



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN LOS
PROCESOS DE MADURACIÓN Y PULPA EN PLANTA PROCESADORA DE AGUACATE**

Javier Horacio García Sánchez

Asesorado por el Ing. Ernesto Daniel Alvarado Jiménez

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN LOS
PROCESOS DE MADURACIÓN Y PULPA EN PLANTA PROCESADORA DE AGUACATE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JAVIER HORACIO GARCÍA SÁNCHEZ

ASESORADO POR EL ING. ERNESTO DANIEL ALVARADO JIMÉNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
EXAMINADORA	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN LOS PROCESOS DE MADURACIÓN Y PULPA EN PLANTA PROCESADORA DE AGUACATE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 17 de agosto de 2018.



Javier Horacio García Sánchez

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas.
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial.
Facultad de Ingeniería.
U.S.A.C.
Presente.

Estimado Ingeniero César Ernesto Urquizú Rodas.

Por este medio, hago constar que yo, Ingeniero Mecánico Industrial Ernesto Daniel Alvarado Jiménez, con colegiado número siete mil novecientos noventa y cinco (7995), doy como visto bueno el desarrollo del trabajo de investigación final de graduación del alumno Javier Horacio García Sánchez, identificado con CUI 2664 60852 0301, alumno a quien he podido apoyar como asesor de su protocolo de tesis.

Dando por concluido el desarrollo de la misma investigación y planteando las soluciones inmediatas y efectivas para el beneficio de la empresa donde se desarrolló la misma.

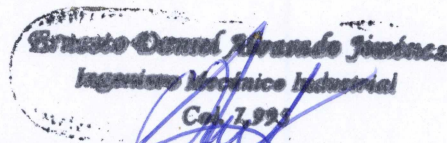
Doy por concluido de forma eficiente ante mi persona el desarrollo de su trabajo de investigación, como tema: **OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN LOS PROCESOS DE MADURACIÓN Y PULPA EN PLANTA PROCESADORA DE AGUACATE.**

Línea de investigación: Diseño de procesos.

Área: operaciones.

Aprovecho la oportunidad para expresarle mi consideración.

Atentamente.


Ernesto Daniel Alvarado Jiménez
Ingeniero Mecánico Industrial
Col. 7995

Ingeniero Ernesto Daniel Alvarado Jiménez

Colegiado número 7995



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.052.021

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIREA EN LOS PROCESOS DE MADURACIÓN Y PULPA EN PLANTA PROCESADORA DE AGUACATE**, presentado por el estudiante universitario **Javier Horacio García Sánchez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑADA A TODOS”

Julio O. Rojas Argueta
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado 10,870

Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, abril de 2021.

/mgp



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.DIR.EMI.105.021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN LOS PROCESOS DE MADURACIÓN Y PULPA EN PLANTA PROCESADORA DE AGUACATE**, presentado por el estudiante universitario **Javier Horacio García Sánchez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2021.

/mgp



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 542.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN LOS PROCESOS DE MADURACIÓN Y PULPA EN PLANTA PROCESADORA DE AGUACATE**, presentado por el estudiante universitario: **Javier Horacio García Sánchez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Al Creador

Por haberme dado la dicha de nacer en el seno de una familia con unos padres y hermanos maravillosos.

Mis padres

Carmen Yolanda Sánchez Díaz y Valerio García Vega. Por enseñarme el valor del trabajo, la perseverancia, la caridad y la humildad. Por su apoyo incondicional en cada una de mis metas y anhelos. Por la paciencia, la lealtad y el infinito amor que nos profesan.

Mis hermanos

Mynor Fernando y Sergio Guillermo García Sánchez. Por su apoyo en cada una de las etapas de mi formación, por sus consejos, el apoyo incondicional, enseñanzas, el cariño y la unión que nos caracteriza.

Mis cuñadas

Mercedes del Carmen Hernández Ortiz y Kleey Jehovana Girón Alemán. Por su cariño manifestado durante todos estos años; por las anécdotas y el tiempo compartido.

Mis Sobrinos

Lucas Damián García Girón y Valeria Isabel García Hernández. Para que, a través de mi ejemplo, en el futuro luchen por conseguir sus

sueños.

Familia Brincker

Por el apoyo hacia mí y a mi familia cuando más lo necesitábamos, por las historias y anécdotas compartidas, sinceramente agradecido.

Mis amigos

Por haber compartido de una amistad sincera durante todos estos años. Por los momentos vividos, jamás olvidados.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por ser el alma máter de tantos profesionales que construyen el futuro de nuestro país. Que su legado prevalezca.

Facultad de Ingeniería

Por haberme acogido dentro de sus aulas durante mis años de formación; por darme las herramientas para lograr mis objetivos.

Corporación Palo Blanco

Por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente.

Mi asesor

Ernesto Daniel Alvarado por su buena voluntad e interés por mi desarrollo profesional a través del apoyo en mi trabajo de graduación.

	1.1.5.4.2.	Densidad de alimentos.....	20
	1.1.5.4.3.	Calor específico	20
	1.1.5.4.4.	Entalpía	21
	1.1.5.4.5.	Calor de respiración	21
	1.1.5.5.	Cambios composicionales.....	22
1.1.6.		Calidad del aguacate.....	22
	1.1.6.1.	Especificaciones.....	24
1.1.7.		Importancia del aguacate en el mercado nacional e internacional.....	27
1.2.		Sistemas de acondicionamiento de aire.....	30
	1.2.1.	Diseño de almacén frigorífico	31
		1.2.1.1. Funciones del diseño	32
		1.2.1.2. Equipamiento	33
	1.2.2.	Tipos de almacén refrigerado.....	35
1.3.		Funcionalidad.....	36
	1.3.1.	Aislamiento.....	36
		1.3.1.1. Tipos de aislamiento	37
	1.3.2.	Preenfriamiento de alimentos.....	37
	1.3.3.	Almacenamiento de alimentos perecederos.....	38
	1.3.4.	Conservación de frutas a bajas temperaturas	39
	1.3.5.	Daño por frío	41
		1.3.5.1. Reducción del daño por frío	41
	1.3.6.	Atmósfera controlada	42
	1.3.7.	Atmósfera modificada.....	42
	1.3.8.	Características de las cámaras	43
	1.3.9.	Mantenimiento del sistema de acondicionamiento	44
		1.3.9.1. Problemas básicos	47

	1.3.9.2.	Tipo de mantenimiento	47
	1.3.9.3.	Periodicidad	47
	1.3.9.4.	Recomendaciones	48
2.	SITUACIÓN ACTUAL.....		51
2.1.	Descripción general de la fábrica		51
	2.1.1.	Distribución de maquinaria	51
	2.1.2.	Diagrama de operaciones.....	54
	2.1.2.1.	Descripción de las operaciones	60
	2.1.3.	Diagrama de flujo de proceso	69
	2.1.4.	Cuello de botella	70
2.2.	Control de calidad.....		71
	2.2.1.	Puntos críticos de control de calidad	72
	2.2.2.	Especificaciones del control de calidad	75
2.3.	Diseño actual de los cuartos de maduración		76
	2.3.1.	Esquema del sistema de flujo de aire	78
2.4.	Parámetros actuales de los factores de maduración.....		79
	2.4.1.	Temperatura	80
	2.4.2.	Oxígeno	80
	2.4.3.	Dióxido de carbono.....	80
	2.4.4.	Etileno.....	80
	2.4.5.	Humedad relativa.....	81
	2.4.6.	Materia seca	81
2.5.	Eficiencia de la pulpa.....		81
	2.5.1.	Porcentajes de aceptación de aguacate por lote	81
2.6.	Manejo de desechos		82

3.	PROPUESTA DE MEJORA DEL CONTROL DE MADURACIÓN DE AGUACATE	83
3.1.	Control del proceso de descarga de la materia prima	83
3.1.1.	Diagrama de recorrido de materia prima.....	84
3.1.2.	Especificaciones de aceptación del fruto.....	85
3.1.3.	Cronograma de recepción de pedidos	86
3.2.	Control del ingreso de aguacates al proceso de maduración...	90
3.2.1.	Porcentajes de aceptación de aguacates con respecto al lote inicial	90
3.2.2.	Características del fruto previo al ingreso a las cámaras de maduración	92
3.3.	Control de los parámetros de maduración	94
3.3.1.	Control del flujo de aire fresco.....	95
3.3.2.	Inyección de etileno.....	96
3.3.3.	Porcentajes de CO2 dentro de las cámaras de maduración.....	98
3.3.4.	Control de las variaciones de temperatura	98
3.3.5.	Relación de la materia seca con el ciclo de maduración.....	99
3.4.	Análisis de los sistemas de acondicionamiento de aire.....	100
3.4.1.	Tuberías	100
3.4.2.	Ventiladores	102
3.4.3.	Bombas	103
3.4.4.	Compresores.....	104
3.4.5.	Condensadores	105
3.5.	Control durante el proceso de maduración	106
3.6.	Determinación de las condiciones de salida del aguacate luego del proceso de maduración	108
3.7.	Rendimiento de pulpa	110

