilizaron para realizar el análisis de varianza y así procesar los valores arrojados por Excel en donde se tienen en cuenta el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$) y la probabilidad para determinar si existen diferencias considerables en el análisis de la pérdida de peso.

Tabla 16. Determinación de la pérdida de peso en un proceso de desverdizado.

Evaluación De La Pérdida De Peso						
Unidades	# Fruta	Diámetro [mm]	Peso Inicial [g]	Durante el Proceso [g]	Peso Final [g]	% Pérdida de Peso
1	21	86	301	297	293	2,7
2	50	86	267	264	260	2,6
3	52	88	307	304	300	2,3
4	69	82	253	250	246	2,8
5	77	87	282	275	271	3,9
6	54	76	191	189	185	3,1
7	74	88	306	303	299	2,3
8	76	84	274	272	268	2,2
9	97	79	260	256	252	3,1
10	40	107	423	417	413	2,4
11	41	103	457	451	447	2,2
12	72	82	240	233	229	4,6
13	96	82	273	269	265	2,9
14	73	81	269	264	260	3,3
15	63	84	263	260	256	2,7
16	99	89	348	333	329	5,5
		Media	294,63	289,81	285,81	
		Varianza	4409,58	4250,70	4250,70	

En el análisis de varianza de un factor, los datos de entrada son seleccionados y se comparan los que se encuentran dentro de los grupos, para aceptar o rechazar la existencia de diferencias entre las medias dentro de los mismos grupos, por medio del análisis del factor F y el valor crítico para F, que arroja el software Excel. En la tabla 17, se observa que la probabilidad tiene un valor superior al nivel de significancia con el cual se ha trabajado el análisis ($P = 0,930 > \alpha = 0,05$), lo que hace que se acepte la hipótesis nula.

Tabla 17. Análisis de varianza para la pérdida de peso.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	623,042	2,000	311,521	0,072	0,930	3,204
Dentro de los grupos	193664,625	45,000	4303,658			

En el análisis de varianza simple se compara el valor obtenido para F y el valor crítico para F, si F es menor al valor crítico para F ($F < V_c F$), se acepta una hipótesis nula y se rechaza que al menos un par de las medias es diferente. En este caso de estudio $0,072 < 3,204$, lo que indica que entre los tratamientos las medias son iguales y no existen diferencias significativas en las comparaciones de las muestras.

Se procedió a determinar la variación al interior de los tratamientos como se muestra en la tabla 18, para observar que las diferencias no son significativas, en esta premisa para 45 grados de libertad, se trabaja con un multiplicador $Q^{\alpha} = 3,43$ y con un $HSD = 56,27$. En la tabla 18 se puede observar que las diferencias son mucho menores que la diferencia honestamente significativa de 56,27, por lo que se dice que los valores promedios de los tratamientos son idénticos.

Tabla 18. Comparación de las medias para la pérdida de peso en el proceso de desverdizado.

Tukey	T1	T2	T3
T1	0,000	17,563	30,563
T2	17,563	0,000	17,563
T3	30,563	17,563	0,000

5.4. Contenido de jugo.

El contenido de jugo se determinó en cada muestreo, simultáneamente se realizaba la destrucción del fruto para determinar la acidez, lo que indica que las mismas frutas evaluadas para analizar el contenido de jugo son las mismas en las demás variables dependientes que implicaban destrucción de su estructura interna. Además, se tuvo en cuenta que para cada tratamiento las muestras fueron procesadas individualmente, las frutas poseían diferente tamaño y peso lo que implicaba una cantidad de jugo desigual como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Determinación del contenido de jugo en un proceso de desverdizado.

Muestras	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
1	40	50	120
2	69	110	125
3	50	80	85
4	50	125	70
5	70	75	75
6	50	83	70

7	75	55	69
8	78	50	110
9	67	65	100
10	90	110	50
11	50	70	120
12	65	75	80
13	80	50	75
14	50	65	90
15	72	85	80
Promedio	63,733	76,533	87,933
Varianza	209,924	543,124	498,352

En la tabla 19 se observa que las varianzas se encuentran muy dispersas o alejadas entre sí, así que se procedió a realizar el análisis de varianza como se muestra en la tabla 20, el cual arrojó como resultado que $F > V_c$ para F , la cual es una comparación similar a la que ocurre entre la probabilidad ($P = 0,009$) y el nivel de significancia ($\alpha = 0,05$). Como la probabilidad toma un valor relativamente menor al nivel significancia con el cual se están procesando los datos, se puede rechazar la hipótesis nula H_0 , en la cual las medias son iguales (provenientes de la misma población), y se acepta la hipótesis alterna H_a que indica que al menos un par de medias son diferentes.

Tabla 20. Análisis de varianza para el contenido de jugo en el proceso de desverdizado.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4397,200	2,000	2198,600	5,271	0,009	3,220
Dentro de los grupos	17519,600	42,000	417,133			

Luego, al conocer que existían diferencias entre los grupos se procedió a aplicar el método de Tukey para saber los valores de las diferencias de los datos que se comparaban, en este caso para los 42 grados de libertad se trabajó con un multiplicador ($Q_{\alpha}=3,44$) y se halló un $HSD = 18,2405$.

En la tabla 21 se puede observar que en las comparaciones las diferencias superan el valor de la diferencia honestamente significativa, por lo que se acepta una hipótesis alterna en la que la media de los tratamientos 2 y 3 presentan diferencias significativas en la evaluación de este factor.

Tabla 21. Comparación de las medias del contenido de jugo por el método de Tukey.

Tukey	T1	T2	T3
T1	0,000	12,800	24,200
T2	12,800	0,000	11,400
T3	24,200	11,400	0,000

5.5. Sólidos solubles totales (SST).

Se determinó el contenido de sacarosa presente en cada toronja utilizando un refractómetro, el cual proporcionó los datos (°brix) presentados en la tabla 22.