3.7.1.	Porcentaje de aceptación de aguacate con respecto al lote de ingreso.....	110
3.8.	Costos	111
3.8.1.	Método de costeo actual.....	112
3.8.2.	Análisis costo-beneficio del proceso.....	113
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORA DEL CONTROL DE MADURACIÓN DE AGUACATE.....	117
4.1.	Muestreo y estandarización de tiempos en las estaciones de trabajo.....	117
4.2.	Rediseño del sistema de acondicionamiento de aire dentro de las cámaras de maduración.....	117
4.2.1.	Definición del tipo de sistema	119
4.2.2.	Ubicaciones de los equipos y ductería	125
4.2.3.	Equipo	126
4.3.	Determinación de los factores ideales de maduración para la optimización del rendimiento de pulpa de aguacate	127
4.3.1.	Mediciones periódicas de los parámetros de maduración.....	128
4.4.	Manejo de materia procesada	130
4.4.1.	Medidas de inocuidad.....	132
4.4.2.	Diagrama bimanual del proceso de extracción de pulpa.....	134
4.5.	Análisis de costos	135
4.5.1.	Insumos	136
4.5.2.	Merma	137
4.5.3.	Mantenimiento	140

5.	SEGUIMIENTO Y MEJORA.....	143
5.1.	Tratamiento de los residuos	143
5.1.1.	Emisión de gases	148
5.1.2.	Tratamiento de agua	148
5.1.3.	Plásticos.....	148
5.1.4.	Refrigerantes.....	149
5.2.	Producto defectuoso	149
5.3.	Mantenimiento de los sistemas de acondicionamiento	152
5.3.1.	Periodicidad.....	152
5.3.2.	Formatos de programación y registro.....	154
5.3.3.	Normas de seguridad e higiene ocupacional.....	165
	CONCLUSIONES.....	169
	RECOMENDACIONES	171
	BIBLIOGRAFÍA.....	173

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ataque de trips	5
2.	Daño por barrenador de ramas a las plantaciones de aguacate	6
3.	Daño en fruto por gusano telarañero <i>Amorbia cuneana</i>	7
4.	Daño en hojas de aguacate por araña roja	8
5.	Tristeza del aguacate	9
6.	Anillamiento del pedúnculo	10
7.	Daño en el aguacate por antracnosis viva	11
8.	Daño en el aguacate causado por roña	12
9.	Daño severo por sol	25
10.	Daño mecánico por compresión.....	25
11.	Daño por rozamiento.....	26
12.	Funcionamiento de un circuito básico de refrigeración	33
13.	Distribución de maquinaria.....	53
14.	Diagrama de operaciones del guacamol	54
15.	Diagrama de flujo producción de guacamole	69
16.	Diseño de los cuartos de maduración de aguacate	77
17.	Comportamiento del aire dentro de las cámaras de maduración de aguacate	79
18.	Diagrama de recorrido de materia prima.....	84
19.	Tubería galvanizada Hg	101
20.	Tubería PVC	101
21.	Ventilador de inyección de aire fresco y extracción de CO ₂	103

22.	Bomba	104
23.	Penetrómetro	106
24.	Cuartos de maduración	119
25.	Dosificación de etileno en el cuarto de maduración	122
26.	Humedad relativa	123
27.	Renovaciones de aire	124
28.	Ubicación de equipos vista interna	125
29.	Ubicación de equipos vista exterior	126
30.	Gráfico de temperatura y humedad relativa	129
31.	Gráfico CO2 y etileno	130

TABLAS

I.	Variedades de aguacate para el cultivo en diferentes altitudes	4
II.	Hoja de evaluación de producto.....	85
III.	Cronograma de recepción.....	88
IV.	Control de recepción de pedidos.....	89
V.	Porcentaje de aceptación lote de ingreso	90
VI.	Hoja de evaluación de porcentajes de aceptación de aguacates.....	91
VII.	Características para la evaluación de materia prima	92
VIII.	Evaluación de materia prima previo al ingreso a cámaras de maduración	93
IX.	Características del producto por lote.....	94
X.	Control de apertura de los cuartos de maduración	96
XI.	Costos de inyección de etileno.....	97
XII.	Costos de cilindro de etileno	97
XIII.	Control de las variaciones de temperatura.....	99
XIV.	Control de maduración lote 016	107
XV.	Proceso de maduración	108
XVI.	Evaluación de proceso de maduración	109
XVII.	Porcentaje de aceptación del lote	111
XVIII.	Costo de producción un contenedor	112
XIX.	Costo de producción de un contenedor sin y con control de maduración	113
XX.	Costo total del proceso.....	115
XXI.	Cantidad recibida vs. cantidad entregada con la implementación del control de maduración.....	115
XXII.	Sistema de maduración de aguacates	127
XXIII.	Factores ideales de maduración	128
XXIV.	Normas de manejo de materia procesada	131

XXV.	Principios de inocuidad	133
XXVI.	Diagrama bimanual	135
XXVII.	Costos de operación	136
XXVIII.	Cuadro comparativo con sistema de control de maduración	137
XXIX.	Sin sistema de control de maduración % de rendimiento	138
XXX.	Sin sistema de control de maduración % de merma.....	138
XXXI.	Con sistema de control de maduración % de rendimiento.....	139
XXXII.	Con sistema de control de maduración % de merma	139
XXXIII.	Cambio en el rendimiento de la materia seca.....	140
XXXIV.	Costos de mantenimiento	141
XXXV.	Control de tratamiento de residuos.....	145
XXXVI.	Control de extracción de residuos	147
XXXVII.	Registro de producto no conforme.....	150
XXXVIII.	Registro de producto de rechazo.....	151
XXXIX.	Cronograma de mantenimiento del sistema de acondicionamiento	153
XL.	Registro de mantenimiento a evaporadores	154
XLI.	Registro de mantenimiento a condensadoras.....	156
XLII.	Registro de mantenimiento de <i>High Pressure Procesing</i>	158
XLIII.	Registro de mantenimiento de estación de energía eléctrica	160
XLIV.	Registro de mantenimiento del pozo de residuos	162
XLV.	Registro de mantenimiento de empacadora	164

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ρ	Densidad
CO₂	Dióxido de carbono
Ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
°C	Temperatura en grados centígrados
Tt	Tonelada
cm	Unidad de longitud centímetro
μ	Viscosidad

GLOSARIO

Agroindustria	Sector de la industria dedicada a los procesos y producción de productos agrícolas, pecuarios y forestales, cuyos procesos someten estos productos a un procedimiento fabril, para lo cual cuentan con equipos sofisticados y poseen una capacidad mayor a las empresas normales.
<i>Batch</i>	Conjunto de elementos que forman la unidad mínima rentable de producción, en este caso el aguacate mezclado con otros elementos alimenticios hace el <i>batch</i> de guacamol.
Bióxido de carbono	Sustancia inodora e incolora que se desprende en la respiración, en las combustiones y en ciertas fermentaciones.
Control de calidad	Grupo de los procedimientos, acciones y elementos realizados para detectar la presencia de fallas. La función primordial del control de calidad es certificar que los productos o servicios cumplan con la calidad mínima requerida.

Entalpía	Contenido calórico o nivel de energía de un material, referido al que tiene a una temperatura arbitraria en el que asigna nivel cero, por lo general 40 °C para productos congelados o 0 °C para otros sistemas.
Enzima	Moléculas de naturaleza proteica que cataliza reacciones químicas en la molécula.
Etileno	Compuesto químico que se utiliza como hormona de maduración.
Evaporación	Se le denomina a la transformación de un líquido en vapores o de gases.
Fitosterol	Conjunto de sustancias con una estructura establecida, química con base en las plantas, que impiden la absorción intestinal del colesterol en el cuerpo.
Fricción	Cuando dos superficies se tocan y se ejercen fuerzas entre ellas.
Frijo conservación	Denomina así la conservación de ciertos productos alimenticios de carácter perecederos en bajas temperaturas.
Frigorífico	Instalación industrial que se utilizan para almacenar carnes, vegetales o diferentes productos para su posterior comercialización en el mercado.

Guacamol	Producto elaborado con la pulpa del aguacate, el cual se consiste en un puré de aguacate, puede ser generalmente de pequeños trozos o de aguacate molido.
Humedad	Cantidad de agua condensada que presenta el aire, humedades relativas altas permiten que los productos refrigerados presenten una capa de agua en su epicarpio que les protege de la pérdida de masa.
Ingeniería de métodos	de Técnica encargada de aumentar la productividad con los mismos recursos, para obtener la misma producción con menos recursos dentro de una empresa. Para ello, utiliza un estudio sistemático y crítico de los procesos, operaciones y métodos de trabajo para aumentar la productividad.
Ingeniería de plantas	Estudio de los tiempos y costos de producción para optimizar la productividad, y así sea más eficiente. En otras palabras, con fin de minimizar tiempos y costos, se puede cambiar la Ingeniería de planta actual o rediseño de la estructura de los procesos con el propósito de obtener un producto terminado en el menor tiempo.
Inocuidad	Condición de los alimentos que garantiza que no causarán daño al consumidor, cuando se preparen y/o consuman de acuerdo con el uso al que se destinan. La inocuidad es uno de los cuatro grupos básicos de

características que, junto con las nutricionales, las organolépticas y las comerciales, componen la calidad de los alimentos.

Maduración Secuencia de cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que liberan la formación del fruto exacto para consumir.

Oxidación Reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante.

Oxígeno Elemento químico de número atómico 8, masa atómica 15,99 y símbolo O; es un gas incoloro e inodoro que se encuentra en el aire, en el agua, en los seres vivos y en la mayor parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos; es esencial en la respiración y en la combustión; se usa en soldaduras y se administra a pacientes con problemas respiratorios o a personas que vuelan a altitudes elevadas.

Pitting Cuando la fruta comienza a suavizarse, se cubre de masas de esporas oscuras, la pudrición penetra la pulpa e induce pardeamiento y rancidez en el fruto.

Pulpa Producto pastoso, no diluido, ni concentrado, ni fermentado; obtenido por la desintegración y tamizado en el proceso de maduración.

Senescencia

Cambios relacionales entre los elementos del sistema por el paso del tiempo.

Viscosidad

Oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. En realidad, todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad; el modelo de viscosidad nula es una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.

RESUMEN

El presente estudio tiene el objetivo de optimizar los sistemas de acondicionamiento de aire en los procesos de maduración y pulpa en planta procesadora de aguacate.

Al realizar cualquier tipo de diseño es necesario contar con un marco teórico que dé soporte al proyecto, por lo que se toman en cuenta las características del aguacate, los sistemas de acondicionamiento de aire, así también, lo más indispensable, la situación actual de la fábrica en referencia al control de calidad, el diseño de los cuartos de maduración, los parámetros de los factores de maduración y la eficiencia de la pulpa.

En la fase de la propuesta de mejora del control de maduración de aguacate, se desarrollan los controles del proceso de descarga de materia prima, del ingreso de aguacates al proceso de maduración, los parámetros y análisis y costos de los sistemas de acondicionamiento de aire.

La implementación de la propuesta de mejora del control de maduración de aguacate presenta el rediseño del sistema de acondicionamiento, la determinación de los factores ideales de maduración, el manejo de la materia procesada; además, se muestra el análisis de costos de los insumos y mantenimiento, la reducción de merma con el sistema de control de maduración.

Por último, en la fase de seguimiento y mejora, se desarrollan los temas de tratamiento de los residuos dentro de la fábrica, el proceso con el producto

defectuoso, y los registros, formatos de mantenimiento de los sistemas de acondicionamiento; estos son importantes en el desarrollo de las actividades diarias de mantenimiento. Esta información será utilizada por la planta procesadora de aguacate, para tecnificar las prácticas utilizadas en el proceso de maduración del fruto, tratamiento y empaque del fruto; y así brindar un producto de mayor calidad, de tal forma que el productor lo acerque más al consumidor final, con el propósito de obtener mayores beneficios para la fábrica.

OBJETIVOS

General

Optimizar los sistemas de acondicionamiento de aire en los procesos de maduración y pulpa en planta procesadora de aguacate.

Específicos

1. Identificar los puntos críticos del proceso del aguacate que determinan la calidad del producto terminado.
2. Establecer los rangos de humedad relativa, temperatura, bióxido de carbono y etileno ideales para mejorar el rendimiento de pulpa del aguacate.
3. Diseñar un sistema de acondicionamiento de la materia prima, durante el proceso de maduración del aguacate.
4. Determinar la eficiencia del fruto, mediante el control de los niveles de CO₂ y etileno en las cámaras de maduración.
5. Mejorar el rendimiento por *batch* de aguacate procesado en un 5 %.
6. Determinar los tiempos estándar de la materia prima, durante todo el proceso productivo.

7. Estandarizar los procesos de mantenimiento en los equipos

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales sectores económicos del país, lo constituye la agroindustria, ramo al que la empresa objeto de este trabajo de graduación pertenece. Esta, actualmente, se dedica al procesamiento del fruto de aguacate para la obtención de guacamol; utiliza producto nacional, el cual es cultivado en varias regiones del altiplano del país. El producto es principalmente de exportación, ya que es enviado a distintas partes del mundo tales como Europa, Asia, América y El Caribe.

Para el proceso de transformación de la materia prima, se tienen puntos críticos de calidad establecidos previamente; de estos, la selección y maduración del fruto son los de mayor importancia, ya que de esto depende el proceso para perfeccionar la pulpa, y que esta pueda ser convertida en guacamol. Para esta industria en particular, cumplir con los estándares y políticas de calidad establecidas, no solo es requerimiento para el proceso, también es asegurar la facilidad de vender el producto tanto en el mercado interno como el externo.

Debido a estos factores, el presente trabajo de graduación se enfoca en el proceso de maduración de dicho fruto, donde el control del flujo de aire dentro de las cámaras de maduración del aguacate se constituye en un proceso vital, con el objetivo de extraer CO₂ e introducir aire fresco al sistema, para, posteriormente, obtener una eficiencia en la pulpa y, por ende, un incremento en el *batch* de guacamol.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Características del aguacate

El aguacate es una planta perteneciente a la familia de las Lauráceas. Originario de Guatemala, parte de Centroamérica y México. “El fruto del aguacate es una carnosidad, de forma periforme, ovoide, globular o elíptica alargada; su color varía del verde claro al verde oscuro, y del violeta al negro”¹.

Además, posee características físicas y organolépticas que se diferencian entre variedades, así como

La forma, el color, la estructura y consistencia de la cáscara y de la pulpa, son características determinadas por el grupo ecológico y la variedad analizada. La mayoría de las variedades comerciales se han clasificado en tres razas básicas: la mexicana, de origen mexicano, la guatemalteca y antillana, ambas de origen guatemalteco.²

Cabe resaltar que las características distintivas se toman en cuenta, la época de floración y recolección, el período de floración-recolección, el peso y tipo de corteza de la fruta, el contenido de aceite de la pulpa y la resistencia al frío.

1.1.1. Beneficios

El aguacate se ha destacado por sus diferentes usos debido a sus distintas propiedades medicinales, culinarias y cosméticas.

¹ COLOM, Arturo; ESTRADA, Roberto. *El cultivo del aguacate para la exportación*. p. 12.

² GONZÁLES, Víctor. *Escarificación física y aplicación de ácido giberélico a semilla de aguacate, (Persea Americana Mill), para producir porta injertos*. p. 11.

Las hojas, cáscaras, semillas y corteza son utilizadas en el aspecto medicinal; en los cosméticos y la extracción de aceites, mismo uso que es altamente demandada por ser rico en grasas no saturadas y vitamina E, así mismo como su baja acidez y su alta composición de fitosterol.³

Por otra parte, el aguacate se utiliza como materia prima en la fabricación de champú, cremas, mascarillas protectoras y limpiadoras de la piel. Sin embargo, la principal forma de utilización del aguacate es el consumo de la pulpa procesada en forma de guacamol, producto muy favorable en la dieta del ser humano, por el alto valor proteínico de su fruta y su bajo nivel de colesterol.

También es “fuente de vitaminas tales como: E, A, B1, B2, B3, D, K y C; minerales como: hierro, potasio, fósforo y magnesio; y otros componentes nutricionales como: ácido fólico, niacina, biotina y ácido oleico, entre otros.”⁴

1.1.2. Variedades

A continuación, se muestran las características más importantes de las variedades más comunes utilizadas en el mercado.