Se realizó el análisis de un factor para determinar directamente por el software Excel el promedio y las varianzas del conjunto de datos.

Tabla 22. Determinación del contenido de sólidos solubles totales para el proceso de desverdizado.

SST [°Brix]			
Muestras	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
1	9,0	9	9
2	9,4	9	9,2
3	10,0	8,8	8,9
4	11,0	9	9
5	11,0	9,2	9,3
6	10,6	9,3	9
7	10,0	9	9
8	9,8	8,8	8,9
9	10,6	8,9	9
10	11,4	9	9,9
11	9,2	9	9,6
12	10,6	10	9,3
13	10,8	11	9
14	11,0	9,8	9
15	11,2	9	8,8
Promedio	10,373	9,253	9,127
Varianza	0,576	0,350	0,086

Se utilizaron los datos obtenidos del análisis de varianza como los grados de libertad y la suma de cuadrados entre los grupos, para determinar el HSD y realizar las comparaciones de media por el método de Tukey. Es muy importante tomar los grados de libertad dentro de los grupos para buscar en la tabla de cuantiles de la distribución de Tukey el valor del multiplicador que en este

caso es $Q^{\alpha} = 3,44$. Luego se procedió a hallar el cuadrado del error medio, que consiste en tomar el valor de la suma de cuadrados dentro de los grupos de la tabla 23, para dividirlos entre los grados de libertad de ese mismo grupo y obtener así el $MSe = 0,337$.

Tabla 23. Análisis de varianza para los sólidos solubles totales.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	14,123	2	7,062	20,922	4,96E-07	3,220
Dentro de los grupos	14,176	42	0,338			

Después de haber determinado el MSe , se procede a determinar la diferencia honestamente significativa (HSD), esta se halla operando el multiplicador elegido de la tabla de Tukey y se multiplica por la raíz del cuadrado del error medio dividido entre el número de elementos de cada uno de los grupos, como se muestra en la ecuación 3.

$$HSD = Q\alpha * \sqrt{\frac{MSe}{n}} = 0,516.$$

Ecuación 3. Determinación de la diferencia honestamente significativa.

Luego conociendo el HSD, se puede determinar las diferencias que existen entre las medias comparando los grupos, como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Comparación de las medias por el método de Tukey.

Tukey	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
T1	0,000	1,120	1,247
T2	1,120	0,000	0,127
T3	1,247	0,127	0,000

Cuando se conoce el valor de HSD, se hace la prueba posteriori de Tukey, y a partir del análisis de las muestras se puede inducir que los valores menores a $HSD=0,516$ no presentan diferencias significativas, lo opuesto a los que tienen un valor superior a 0,516, que es en donde se presentan las diferencias de las medias al compararse los grupos.

5.6. Índice de Madurez (IM).

Se evaluó relacionando los grados brix determinados usando el refractómetro entre la acidez titulable de las toronjas, luego con el conjunto de datos recopilados en la tabla 25, se procedió a determinar el promedio y la varianza de los tres tratamientos como se muestra en la parte inferior de la tabla 25.

Tabla 25. Determinación del índice de madurez (IM) para el proceso de desverdizado.

Índice de madurez [IM]			
Muestras	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
1	7,813	7,900	7,813
2	7,813	7,813	7,986
3	8,681	7,813	7,726
4	9,549	7,813	7,900
5	9,549	7,986	8,256
6	9,001	7,897	7,813
7	8,878	7,643	7,727
8	8,903	7,639	7,558
9	9,001	7,397	7,900
10	9,787	7,813	8,594
11	7,986	7,643	8,427
12	9,411	8,681	8,073
13	9,375	9,656	7,813
14	9,549	8,700	7,727
15	9,511	7,900	7,639
Promedio	8,987	8,019	7,930
Varianza	0,433	0,329	0,086

Posteriormente, se procedió a realizar el análisis de varianza de los tratamientos con intervalos de confianza del 95%, para determinar el valor F, el valor de la probabilidad, los grados de libertad como se muestra en la tabla 26 y así lograr determinar la diferencia honestamente significativa (HSD).

Tabla 26. Análisis de varianza para el índice de madurez en el proceso de desverdizado.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	10,306	2	5,153	18,211	2,02E-06	3,220
Dentro de los grupos	11,884	42	0,283			

Cuando ya se tenían los datos del análisis de varianza se procedió a realizar las comparaciones por el método de Tukey, en donde se tomó el valor de los grados de libertad dentro de los grupos y se buscó en las tablas de cuantiles de la distribución de Tukey el valor del multiplicador. Para los 42 grados de libertad se trabajó con un multiplicador $Q^{\alpha}=3,44$. Después se procedió a determinar el cuadrado del error medio para el tratamiento de los 15 elementos de cada grupo, en donde se obtuvo $HSD = 0,472$. Valor que sirvió de referencia para observar en las medias de cada uno de los grupos en donde existían las diferencias como se muestra en la tabla 27. Generalmente las comparaciones se realizan para las tres medias y en los grupos donde las cifras son mayores al HSD, que es donde existe la diferencia.

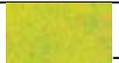
Tabla 27. Comparación de medias por el método de Tukey.

Tukey	T1	T2	T3
T1	0,000	0,967	1,057
T2	0,967	0,000	0,089
T3	1,057	0,089	0,000

5.7. Índice de color (IC).

Para analizar el índice de color se manipularon exclusivamente 15 frutos seleccionados al azar, los cuales se examinaron por triplicado debido a que el índice de color presenta un comportamiento ascendente con la aplicación de etileno, el cual produce una variación de tonalidades verdes que van enumeradas con signos negativos hasta alcanzar una pigmentación característica de la variedad. La escala de color visual patentada por el Ivia (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) se presenta en la tabla 28.