- Variedad Hass
 - El árbol es sensible al frío, por lo que es aconsejable su plantación en zonas libres de heladas.
 - Evitar regiones con vientos calurosos, pues deshidratan tanto las flores como los brotes jóvenes.
 - Su época de floración normal es de diciembre a marzo; floración loca, de agosto a octubre.
 - Cosecha de noviembre a abril y de julio a septiembre.

³ COLOM, Arturo; ESTRADA, Víctor. El cultivo del aguacate para la exportación. p.15.

⁴ ALVAREZ DE LA PEÑA, Francisco Javier. *El Aguacate*. p. 98.

- Principal variedad comercial en el mundo.
 - Buen nivel de productividad.
 - Fruto oval periforme.
 - Tamaño medio, de 100 a 300 gramos de peso.
 - Excelente calidad.
 - Piel gruesa (resistente al transporte), rugosa, que se pela con facilidad.
 - Fruto maduro color violeta oscuro.
 - La pulpa no tiene fibra.
 - Contenido de aceite de 18 a 22 %.
 - El fruto permanece temporalmente en el árbol, después de madurar sin pérdida de calidad.
- Variedad Booth 8
 - Es una variedad típica para zonas de costa y boca costa.
 - La época de floración es de diciembre a marzo.
 - La cosecha es de agosto a octubre.
 - Fruto oblongo-ovoide, pesa entre 250 a 800 gramos.
 - Piel bastante opaca, verde, ligeramente rugosa, bastante gruesa y leñosa.
 - Pulpa de color crema claro.
 - Contenido de aceite de 6 a 12 %.

Tabla I. **Variedades de aguacate para el cultivo en diferentes altitudes**

Altura		
De 0 - 1 000 msnm	1 000 – 1 500 msnm	1 500 – 2 500 msnm
Simmons	Choquete	Nabal (G)
Catalina	Kahalú	Azteca
Booth 8	Hall	Fuerte
Booth 7	Simpson	Hass
Masutomi	Booth 8	Ettinger
Kahalú	Guatemala	Wurstz
	Fujikawa	
	Itzama	

Fuente: elaboración propia, con datos Anacafé.

1.1.3. Plagas

- Trips

Los trips son especies *Frankliniella* y *Scirtothrips*, que se alimentan de tejidos tiernos como: brotes foliares y florales, hojas y frutos pequeños. El daño que provoca en el caso más extremo es la caída del fruto o heridas que permiten la entrada de enfermedades como la roña⁵. Los daños se hacen más visibles conforme el fruto se desarrolla, lo que ocasiona pérdida de calidad en la presentación.

⁵ YARA. *Nutrición vegetal del aguacate. Principales plagas del cultivo de aguacate.* <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/aguacate/plagas-y-enfermedades/>. Consulta: mayo 2018.

Figura 1. **Ataque de trips**



Fuente: elaboración propia.

- Barrenador de ramas (*Copturus aguacate* Kissinger)

Es un coleóptero que oviposita en la corteza de ramas. Por la gran cantidad de galerías que hacen las larvas al alimentarse de la madera, la rama tiende a romperse, por consiguiente, se pierde la cosecha.

Figura 2. **Daño por barrenador de ramas a las plantaciones de aguacate**



Fuente: elaboración propia.

- Enrollador de la hoja o gusano telarañero (*Amorbia* sp.)

Es una palomilla en forma de campana que mide 2,5 cm, de expansión alar y color café claro. Las larvas, de color verde amarillento, son nerviosas y tienden a caerse cuando se les molesta; se alimentan de las hojas que enrollan con sus telarañas para protegerse. Además, dañan botones florales e inflorescencias. Es frecuente que al haber dos o más frutos juntos sean descarnados y queden adheridos entre sí por el filamento sedoso producido por el insecto. En daños severos, se observan manchones a manera de manojos de hojas secas enrollados con telaraña, que resaltan en el verde del follaje sano.

Figura 3.

Daño en fruto por gusano telarañero *Amorbia cuneana*



Fuente: elaboración propia.

- Araña roja (*Oligonychus* sp)

Es un ácaro de color café-rojizo que con dificultad se puede observar a simple vista; se ubica en el haz de las hojas succionando savia. En altas poblaciones, las hojas se decoloran a un café bronceado, y puede llegar a atacar el envés de las hojas, retoños y flores. Aparece principalmente en época seca entre diciembre y mayo; si no se controla a tiempo, puede llegar a representar daños económicos.

Figura 4. **Daño en hojas de aguacate por araña roja**



Fuente: elaboración propia.

1.1.4. Enfermedades

- Tristeza o marchitamiento del aguacate

Causada por el hongo del suelo *Phytophthora cinnamomi*; es una de las enfermedades más devastadoras del cultivo de aguacate en el mundo. Las condiciones óptimas para el desarrollo del hongo son: suelos arcillosos con mal drenaje, interno exceso de humedad, temperatura del suelo alta y un pH ligeramente ácido.

El hongo se puede propagar por medio del agua de riego, maquinaria, herramientas de trabajo y calzado. El primer síntoma en árboles infectados es un marchitamiento de la planta por pudrición de raíces absorbentes y

secundarias, lo que provoca la disminución de la absorción de agua y de nutrientes.

Las hojas se tornan de color amarillento y las puntas de las mismas pierden rigidez como si necesitaran agua; al final, la planta muere gradualmente por marchites.

Figura 5. **Tristeza del aguacate**



Fuente: elaboración propia.

- Anillamiento del pedúnculo

Esta enfermedad provoca la caída de frutos de aguacate tamaño canica, uva y hasta frutos medianos. Incide drásticamente en la variedad Hass, cuando se da el cambio de la estación seca a la estación lluviosa. En esta etapa, en las

plantaciones que no tienen riego y reciben fuertes aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, se acentúa la caída de frutos.

El daño continúa en condiciones de alta humedad: se da en el pedúnculo aproximadamente a un cm del fruto. Esto es una especie de ahorcamiento, la corteza se pone necrótica, en ocasiones se desprende y el fruto se torna violeta; a veces se puede desprender o permanecer adherido al pedúnculo.

Figura 6. **Anillamiento del pedúnculo**



Fuente: elaboración propia.

- Antracnosis

“Esta enfermedad surge del hongo *colletotrichum gloesporoides*, produciendo pudrición del fruto a nivel de campo y en el periodo de cosecha. Además, ataca brotes jóvenes, cogollos, flores, ramas y frutos”.⁶

Se visualiza por medio de esporas abundantes de color naranja, las cuales son producidas en hojas y ramas muertas en el interior de la copa de los árboles y son dispersadas por el agua durante la temporada de lluvias. Este mal llega a causar pérdidas del 20 al 30 %. Si el ataque es muy severo, aunado a un manejo deficiente de la enfermedad, dicho porcentaje, incluso, puede elevarse. Es una enfermedad que, además de dañar el amarre de flor y fruto en un 10 %, también daña ramas tiernas y hojas, con lo cual se disminuye la capacidad fotosintética del árbol.

Figura 7. **Daño en el aguacate por antracnosis viva**



Fuente: elaboración propia.

⁶ YARA. *Principales plagas del cultivo de aguacate*. <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/aguacate/plagas-y-enfermedades/>. Consulta: 22 de julio 2019

- Roña

Es una enfermedad producida por el hongo *Sphaceloma perseae* Jenkins, en su fase asexual. Después de la antracnosis, es la enfermedad que sigue en importancia económica en las plantaciones de aguacate en Guatemala, pues daña principalmente el fruto, aunque en ataques severos puede dañar hojas y ramas. La enfermedad es favorecida con humedades relativas arriba del 60 % y temperaturas altas.

La roña en el aguacate ocasiona caída de flores y daño en el fruto, por lo tanto, baja la calidad y, como consecuencia el precio del producto. El hongo ataca ramas jóvenes, frutos y hojas. En los frutos, se observan lesiones de color café de aspecto corchoso y de forma irregular que al unirse pueden cubrir completamente el fruto, lo que le da un aspecto de mamey o kiwi. En las ramas, se observan daños de manchas color café no mayores a 3 mm. Para que el hongo prolifere se necesita una humedad relativa de 80 % y temperaturas de 22 a 25 grados centígrados.

Figura 8. **Daño en el aguacate causado por roña**



Fuente: elaboración propia.

1.1.5. Manejo poscosecha

Es importante señalar que toda plantación de aguacate, previo a la comercialización del producto, deberá someterse a un proceso tecnológico de buen manejo poscosecha.

La conservación de productos perecederos de alto consumo constituye una prioridad para todos los integrantes de la cadena de abastecimiento, en vista de las pérdidas que se registran en la etapa de poscosecha, lo cual se refleja en problemas de comercialización por la mala calidad del producto ofrecido y el consecuente decrecimiento en la producción.

La tecnología de poscosecha es aplicada para disminuir el incremento en el metabolismo de los productos cosechados. Para ello, se emplean diferentes tratamientos que incluyen preferiblemente el uso de baja temperatura, preenfriamiento, atmósferas modificadas, retardantes de maduración, ceras y películas comestibles, entre otras, que contribuyen a hacer lentos los cambios asociados con la senescencia del producto hortícola.

1.1.5.1. Maduración

La madurez es un proceso fisiológico, bioquímico e irreversible, que está bajo control genético y hormonal; esto ocurre en frutos y algunos vegetales. Está acompañado por múltiples cambios a nivel celular, más que por un aumento de tamaño. Las manifestaciones de la madurez pueden ser identificadas y asociadas al proceso de la recolección.

1.1.5.2. Formas de madurez

La respiración es un proceso básico que se produce tanto en el campo como después de la cosecha. Implica mecanismos complejos, que permiten tener la energía necesaria para mantener los procesos vitales.

El comportamiento respiratorio de los productos hortofrutícolas durante la poscosecha determina que ellos continúen o no su proceso de maduración después de haber sido recolectados. Existen dos tipos característicos de maduración que corresponden a formas de respiración distintas y, con base en estas formas, los frutos se pueden dividir en frutos climatéricos y no climatéricos.

1.1.5.2.1. Frutos climatéricos

Son aquellos que pueden cosecharse cuando han alcanzado su pleno desarrollo, pero no han comenzado a madurar. Los frutos climatéricos pueden madurarse en forma natural o artificial. El inicio del proceso de maduración se acompaña de un rápido aumento en la velocidad de respiración, llamado climaterio, y del desprendimiento de etileno después de ser recolectados. Tras el climaterio, el proceso de respiración se vuelve más lento, al tiempo que el fruto madura y adquiere los atributos fisicoquímicos que lo caracterizan. Ejemplos de frutos climatéricos son: banano, papaya, tomate, mango, aguacate, entre otros.

1.1.5.2.2. Frutos no climatéricos

Son aquellos que únicamente pueden madurar cuando aún están unidos a la planta madre. Su calidad disminuye si se cosechan antes de que maduren plenamente, ya que su contenido en azúcares y en ácidos no varía.

El ritmo de la respiración en los frutos no climatéricos va reduciéndose gradualmente durante el crecimiento y después de la cosecha. En ellos, la maduración se da como un proceso gradual. Ejemplos de frutos no climatéricos son: piña, cítricos, pepino, entre otros.

1.1.5.3. Proceso de maduración

La etapa de maduración requiere de la síntesis de nuevas proteínas y ARNm, así como de nuevos pigmentos y componentes de sabor; estos procesos requieren de energía y esqueletos carbonados, los cuales son proporcionados mediante el proceso de la respiración.

Las frutas y hortalizas, como todos los organismos vivos, respiran. Pero, como ya dependen de sus propias reservas (azúcares), sufren un desgaste, que si no se maneja bien, causa un deterioro acelerado del producto. Estos productos, al respirar, consumen sus reservas y liberan dióxido de carbono, agua y energía en forma de calor.

1.1.5.3.1. Factores de maduración

Existen factores que determinan la calidad de maduración, los cuales están ligados directamente con las propiedades térmicas de los frutos.

- Temperatura

La temperatura influye directamente sobre la respiración. Si se incrementa la temperatura del producto, igualmente incrementará la velocidad de respiración, esto genera una mayor cantidad de calor.

Por lo tanto, al mantener baja la temperatura, se reduce la respiración del producto y ayuda a prolongar su vida útil postcosecha. Además de la influencia que ejerce sobre la respiración, la temperatura puede causar daño al producto en sí. Si el producto se mantiene a una temperatura superior a los 40 °C, se dañan los tejidos; a los 60 °C, toda la actividad enzimática se destruye, y el producto queda efectivamente muerto.

El daño causado por la alta temperatura se caracteriza por sabores alcohólicos desagradables, generalmente, como resultado de reacciones de fermentación y de una degradación de la textura del tejido. Esto ocurre con frecuencia cuando el producto se almacena amontonado a temperaturas ambientes tropicales. Asimismo, las temperaturas de refrigeración inadecuadas ocasionan el rompimiento de los tejidos, y generan sabores desagradables al retornar a temperaturas más altas, por lo que el producto naturalmente no es comerciable.

La temperatura ideal para madurar aguacates es de 15 a 20 °C. Por encima de los 25 °C, la maduración es irregular, aparecen sabores extraños y el riesgo de que ocurran podredumbres aumenta. La reducción de la temperatura tiene un efecto exponencial en la reducción de la velocidad de respiración.

- Oxígeno

Cuando los productos frescos se almacenan sin suficiente ventilación y control de la temperatura, pueden, por obra de su propia respiración, crear una atmósfera anormal empobrecida en oxígeno y enriquecida en dióxido de carbono. Cuando el nivel de oxígeno cae por debajo del 2 %, el producto puede volverse anaeróbico, y la fermentación que origina dará como resultado sabores alcohólicos desagradables y descomposición de los tejidos.

Las atmósferas anormales pueden evitarse mediante una buena ventilación. Por lo tanto, no es recomendable amontonar a granel el producto en pilas sin ventilación forzada, aunque sea por corto tiempo.

- Dióxido de carbono

La rápida descomposición de una fruta, a menudo, se asocia a un bajo nivel de oxígeno y a un alto nivel de dióxido de carbono. A niveles de dióxido de carbono superiores al 5 %, las frutas pueden presentar un retardo en el ablandamiento y cambio de color. En algunas ocasiones, los niveles elevados de dióxido de carbono pueden causar decoloración y pudrición interna, o pueden dar lugar al *pitting*, es decir, a zonas necróticas en la cáscara del aguacate, producto de una maduración inadecuada; asimismo, este genera sabores desagradables.

- Etileno

El etileno es catalogado como una hormona natural en las plantas. Tiene influencias en muchos aspectos del crecimiento y diferenciación de las plantas:

germinación, maduración de frutos, señalización de la muerte celular, variación de los índices de crecimiento, entre otros.

El etileno posee la característica de aumentar la actividad metabólica de los frutos, acelera su maduración y senescencia. Aún en bajas concentraciones, el etileno tiene efectos marcados sobre los frutos, especialmente en los climatéricos, de forma tal que aumenta su tasa respiratoria y ayuda a la degradación de la clorofila.

En algunos casos, es necesario el uso suplementario de este compuesto para uniformizar el color, la maduración de un producto o mejorar su presentación. El tratamiento con etileno adelanta la maduración en 3 a 6 días; la dosis es de 100 ppm a 20 °C durante 12 a 72 horas.

- Humedad relativa

El componente más abundante en frutas y en vegetales frescos es el agua, existe en su fase líquida en frutas y hortalizas. Algo de esa agua se pierde a través de la transpiración, que implica el transporte de la humedad a través de la piel del alimento, la evaporación y el transporte total de la humedad a los alrededores del producto.

El impacto que genera la pérdida de agua es mayor si el ambiente que les rodea tiene poca humedad relativa, pues puede producir disminución del peso y favorecer los desórdenes fisiológicos. De este modo, se puede determinar que, en una humedad relativa dada, la pérdida de agua se incrementa con el aumento de la temperatura. La humedad relativa recomendada para el almacenamiento de frutas es de 85-95 %. Lo recomendado para el almacenamiento de aguacate es de 90-95 %.

- Materia seca

La materia seca en el proceso de maduración, en el manejo poscosecha, es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible, a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio.

1.1.5.4. Propiedades térmicas de los alimentos

Las propiedades térmicas de alimentos se deben conocer para el desarrollo de los cálculos de transferencia de calor involucrados en el diseño de equipos de refrigeración. Además, son necesarios para estimar procesos de calentamiento y enfriamiento de alimentos. Estas propiedades dependen fuertemente de la composición química y la temperatura. La mayoría de las frutas presenta un mayor aporte calórico comparado con otros alimentos, debido a su elevado contenido en carbohidratos.