Tabla 28. Escala del color visual para cítricos.

 -26	 -18	 -13	 9	 5	 -3
 +1	 +3	 +6	 +9	 +15	 +29

Fuente: (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, 2003; Pássaro et al., 2017b).

Después se realizó una comparación de las tonalidades alcanzadas por los frutos al avanzar el proceso, por lo que se compararon los valores numéricos que representan el color alcanzado por la fruta en determinado tiempo, para generar una correlación de las muestras y observar en cual tratamiento se presentaban diferencias significativas.

En la figura 15 se observa que las frutas ingresaron a la cámara en un color verde oscuro enumerado en la tabla de color como -18 y al avanzar el proceso de exposición de etileno se iba generando la degradación de la clorofila, en donde disminuía la tonalidad verde para pasar a un naranja leve enumerado como +1, como se muestra en la figura 16.



Figura 15. Coloración de las toronjas al iniciar el proceso de desverdizado.



Figura 16. Degradación de la clorofila para ganar carotenoides. La representación de las clorofilas son las pigmentaciones verdes y la representación de los carotenoides son las pigmentaciones amarillas con rastros de naranja.

En la tabla 29 se ingresaron los datos de la inspección cualitativa realizada al flavedo de las toronjas, teniendo en cuenta que todos los tratamientos debían ser balanceados y monitoreados en los mismos intervalos de tiempo para así compararlos en el análisis de varianza. Esa evolución del índice de color se realizó en un límite de tiempo de 72 horas, cumpliendo los requerimientos de la normativa especificada por unión europea.

Tabla 29. Determinación del índice de color en los tratamientos de la toronja Star Ruby.

Columnal	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Nº Muestra	IC 1	IC 2	IC 3
1	-18	-18	-18
2	-18	-18	-18
3	-18	-18	-18
4	-13	-18	-18
5	-13	-18	-18
6	-9	-18	-18
7	-9	-18	-18
8	-3	-13	-18
9	-5	-13	-18
10	-5	-13	-13
11	1	-9	-13
12	1	-9	-13
13	1	-5	-9
14	3	-5	-9
15	3	-3	-5
16	3	-3	-5
17	6	6	-3
18	6	6	3
19	6	9	6
20	15	9	6
21	15	15	9
22	29	15	15
23	29	29	29
24	29	29	29
Promedio	2	-3	-6
Varianza	199	222	215

Al observar la tabla 29 con los datos de cada tratamiento, se observa que las varianzas están muy cercanas, por lo que se acepta que existe una hipótesis nula, que expresa que las medias son iguales y provienen de la misma población. Para reafirmar lo anteriormente mencionado se realizó el análisis de varianza de un factor como se muestra en la tabla 30, lo que permite visualizar que F

$< V_c \text{ para } F \text{ o } P = 0,230 > \alpha = 0,05$. Estas comparaciones permiten inducir que las toronjas pertenecen a una misma población con medias parcialmente idénticas.

Tabla 30. Análisis de varianza para el índice de color en el proceso de desverdizado.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	636,75	2	318,375	1,501	0,230	3,130
Dentro de los grupos	14639,25	69	212,163			

Al obtenerse los resultados del análisis de varianza en la tabla 30, se hace una generalización en donde $(P = 0,230) > (\alpha = 0,05)$, que indica que en todos los grupos analizados no existen diferencias entre las medias.

En consecuencia, al analizar los distintos grupos de datos de una misma variable, con un nivel de confianza del 95%, para el índice de color se utilizan los grados de libertad arrojados por el programa y se aplica la diferencia honestamente significativa (HSD). Al utilizar la tabla de Tukey (Anexo 8) para determinar el multiplicador ($Q^{\alpha}=3,44$) se confirmó que las diferencias entre las medias no superan el valor de la diferencia honestamente significativa ($HSD = 9,990$), lo que apoyaría la teoría que entre los grupos no existen diferencias significativas.

En el análisis de color se compararon los índices de color alcanzados por los 15 frutos, en un límite de tiempo de 72 horas como se ilustra en la figura 17.

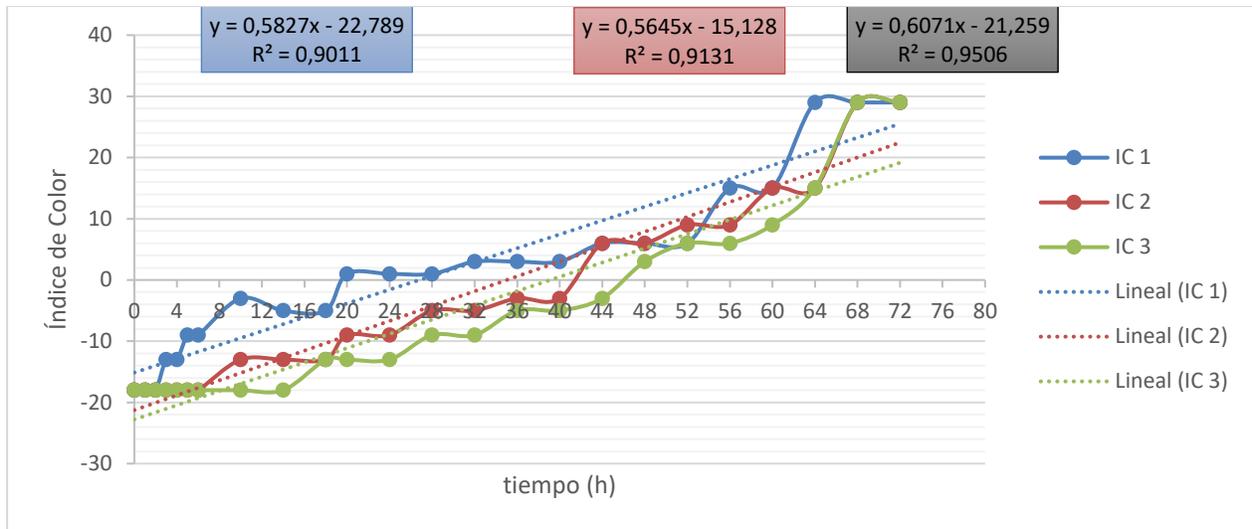


Figura 17. Comportamiento de los tres tratamientos de toronjas para el estudio del índice de color. Todos los frutos ingresaron con un color verde oscuro (-18) y finalizaron con un naranja intenso (+29).

En la tabla 31 se muestra que en ninguno de los grupos las diferencias superan HDS = 9,990, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula en donde todas las medias son semejantes.

Tabla 31. Comparación de las medias del índice de color por el método de Tukey

Tukey	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Tratamiento 1	0,000	4,875	7,125
Tratamiento 2	4,875	0,000	2,250
Tratamiento 3	7,125	2,250	0,000

La caracterización general de los tratamientos de la tabla 32 que conforman los análisis de varianzas esta guiada por los criterios utilizados por algunos investigadores (Blanco, 2001; Fallas, 2012; Jamett, 2010) que consideran trabajos con tratamientos de tres grupos de datos, con un 95% de confiabilidad y un 5% de nivel de significancia para el análisis de varianzas.

Tabla 32. Comparaciones de todas las variables dependientes utilizando el método de Tukey.

Parámetros de calidad	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Acidez	9,02 a	9,02 a	8,993 a
Pérdida de peso	294,625 a	289,813 a	285,813 a
Contenido de Jugo	63,733 a	76,533 a	87,933 b
Sólidos solubles	10,373 a	9,253 b	9,127 b
Índice de madurez	8,987 a	8,019 b	7,930 b
Índice de color	1,5 a	3,375 a	5,625 a

^{a, b} Las letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, para cada periodo de evaluación mediante análisis ANDEVA, Tukey al 5%.

6. CONCLUSIONES

Después de realizar esta investigación se puede concluir lo siguiente:

- Los principales criterios para ejecutar un desverdizado son la temperatura, la humedad relativa, la concentración de etileno, con una adecuada ventilación de aire y renovaciones del mismo. En este proceso es importante aclarar que se puede trabajar experimentando diferentes temperaturas y dejando fija la concentración de etileno y la humedad relativa. Se planteó un diseño en donde se pudieran controlar las variables independientes. En este caso la temperatura se convirtió en el factor de mayor importancia para observar la variación de color en el flavedo de la toronja, pues existían los instrumentos para garantizar la validez de los datos. Se ejecutaron tres tratamientos a condiciones distintas de temperatura, en donde se en cuenta el criterio de Sdiri (2012), en el que se pueden desverdizar frutos a $T < 25^{\circ}\text{C}$ y a $T \leq 29^{\circ}\text{C}$.
- Las toronjas responden satisfactoriamente al cambio de color del epicarpio o la cáscara, tanto a elevadas como bajas temperaturas. Las frutas que se desverdizan a menor temperatura tienden a tener una vida útil más larga, por ende, podrían resistir largos viajes y, por lo tanto, destinarse a la exportación; mientras que las frutas desverdizadas a mayor temperatura adquieren una pigmentación anaranjada mucho más rápido, aunque podrían sufrir ciertos daños si se someten a largos periodos de viaje. Por ende, se clasifican como frutas aptas para comercialización en mercado nacional o local.
- Para un correcto desverdizado se recomienda que la concentración de etileno sea inferior a 10 ppm y se mantenga entre 1 y 4 ppm. Además, se sugiere desverdizar a una temperatura en el rango de los 21 a 23°C, manteniendo elevadas humedades relativas de 90 – 95%, para promover una velocidad aceptable de la degradación de la clorofila sin afectar la vida útil de las toronjas y disminuir las pérdidas de peso.
- Con los documentos elaborados durante la etapa práctica se logró crear una base de datos para darle seguimiento a los procesos de desverdizado. Asimismo, se implementó un proceso estructurado para apoyar el ciclo PHVA, que consisten en planear, hacer, verificar y actuar. Estos ciclos brindan beneficios a los operarios de la empresa, ya que se facilitan las labores de inspección del fruto.

- Los procesos de desverdizados en la empresa Tamacal Fruit S.A.S, se han realizado a concentraciones de etileno constantes, para un nivel 7 de evacuación de 72 horas, logrando alcanzar concentraciones de 4 ppm en la cámara de desverdizado.
- Se diseñaron los diagramas con las etapas y actividades necesarias para efectuar el proceso de desverdizado. Estos contribuyen a informar al personal técnico de cada una de las labores que se deben ejecutar y monitorear para obtener toronjas con una coloración homogénea.

7. RECOMENDACIONES

Se propone adquirir una cámara de desverdizado que sea totalmente automatizada y que sea capaz de mantener atmósferas controladas. Se toma como referencia la reportada por Pacco (Pacco, 2019) que se presenta en la figura 18. En dicha cámara todos los equipos son capaces de mantener las condiciones constantes durante todo el proceso sin que exista ninguna alteración que afecte la efectividad del proceso. En dado caso, la empresa deberá comprar un humidificador ultrasónico y un sistema paletización para que el aire acceda controladamente en la totalidad de la cámara.