1.1.5.4.1. Contenido de agua

El contenido de agua influye perceptiblemente en las características termofísicas de los alimentos. Para las frutas y vegetales, el contenido de agua varía con el cultivo, así como con la etapa del desarrollo o de la madurez.

Cuando están cosechados, la cantidad de humedad perdida es mayor. Dentro de las características termofísicas de los alimentos, se puede encontrar también el punto de congelación inicial, fracción de hielo, densidad, calor específico, entalpía, entre otros.

1.1.5.4.2. Densidad de alimentos

La densidad o masa específica de una sustancia se define como la masa de un material por unidad de volumen. La densidad depende de la temperatura y la presión, aunque esta última no es necesaria en el caso de líquidos y sólidos, pues son prácticamente incompresibles.

En la práctica, en lugar de la densidad se determina el denominado cociente de peso sumergido, que se obtiene dividiendo el peso sumergido de la muestra a investigar entre el peso de la sustancia de referencia, que generalmente es agua en presencia de aire. La densidad es una propiedad muy importante, ya que de esta dependen propiedades térmicas como capacidad calorífica, conductividad y difusividad térmicas.

1.1.5.4.3. Calor específico

El calor específico es una medida de energía que indica la cantidad de calor requerido para cambiar la temperatura de un material en un grado. Es independiente de la densidad de masa, por lo tanto, al conocer el valor específico de cada componente de una mezcla, es suficiente para predecir el calor específico de toda la mezcla.

En alimentos no congelados, el calor específico llega a ser levemente más bajo mientras que la temperatura se eleva de 0 °C a 20 °C. Para los alimentos congelados, hay una disminución grande del calor específico, pues la temperatura disminuye. El calor específico se aplica en todos los procesos de calentamiento o enfriamiento de alimentos.

1.1.5.4.4. Entalpía

Es la cantidad de energía que se agrega o se quita a un sistema. Se manifiesta como un cambio de energía interna total del alimento. El cambio en la entalpía de un alimento se puede utilizar para estimar la energía que se debe agregar o quitar para efectuar un cambio de temperatura. Sobre el punto de congelación, la entalpía consiste en energía sensible. Debajo del punto de congelación, la entalpía radica en energía sensible y latente.

1.1.5.4.5. Calor de respiración

Durante la respiración, el azúcar y el oxígeno se combinan para formar el dióxido de carbono y agua. En la mayoría de los productos almacenados en planta, pocas bacterias se logran desarrollar, y es ahí donde la mayor parte de energía de respiración es liberada en forma de calor. Esto debe ser considerado al momento de refrigerar y almacenar alimentos perecederos. El calor de respiración varía según el tipo o clase de alimento:

- Las frutas, los vegetales u hortalizas, las flores, los bulbos, los tallos y las hojas verdes son materias de almacenaje con significativo calor de respiración.
- Las frutas de rápido crecimiento, tales como fresas, frambuesas y moras, entre otras, tienen tasas de respiración mucho más altas que las frutas que son lentas para desarrollar, por ejemplo, las manzanas, las uvas, y los cítricos.
- Los frutos no climatéricos tales como cítricos y uvas, tienen índices constantes de respiración.

- Las frutas que maduran en almacenaje, tales como manzanas, melocotones y aguacates, aumentan su tasa de respiración. En las temperaturas bajas del almacenaje, alrededor de 32 °F, el índice de la respiración aumenta raramente, porque no ocurre ninguna maduración. Sin embargo, si las frutas se almacenan a temperaturas más altas (50 a 60 °F), hay aumentos de la tasa de respiración. Como este cambio se debe a la maduración, esta misma se ve frenada.
- Para las frutas como mangos, aguacates o plátanos, la maduración significativa ocurre a temperaturas sobre 50 °F.

1.1.5.5. Cambios composicionales

En cuanto a los carbohidratos, hay una alteración durante la etapa de maduración, ya que se presenta un aumento en el contenido de azúcares. Esto ocurre por la degradación casi total de las reservas amiláceas en frutos climatéricos, o la degradación de los productos de la fotosíntesis en frutos no climatéricos. Esta transformación conduce a cambios en el sabor, la textura y la consistencia del fruto. El cambio en la consistencia se da principalmente por la degradación de pectinas y hemicelulosas.

1.1.6. Calidad del aguacate

Para garantizar el éxito en la comercialización, la fruta es clasificada de acuerdo con los estándares que pide el mercado: tamaño uniforme; color de la piel o cáscara acorde a la variedad; ausencia de defectos tales como malformaciones, quemaduras por el frío o sol, heridas y manchas (raspaduras, daño por insecto, daño por uñas y cicatrices causadas por el viento); y ausencia

de enfermedades, esto incluye antracnosis y pudrición de la cicatriz del pedúnculo.

De acuerdo con los parámetros anteriormente descritos, la fruta se clasifica manualmente por su tamaño y peso, existiendo las siguientes categorías para el Mercado Nacional:

- Categoría Extra: peso igual o mayor a 210 gramos por unidad, o un mínimo de 2 aguacates por libra. Estos deben ser de una calidad superior, pues su forma y su color deben ser los típicos de la variedad; deben estar libres de defectos, y el pedúnculo, si está presente, debe estar intacto. Se acepta un 10 % de frutos sin pedúnculo.
- Categoría I: peso de 170 a 209 gramos por unidad, o un mínimo de 2,5 aguacates por libra; deben ser de buena calidad y poseer la forma y color de la variedad. Se admiten ligeros defectos de forma y coloración.
- Categoría II: peso de 130 a 170 gramos por unidad, o un mínimo de 3 aguacates por libra. En esta categoría, se incluyen los aguacates que puedan presentar los defectos siguientes, a condición de que conserven las características esenciales de calidad, conservación y presentación: defectos de forma y color, defectos de la epidermis y quemaduras de sol que no excedan más de 6 cm de la superficie total del fruto. En ningún caso, estos defectos deben afectar la pulpa del fruto, y se acepta un 10 % de frutos sin pedúnculo.
- Categoría III: peso entre 100 y 139 gramos por unidad, o más de 3 aguacates por libra. En esta categoría se incluyen los aguacates que no califican para las categorías anteriores y que cumplan con el requisito

indispensable de no tener daños en la pulpa. La fruta es empacada en cajas de madera o cartón con capacidad para 15 libras netas o según lo demande el cliente. El contenido de cada caja debe ser homogéneo y abarcar aguacates que sean del mismo origen, variedad y calidad.

- **Canica:** es el aguacate cuyo peso es menor a los 100 gramos; su contenido de materia seca es superior al 23 %; sin embargo, por factores de cultivo, llegan a su madurez fisiológica, a pesar de no tener el tamaño adecuado.

Los estándares de calidad del producto terminado se deben garantizar desde la calidad de la materia prima, es decir, tener ciertos parámetros de calidad durante el proceso de cultivo, recolección y transporte del fruto para que llegue en un punto óptimo, que permita determinar su clasificación y para su procesamiento dentro de la planta.

1.1.6.1. Especificaciones

El asoleado de la fruta debe evitarse, ya que, al elevarse su temperatura interna, se disparan procesos fisiológicos y químicos que aceleran la maduración y degradación del fruto.

Figura 9. **Daño severo por sol**



Fuente: elaboración propia.

La fruta no debe sufrir golpes o compresión, pues se afecta la firmeza de la pulpa, la cual, al ablandar el fruto maduro, se torna manchada y sin consistencia, y, por tanto, no comestible.

Figura 10. **Daño mecánico por compresión**



Fuente: elaboración propia.

El rozamiento y otros daños o heridas en la piel del fruto aceleran la pérdida de agua, la respiración y la liberación de etileno, esto precipita la maduración y posterior degradación del fruto. Además, constituyen vías de entrada al ataque de patógenos. Por lo anterior, debe darse un trato muy cuidadoso al manejar la fruta desde que se desprende del árbol hasta que se empaca.

Figura 11. **Daño por rozamiento**



Fuente: elaboración propia.

Para evitar que los frutos se golpeen o sufran cualquier otro daño en la piel, se sugiere el siguiente procedimiento:

- Cortar con ganchos que tengan un objeto cortante como tijeras o cuchillas afiladas integradas en el aro donde se inserta la bolsa o red, que impide la caída del fruto al suelo.