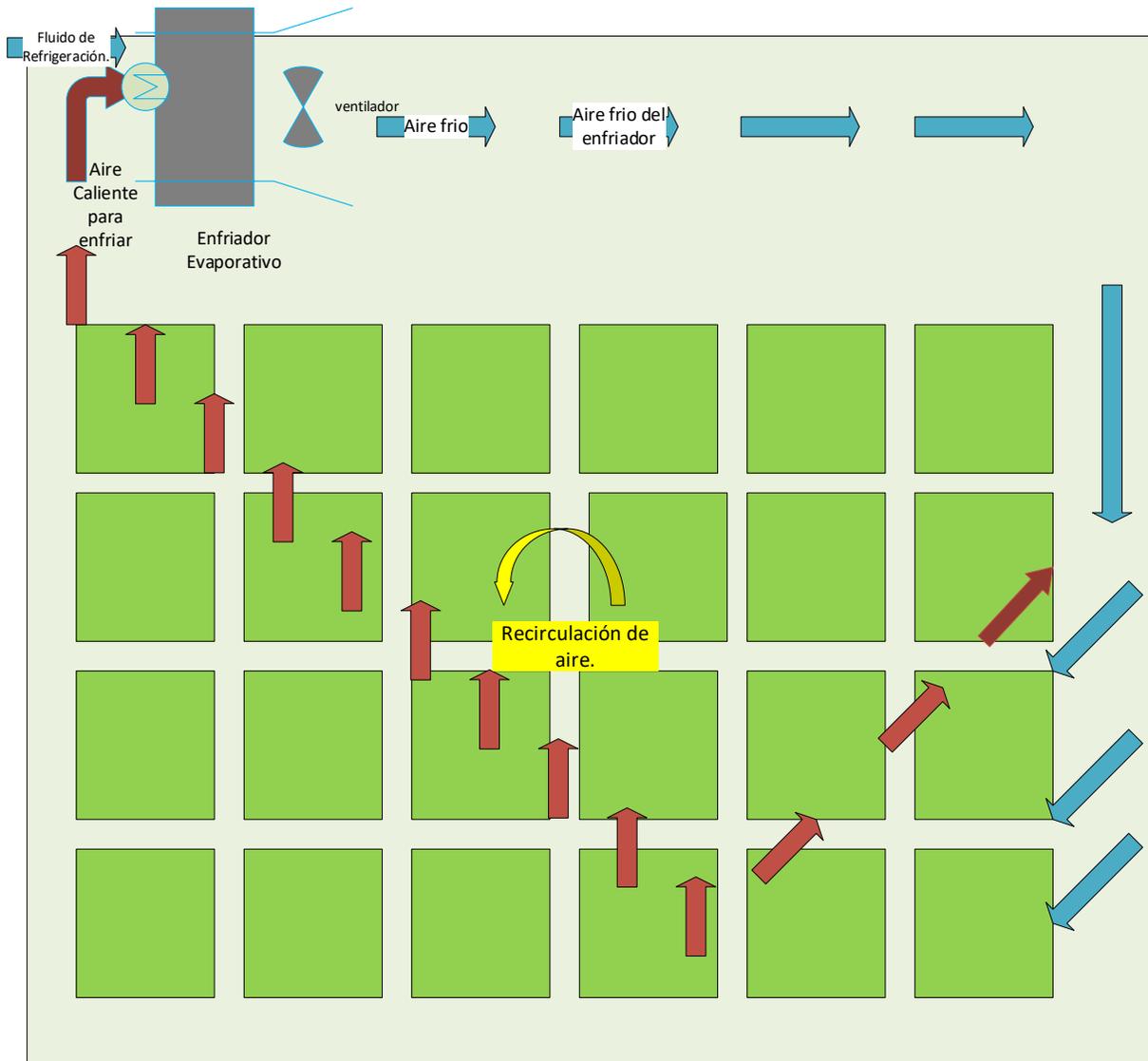


Figura 18. Cámara de desverdizado apta para mantener atmósferas controladas.

Fuente: (Pacco, 2019).

8. BIBLIOGRAFÍA.

- Arévalo, M. (2013). *Determinaciones cuantitativas en naranja mediante tecnologías Nirs (Tesis de Maestría)*. Universidad Pública de Navarra.
- Assaf Silva, S. de J. (2007). Efecto de temperatura y uso de etileno en el desverdizado de chile Páprika. *Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 65. [http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/231104/569/1/Efecto de temperatura y uso de etileno.pdf](http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/231104/569/1/Efecto_de_temperatura_y_uso_de_etileno.pdf)
- Balaguera, H. E., & Palacios, E. A. (2018). Comportamiento poscosecha de frutos de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco) var . Arrayana : efecto de diferentes tratamientos térmicos Postharvest behavior of mandarin fruits (*Citrus reticulata* Blanco) var . Arrayana : effect of different thermal tre. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.*, 12(2), 369–378. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7702>
- Bello, F., Panozzo, M., Almiron, N., & Vázquez, D. (2014). Evaluación de condiciones de proceso y conservación en la calidad de mandarina Satsuma. *Revista de Investigaciones Agropecuarias(RIA)*, Vol,40, nú(Evaluación de condiciones de proceso y conservación en la calidad de mandarina Satsuma), 244–251. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86432857001%0ACómo>
- Blanco, F. A. (2001). Métodos apropiados de análisis subsiguientes al análisis de varianza (Andeva). *Agronomía Costarricense*, 25(1), 53–59.
- Catalytic, G. (2021). *El generador de cítricos - Catalytic Generators, LLC*. Agencia Web Ciniva. <https://www.catalyticgenerators.com/products/the-citrus-generator/>
- Chaudhary, P. R., Jayaprakasha, G. K., & Patil, B. S. (2015). Ethylene degreening modulates health promoting phytochemicals in Rio Red grapefruit. *Food Chemistry*, 188, 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.044>
- Chen, Y., Grimplet, J., David, K., Castellarin, S. D., Terol, J., Wong, D. C. J., Luo, Z., Schaffer, R., Celton, J. M., Talon, M., Gambetta, G. A., & Chervin, C. (2018). Ethylene receptors and related proteins in climacteric and non-climacteric fruits. *Plant Science*, 276(May), 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.07.012>
- Comisión Europea. (2020). *Frutas y hortalizas | Comisión Europea*. Web Oficial de La Unión Europea. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/plants-and-plant-products/fruits-and-vegetables_es

- Conesa, E. (2018). Poscosecha de los cítricos. In *Postharvest Partner Fomesa Fruitech*. (pp. 1–41).
- Control Unión Perú SAC. (2021). *GLOBALG.A.P.* 2019. <https://www.cuperu.com/portal/en/programas-de-certificacion/global-gap/global-gap>
- De La Rosa, M., Wong, J., Muniz, D., Carrillo, M., & Sanchez, J. (2016). Compuestos fenólicos bioactivos de la toronja (*Citrus paradisi*) y su importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas.*, 47 (2) 201(1870–0195), 22–23.
- Díaz, J. I. (2021). *Como obtener frutas de calidad de acuerdo a su modelo productivo, siendo Colombia un modelo para exportación de Cítricos al mundo*. www.citricaldas.com.co
- Electronilab. (2021). *Descripción del TermoHigrómetro Digital HTC-2 Sonda Temperatura Y Humedad*. Electronilab. <https://electronilab.co/tienda/termohigrometro-digital-htc-2-sonda-temperatura-y-humedad/>
- Fagro Post Harvest Solutions. (2018). *Desverdizado de naranja Valencia en cámaras durante la Postcosecha*. Boletín Técnico Post Harvest Solutions (PHS).
- Fallas, J. (2012). *Análisis de Varianza: Comparando tres o más medias*.
- Garza-Aguilar, S. M., García-Salinas, C., Mejía-Ponce, P. M., Licon-Cassani, C., Ramos-Parra, P. A., & Díaz de la Garza, R. I. (2020). The complexity of folate polyglutamylation in plants: Postharvest ripening and ethylene modulate polyglutamylated profiles in climacteric fruits plus systematic analysis of the glutamyl tail-editing enzymes. *Scientia Horticulturae*, 273(June), 109588. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109588>
- Giraldo, D., & Granados, W. (2018). *Cadena de producción de cítricos*. Ministerio de Agricultura. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Citricos/Documentos/2018-03-30 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Citricos/Documentos/2018-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- Glaciar Ingeniería S.A.S. (2014). *Manual de instalación , operación y mantenimiento Para enfriadores evaporativos modelo EEX* (Issue 574). <https://glaciaringenieria.com.co/wp-content/uploads/2016/06/manual-enfriadores-evaporativos-eex-2014.pdf>
- Global GAP. (2021). *Certificación Global Gap para Productores*. 2021. <https://www.globalgap.org/es/for-producers/>
- Harrington, J. H. (1993). *Mejoramiento de los procesos de la empresa* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Hernández, R., Baptista, P., & Fernández, C. (2010). *Metodología de la investigación*. (Interamericana (ed.); Quinta Edi). McGraw-Hill.
- Hozumi, H., Hasegawa, S., Tsunenari, T., Sanpei, N., Arashina, Y., Takahashi, K., Konno, A.,

- Chida, E., & Tomimatsu, S. (2017). Aromatherapies using *Osmanthus fragrans* oil and grapefruit oil are effective complementary treatments for anxious patients undergoing colonoscopy: A randomized controlled study. *Complementary Therapies in Medicine*, *34*, 165–169. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2017.08.012>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2018). *Instituto Colombiano Agropecuario - ICA*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). <https://www.ica.gov.co/noticias/productores-citricos-dulces-exportacion-eeuu-ica.aspx>
- Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. (2003). *Tablas de colores para cítricos: naranjas, mandarinas e híbridos*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. <https://www.tecnicoagricola.es/wp-content/uploads/2013/11/Tabla-color-mandarina.jpg>
- Jamett, P. (2010). *Effect of stowage in the degreening effectiveness of lemons (Citrus limon L. Burm) var. Fino 49 and Oranges (Citrus sinensis L. Osbeck) Var. Lane Late*. Escuela de Agronomía en la Univ. de Chile.
- Maldonado, V. R. (2017). Efecto inhibitorio del extracto de toronja (*Citrus paradisi*) en diferentes concentraciones sobre el *Streptococcus mutans*. estudio in vitro. *Universidad Central de Ecuador*, *70*.
- Mendes, C., Rocha, J., Direito, R., Fernandes, A., Sepodes, B., Figueira, M. E., & Ribeiro, M. H. (2019). Anti-inflammatory activity of grapefruit juice in an in vivo model of ulcerative colitis: Comparability studies of unprocessed and bioprocessed juices. *Journal of Functional Foods*, *63*, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103564>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Resolución 3929 de 2013. In *Applied Microbiology and Biotechnology* (Vol. 85, Issue 1, pp. 2071–2079). <https://www.invima.gov.co/documents/20143/441425/Resolucion-3929-2013.pdf/28252dd6-41eb-a575-8ec4-c876e6326a5e>
- Mir, A. (2021). *Empresa Sanifruit del Sector Fitosanitario*. Tecnología de Producción, Poscosecha y Marketing Para Frutas, Hortalizas y Flores. https://www.poscosecha.com/es/empresas/sanifruit/_id:62972
- Morales, J., Tárrega, A., Salvador, A., Navarro, P., & Besada, C. (2020). Impact of ethylene degreening treatment on sensory properties and consumer response to citrus fruits. *Food Research International*, *127*(May 2019), 108641. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108641>