- La fruta pasa de la bolsa del gancho a una bolsa que cuelga del hombro del cortador. Al llenarse esa bolsa, el cortador transfiere la fruta a cajas de plástico ubicadas en lugares sombreados; nuevamente, debe vaciarse el contenido de las bolsas con cuidado para no maltratar la fruta.
- Las cajas de plástico no deben llenarse más allá de un 80 % de su capacidad, para evitar que, al estibarlas, se dañe la fruta que contiene.
- Los vehículos que transportan la fruta dentro de la finca hasta el lugar de acopio no deben sobrecargarse, y la carga no debe ir suelta.
- La fruta debe transportarse el mismo día de corte. El transporte debe ir cubierto para evitar daños por el sol o que se humedezca. Durante el traslado, la carga debe ser asegurada para tener la menor cantidad de vibración posible.
- Las maniobras de carga y descarga deben efectuarse con cuidado, al evitar golpear las cajas y un movimiento excesivo de las mismas.

1.1.7. Importancia del aguacate en el mercado nacional e internacional

En el mercado de Centroamérica, Guatemala continúa siendo de gran importancia por el alto consumo y por los buenos precios en que se cotiza el aguacate. Actualmente, Guatemala exporta a Centroamérica unas 4 500 toneladas métricas (T) de producto.

Al tener como base el consumo per cápita, Guatemala, El Salvador y Costa Rica tienen un consumo de 2,5 kg. Por otro lado, Belice, Honduras,

Nicaragua y Panamá tienen un consumo per cápita de 1 kg por año. Al considerar que Centroamérica tiene una población estimada de 32 millones de habitantes, se necesitarían 60 000 T para abastecer el mercado centroamericano, lo que equivale a 6 000 hectáreas de aguacate en plena producción. No obstante, también existe demanda de otros mercados importantes como: Francia, España, Holanda, La Unión Europea, Canadá y el Caribe.

Debido a que se cultiva en diferentes altitudes y gracias a los avances tecnológicos, se cuenta con fruta para exportar casi todo el año. Esto ha producido el surgimiento de demandas de aguacate guatemalteco en otros mercados como Europa y Asia, donde los grandes productores (Chile y México), no pueden surtir completamente.

La importancia del aguacate en el mercado internacional ha venido creciendo sostenidamente, dejando de ser una fruta exótica para incorporarse en la dieta de un buen número de países.

Lo anterior se ha visto reforzado por la tendencia que se manifiesta en el gusto del consumidor a nivel mundial, en el sentido de preferir productos sanos y naturales. De esta manera, el aguacate tiene un enorme potencial por las amplias posibilidades de consumo: en fresco; su utilización en la industria, en particular en la elaboración de aceite, cosméticos, jabones, champú; y de sus procesados, tales como guacamol, congelados y pasta.

En el mismo orden de ideas, Guatemala es uno de los centros de origen del aguacate en el mundo; tiene gran potencial para ofrecer diferentes variedades a nivel internacional. Los aguacates de exportación provienen de los departamentos siguientes:

- Guatemala
- Chimaltenango
- Sacatepéquez
- Quetzaltenango
- Huehuetenango
- Jalapa
- Retalhuleu
- Escuintla
- Petén
- Alta Verapaz
- Baja Verapaz
- Quiché
- San Marcos

En Guatemala, hay un Comité de Aguacate de Agexport Nacional; este comité se conforma de fincas y exportadoras de aguacate de variedad, además cuenta con socios comerciales como: Holanda, Honduras, Nicaragua, Inglaterra, España, Canadá y El Salvador. Es preciso referir que el volumen exportado de aguacate se representa de la siguiente manera:

- Europa 70 %
- Centroamérica 25 %
- Canadá 5 %

Es imprescindible mencionar que en 2019 las exportaciones de aguacate fueron de 7,3 millones de dólares; un 30 % de la producción nacional fue exportada a Países Bajos, el 20 % se exportó para Costa Rica y el 14 % fue dirigido a Honduras. Además, Guatemala exporta derivados del aguacate para la fabricación de medicinas, cosméticos, aceite y bebidas.

1.2. Sistemas de acondicionamiento de aire

Los sistemas de acondicionamiento de aire son técnicas que se han desarrollado a través del tiempo y con el avance de la civilización; ha surgido como resultado de las necesidades de la sociedad en el sector alimenticio.

El sistema de refrigeración para un proceso se debe seleccionar en la primera fase del planeamiento de la instalación. Si la ubicación es un edificio de un solo propósito, a baja temperatura del almacenaje, la mayoría de los tipos de sistemas pueden ser utilizados.

Sin embargo, si las materias que se almacenarán requieren diversas temperaturas y humedades, se debe seleccionar un sistema que puede resolver las demandas, al usar cuartos aislados en diversas condiciones.

En grandes almacenes frigoríficos, la instalación consiste en un sistema de compresión de dos tiempos, con bomba de recirculación de líquido refrigerante a los evaporadores. El amoníaco es el más corriente, pero, en ocasiones, se utilizan también hidrocarburos halogenados. Los condensadores están calculados para obtener una temperatura lo más baja posible; son enfriados por circulación de agua, del tipo evaporado enfriado por aire.

La mayor parte de instalaciones modernas están automatizadas con controles digitalizados, para un mejoramiento de la seguridad y permitir una regulación más fácil y menos costosa.

1.2.1. Diseño de almacén frigorífico

Para el diseño de instalaciones refrigeradas, temperatura media, baja o súper baja, se deben tomar en cuenta que la conservación y comercialización de alimentos refrigerados dependerá de la eficacia de las tecnologías en detener los procesos físicos y desarrollo de microorganismos, y regular el desarrollo normal de la maduración en frutos.

No se debe dejar de incluir una iluminación acorde a las actividades que se realizarán dentro de la cámara frigorífica; debe tenerse en cuenta el calor que la fuente de iluminación generará, por ello debe contar con la potencia determinada y adecuada. Como norma en un almacén frigorífico, se debe ofrecer una iluminación de 125 lux en el suelo y de 250 lux en las áreas de trabajo. Existen dos tipos de instalaciones básicas del almacenaje:

- Los refrigeradores que protegen materias en las temperaturas generalmente sobre 0° C (32 °F) o temperatura media.
- Los cuartos a baja temperatura (congeladores) que funcionan debajo de 0 °C (32 °F), para prevenir los desperdicios, para mantener o para ampliar vida del producto.

Las condiciones dentro de un compartimiento refrigerado cerrado se deben mantener para preservar el producto almacenado. Esto se refiere particularmente a la vida estacional, útil y al almacenamiento de larga duración. Dentro de los factores que se deben tener en cuenta en el diseño de un cuarto frío o de refrigeración, se encuentran:

- Temperaturas uniformes
- Distancia del flujo de aire y choque del aire de circulación en el producto

almacenado

- Efecto de la humedad relativa
- Efecto del movimiento de aire en empleados
- Ventilación controlada, si fuera necesaria
- Temperatura a la que ingresa el producto
- Duración prevista del almacenaje
- Temperatura requerida de salida del producto
- Tráfico dentro y fuera del almacén

1.2.1.1. Funciones del diseño

El funcionamiento de la instalación frigorífica o refrigerada debe ser diseñado para ofrecer el volumen requerido y la temperatura necesaria para el almacenamiento o conservación.

En la actualidad, los almacenes frigoríficos se construyen, frecuentemente, utilizando paneles aislantes prefabricados, fijados sobre estructura de acero o concreto. El aislamiento se puede colocar en el exterior o en el interior de la estructura; al hacerlo por el exterior, envuelve la edificación sin discontinuidad y elimina las dificultades que trae un techo aislado suspendido. También el aislamiento está protegido contra daños interiores por la estructura. El aislamiento exterior facilita reparaciones y ampliaciones.