- Murthy, K. N. C., Hepsiba, A., Jayaprakasha, G. K., & Patil, B. S. (2020). Grapefruit. In *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 393–404). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00024-6>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2007). *Codex Alimentarius : Frutas y Hortalizas Frescas*. <http://www.fao.org/3/a1389s/a1389s.pdf>
- Pacco, C. (2019). Temperature simulation and control in refrigerated storage chambers for fruit. *Procedia Manufacturing*, 42, 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.021>
- Pássaro, C., Navarro, P., & Salvador, A. (2008). Poscosecha. In *Poscosecha* (Instituto, pp. 224–284). Centro de Tecnología Poscosecha, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).
- Pássaro, C., Navarro, P., & Salvador, A. (2017a). *Parámetros calidad.pdf* (pp. 243–252). Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).
- Pássaro, C., Navarro, P., & Salvador, A. (2017b). Parámetros de Calidad. In *Poscosecha* (pp. 243–252). Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).
- PCE Instruments. (2021). *Medidor de CO2*. PCE Deutschland GmbH. https://www.pce-instruments.com/colombia/instrumento-medida/medidor/medidor-de-co2-kat_72339.htm
- Porrás, I. (2014). La Fruticultura del siglo XXI en España. In C. C. Rural (Ed.), *Serie Agricultura (10): Cajamar Caja Rural*. (Cajamar ru, Issue 10). Cajamar.
- Sanifruit. (2021). *Condiciones de Desverdizado para Cítricos*. www.sanifruit.com
- Sdiri, S., Navarro, P., Monterde, A., Benabda, J., & Salvador, A. (2012). Postharvest Biology and Technology New degreening treatments to improve the quality of citrus fruit combining different periods with and without ethylene exposure. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.08.005>
- Unión Europea. (2011). *Reglamento de Ejecución (UE): Normas de Comercialización de Cítricos*. https://www.ailimpo.com/documentos/2.-Anexo_Normas_Comercializacion_Citricos._Reglamento_543-2011.pdf
- Van Wyk, A. A., Huysamer, M., & Barry, G. H. (2009). Extended low-temperature shipping adversely affects rind colour of ‘Palmer Navel’ sweet orange [*Citrus sinensis* (L.) Osb.] due to carotenoid degradation but can partially be mitigated by optimising post-shipment holding temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 109–116. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2009.04.004>

- Vazquez, D., Almiron, N., Eyman, L., & Bello, F. (2020). *Desverdizado: precauciones para su implementación.*
- Villalba, L., Herrera, A., & Orduz, J. (2014). *Parámetros de calidad en la etapa de desarrollo y maduración en frutos de dos variedades y un cultivar de mandarina (Citrus reticulata Blanco).* Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de La Universidad Nacional de Colombia. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092014000100003
- Wojdyło, A., Nowicka, P., Tkacz, K., & Turkiewicz, I. P. (2021). Fruit tree leaves as unconventional and valuable source of chlorophyll and carotenoid compounds determined by liquid chromatography-photodiode-quadrupole/time of flight-electrospray ionization-mass spectrometry (LC-PDA-qToF-ESI-MS). *Food Chemistry*, 349(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129156>
- Zamora, M. M. (2014). *Elaboración artesanal y comercialización del vino de toronja D'María.* Universidad de Guayaquil.

ANEXOS

Anexo 1: Escala de color visual para cítricos: mandarinas, naranjas e híbridos.



Tabla 33. Partes del Enfriador Evaporativo.

Parte del equipo	Imagen	Utilidad	Parte del equipo	Imagen	Utilidad
Ventilador		se encuentra acoplado a un motor tipo EC de imán y hace descargas horizontales de aire.	Bomba de recirculación		Es una bomba semi sumergible, se encarga de recircular el agua por toda la unidad, está fabricada en plástico retardante
Relleno		Se encarga de captar el aire externo para conducirlo a las corrientes de agua y así disminuir la temperatura, actúa como un panel de enfriamiento y tiene un diseño autolimpiante.	Distribuidor de agua		Se encarga de distribuir el agua por todas las celdas del relleno, tiene un sistema anti taponamiento y control de nivel, lo que mejora la humectación del aire seco que se ingresa al panel evaporativo.
Controlador de temperatura		Se encarga de la regulación automática de la temperatura del enfriador evaporativo y controla la velocidad del ventilador.	Cabina resistente		Está fabricada en poliéster reforzado con fibra de vidrio, que es altamente resistente a la humedad y los rayos ultravioletas.

Anexo 6: Matriz DOFA para el proceso de desverdizado.

		Ámbito interno	
		Debilidades	Fortalezas
Ámbito externo	Objetivo del proyecto: Realizar procesos de desverdizado, encontrando las condiciones idóneas para obtener frutos de calidad con un flavedo que posea un color uniforme.	<p>D1: La empresa no dispone de más de \$5.000.000 para invertir inmediatamente en la automatización de la cámara de desverdizado.</p> <p>D2: El personal operativo no ha realizado simulacros, ni se encuentra capacitado para ejecutar el proceso.</p>	<p>F1: Ventaja competitiva sobre otros tipos de cítricos para exportación.</p> <p>F2: Calidad de los cultivos, con excelentes BPA.</p> <p>F3: Se disponen de equipos e instalaciones para realizar un proceso óptimo.</p> <p>F4: Se cuenta con una cámara de 200 m², diseñada para desverdizar más de 40 toneladas de fruta.</p>
	Oportunidades	Estrategias DO	Estrategias FO
	<p>O1: Necesidad de consumo de los productos en el exterior.</p> <p>O2: Aumento en la demanda mundial de cítricos.</p> <p>O3: Exportar frutos desverdizados a los EE.UU, abarcando amplios mercados.</p> <p>O4: En asociación con la empresa Asocie Perú se desea adquirir equipos sofisticados para ejecutar el proceso.</p>	<p>Durante el inicio de este proyecto, no se conocía mucha información acerca del proceso de desverdizado, surgió la oportunidad realizar prácticas experimentales, que dieron como resultados frutos con un índice de color favorable para los procesos de comercialización de la empresa y se creó una base de datos para hacerle seguimiento al proceso.</p>	<p>Se conoce por medio de la literatura que las temperaturas adecuadas para mantener la cámara durante el proceso de desverdizado deben ser <25°C, con una aplicación continua de etileno a concentraciones bajas, en donde se aprovecha la utilización de un generador de etileno diseñado para uso exclusivo en los procesos de maduración de cítricos, lo que proporciona confiabilidad.</p>
	Amenazas	Estrategias DA	Estrategias FA
	<p>A1: El comercio de frutos de la familia <i>Citrus</i> a un costo inferior.</p> <p>A2: Las atmosferas no controladas perjudican el proceso, se ocasiona pérdida de peso del fruto y se reducen las ganancias al momento de comercializar.</p> <p>A3: Que empresas de semejante funcionamiento desverdice frutos y los expendan a menor costo.</p>	<p>Analizado los tiempos de cosecha, reducir el tiempo de permanencia del fruto en el árbol, para aplicar desverdizado y obtener un color homogéneo del flavedo, cuyo aspecto cautivo a los consumidores y se evitan los extensos periodos para obtener la coloración característica de cada variedad de cítrico en el árbol.</p>	<p>La realización de desverdizado mejora la apariencia de los cítricos, su aspecto es más llamativo y cautivador, pero en procesos de comercialización o exportación a lugares lejanos, se debe transportar la fruta en contenedores a temperaturas dentro del rango de [5°C a -2°C], para evitar el deterioro y que no exista una sobre-pigmentación, por lo que el fruto no debe salir de la zona de embalaje con el tope de su coloración.</p>

Anexo 7: Muestreo probabilístico, realizado para muestra de tamaño finito.

$$n = Z_{\alpha}^2 * \frac{N * P * q}{i^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * P * q}$$

$$n = 0,95^2 * \frac{100 \text{ toronjas} * 0,5 * 0,5}{0,1^2 (100 - 1) + 0,95^2 * 0,5 * 0,5} = 18,56.$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Población seleccionada para el estudio (100 frutos).

Z_α = Nivel de confianza con el cual se ha trabajado (95%).

P = La probabilidad que tiene cierto elemento en ser elegido (50%).

q = La probabilidad que tienen un elemento en no ser agarrado (1-P).

i = Valor que me permite ajustar el cálculo del error (10%).

Anexo 8: Cuantiles de Distribución de Tukey $q(n, m)$.

$\alpha =$ 0,05	$n =$ 2	3	4	5	6	7	8	9	10
m= 2	6,08	8,33	9,8	10,88	11,73	12,43	13,03	13,54	13,99
3	4,5	5,91	6,82	7,5	8,04	8,48	8,85	9,18	9,46
4	3,93	5,04	5,76	6,29	6,71	7,05	7,35	7,6	7,83
5	3,64	4,6	5,22	5,67	6,03	6,33	6,58	6,8	6,99
10	3,15	3,88	4,33	4,65	4,91	5,12	5,3	5,46	5,6
12	3,08	3,77	4,2	4,51	4,75	4,95	5,12	5,27	5,39
18	2,97	3,61	4	4,28	4,49	4,67	4,82	4,96	5,07
20	2,95	3,58	3,96	4,23	4,45	4,62	4,77	4,9	5,01
25	2,91	3,52	3,89	4,15	4,36	4,53	4,67	4,79	4,9
30	2,89	3,49	3,85	4,1	4,3	4,46	4,6	4,72	4,82
35	2,87	3,46	3,81	4,07	4,26	4,42	4,56	4,67	4,77
40	2,86	3,44	3,79	4,04	4,23	4,39	4,52	4,63	4,73
41	2,86	3,44	3,79	4,03	4,23	4,38	4,51	4,63	4,73
42	2,85	3,44	3,78	4,03	4,22	4,38	4,51	4,62	4,72
43	2,85	3,43	3,78	4,03	4,22	4,37	4,5	4,62	4,72
44	2,85	3,43	3,78	4,03	4,21	4,37	4,5	4,61	4,71
45	2,85	3,43	3,77	4,02	4,21	4,36	4,49	4,61	4,7
46	2,85	3,42	3,77	4,01	4,2	4,36	4,49	4,6	4,7
47	2,85	3,42	3,77	4,01	4,2	4,36	4,48	4,6	4,69
48	2,84	3,42	3,76	4,01	4,2	4,35	4,48	4,59	4,69
49	2,84	3,42	3,76	4	4,19	4,35	4,48	4,59	4,69
50	2,84	3,42	3,76	4	4,19	4,34	4,47	4,58	4,68
60	2,83	3,4	3,74	3,98	4,16	4,31	4,44	4,55	4,65
120	2,8	3,36	3,68	3,92	4,1	4,24	4,36	4,47	4,56
121	2,77	3,31	3,63	3,86	4,03	4,17	4,29	4,39	4,47

Anexo 9: Evidencias Fotográficas.

Recepción de la fruta.



Categorización de la fruta por calibre, tomando su peso de ingreso y rotulando la muestra.



Distribución de la fruta en el interior de cámara.



Ingreso de toda la fruta a desverdizar a la cámara.



Adición de Eti-Gen II al generador catalítico Citrus.



Activación del enfriador evaporativo.



Encendido del Termohigrómetro digital



Activación del generador catalítico.



Al activar todos los equipos puesta en marcha de la operación de desverdizado.



Inspección de los parámetros de operación.



Monitoreos de los parámetros de calidad, especialmente el índice de color.



Pesado de la fruta.



Determinación de los sólidos solubles totales.



Resultado de la determinación de los SST.



Determinación de la acidez titulable.



Monitoreo de la evolución del proceso.



Evolución del índice de color.



Pigmentación característica de la toronja Star Ruby.



Visualización del cambio de color.



Revisión de las toronjas desverdizadas.



Distribución final de la toronja.