Se debe definir claramente las funciones atribuidas al diseño de la instalación refrigerada, como también establecer actividades diarias medias y máximas que se deben considerar:

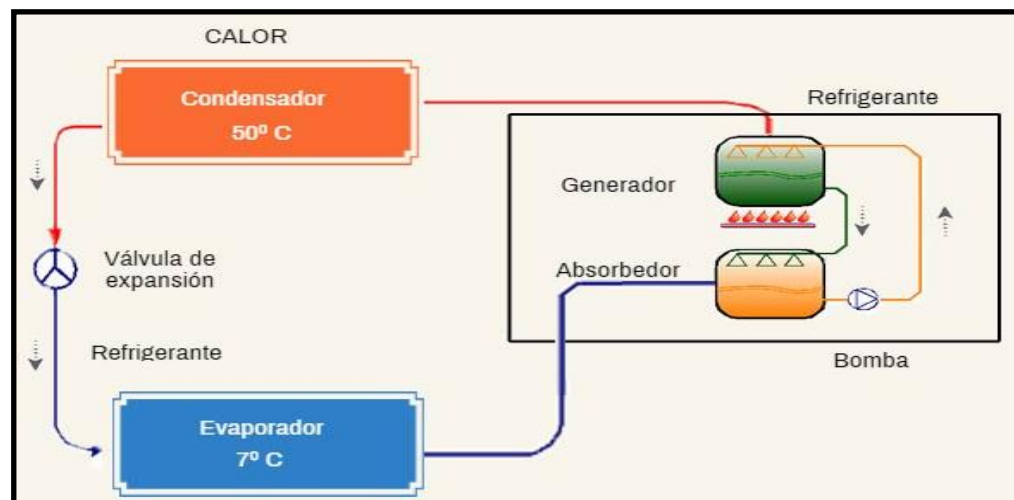
- Cantidad a recibir de producto
- Temperatura del producto

- Máximo número de personas y carros operando en simultáneo
- Número de apertura de puertas previsto
- Máxima cantidad de productos que sale de la cámara o almacén
- Temperatura ambiente máxima considerad

1.2.1.2. Equipamiento

El principio de un sistema básico de refrigeración por compresión de vapor se toma con base en el ciclo ideal de refrigeración. Vale la pena mencionar que dentro del sistema de refrigeración industrial, los accesorios forman parte vital de un eficiente y eficaz funcionamiento de los sistemas de acondicionamiento de aire; sin embargo, el funcionamiento utiliza el mismo concepto, tal como se indica en la siguiente figura:

Figura 12. **Funcionamiento de un circuito básico de refrigeración**



Fuente: PITA, Edward. *Sistemas de acondicionamiento de aire*.

<https://www.calryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistema-de-refrigeracion-compresion-absoorcion.html>. Consulta: 30 de mayo 2019.

El fluido refrigerante circula a través de la tubería y el equipo en dirección indicada. Hay cuatro cambios de estado del fluido que se efectúan durante este proceso, a medida que el fluido pasa a través del sistema.

- Estado 1-2: en el punto 1, el refrigerante se encuentra en estado líquido, a una presión y una temperatura relativamente altas. Pasa a 2 a través de un dispositivo de expansión, el cual hace que el refrigerante pierda presión; y por causa de que esta sea tan baja, se evapora una pequeña parte, pasando al estado gaseoso.

Sin embargo, para que este se evapore debe ganar calor, el cual toma de la parte de refrigerante que no se evaporó, enfriando así la mezcla, lo que produce la baja temperatura en 2.

- Estado 2-3: el refrigerante pasa a través de un intercambiador de calor llamado evaporador. Este posee dos circuitos: uno en donde el refrigerante circula por uno y el otro es un fluido por enfriar, que generalmente es aire o agua. El fluido por enfriar está a una temperatura ligeramente mayor que la del refrigerante y, por lo tanto, se transfiere calor desde él mismo hasta el refrigerante, y se produce el efecto de enfriamiento que se desea. El refrigerante hierve debido al calor que recibe en el evaporador. Para cuando sale del evaporador, es decir, del estado 4, está vaporizado por completo.
- Estado 3-4: al salir del evaporador, el refrigerante es un gas a baja temperatura y presión. Para poder volver a usarlo y obtener continuamente el efecto de vaporización, se debe regresar a las condiciones de 1, es decir, líquido a alta presión.

- El primer paso en este proceso es aumentar la presión del refrigerante gaseoso mediante el empleo de un compresor. Al comprimir el gas, también se tiene un aumento de su temperatura.
- Estado 4-1: el refrigerante sale del compresor en estado gaseoso a alta presión y temperatura. Para cambiar al estado líquido, se le debe eliminar el calor; esto se logra en un intercambiador de calor llamado condensador. El refrigerante fluye a través de uno de los circuitos del condensador, mientras en el otro pasa un fluido de enfriamiento, usualmente aire o agua, a menor temperatura que el refrigerante. Por lo tanto, el calor se transfiere del refrigerante al fluido de enfriamiento y, como resultado de ello, el refrigerante se condensa y pasa a la forma líquida, es decir, al estado 1.

De este modo, el refrigerante ha vuelto a su estado inicial y está listo para repetir el ciclo.

1.2.2. Tipos de almacén refrigerado

Hay cinco tipos para la clasificación del almacenaje refrigerado para la preservación del valor nutritivo, los cuales son:

- Atmósfera controlada para la fruta a largo plazo y el almacenaje vegetal.
- Refrigeradores en las temperaturas de 0 °C (32 °F) y arriba.
- Congeladores de alta temperatura en -2 °C (27 a 28 °F).
- Cuartos de almacenaje a baja temperatura para los productos congelados generales, mantenidos generalmente en -20 a -29 °C (-5 a -20 °F).
- Almacenajes a baja temperatura en -20 a -29 °C (-5 a -20 °F).
- Con un exceso de refrigeración para productos que se reciben congelan

18 °C (0 °F).

1.3. Funcionalidad

Básicamente, en todos los equipos de refrigeración, los componentes encargados de realizar el trabajo en el cambio de calor son dos, condensador y evaporador. El evaporador opera como intercambiador de calor, por cuyo interior fluye el refrigerante, el cual cambia su estado de líquido a vapor. Este cambio de estado permite absorber el calor sensible contenido alrededor del evaporador y de esta manera el gas. Al abandonar el evaporador, lo hace con una energía interna notablemente superior, Así se cumple el fenómeno de refrigeración. El condensador es otro intercambiador de calor que con el refrigerante que ya absorbió calor en el evaporador, lo cede al exterior.

1.3.1. Aislamiento

Los costos del aislamiento en un almacén frigorífico normalmente representan una parte muy importante en la construcción. La eficacia del aislamiento o coeficiente K influye sobre el clima (°T y HR) del almacenamiento, ya que el calor seco penetra a través de las paredes.

Los materiales del aislamiento, tales como: poliestireno, poliisocianurato, poliuretano y material fenólico se han probado satisfactoriamente cuando están bien instalados con retardador apropiado de vapor y acabados con materiales que proporcionan la protección contra los incendios y una superficie sanitaria. La selección del material apropiado del aislamiento se debe basar, sobre todo, en la economía del aislamiento instalado, incluyendo el acabado, el saneamiento y protección contra incendios.

Se recomienda para el aislamiento del cuarto frío los paneles de poliuretano; por sus múltiples posibilidades de producción y por sus excelentes propiedades, lo han convertido en un material preferido para el aislamiento en los cuartos de refrigeración, congelación, hielera, entre otros. Para la formación de las espumas de poliuretano, se aprovecha el calor generado en la reacción exotérmica entre el polioliol y el disocianato, para volatizar un agente de soplado de bajo punto de ebullición previamente mezclado, y así proporcionar el efecto espumante.

1.3.1.1. Tipos de aislamiento

Los tipos de aislamiento usados en refrigeración y congelamientos son:

- Aislamiento rígido
- Aislamiento de paneles
- Espuma en el lugar del aislamiento
- Paneles de aislamiento de concreto prefabricado

1.3.2. Preenfriamiento de alimentos

Un incremento en la temperatura de los productos hortícolas recién cosechados se genera como resultado de las acciones de recolección, acopio y transporte hasta la central de distribución.

El preenfriamiento es el retiro rápido del calor de campo de frutas y vegetales recientemente cosechados, antes de enviar a almacenar o procesar. La pronta utilización de este recurso inhibe o retarda el crecimiento de los microorganismos que causan decaimiento, reduce actividad enzimática y respiratoria, reduce la pérdida de humedad; asimismo, al realizar un choque térmico, se aseguran dos días más de vida útil al producto.

El preenfriamiento requiere mejor capacidad de refrigeración y medios de movimiento del aire de enfriamiento en cuartos de almacenaje, ya que sostienen productos a una temperatura constante. Así, el preenfriamiento es típicamente una operación separada del almacenaje refrigerado y requiere el equipo especialmente diseñado.

El preenfriamiento se puede hacer por varios métodos, incluyendo enfriamiento húmedo, enfriamiento al vacío, enfriamiento por aire y por contacto con hielo. Estos métodos transfieren rápidamente el calor de la materia a un medio que se lo enfría con agua, aire o hielo.

En general, las altas temperaturas deterioran la calidad de la mayoría de los productos. La prerefrigeración alarga la duración del producto al reducir: el calor del campo; la tasa de respiración y el calor generado por el producto; la velocidad de maduración, la deshidratación, la producción de etileno y la pudrición.

La prerefrigeración será exitosa siempre y cuando el tiempo entre la cosecha y la operación sea corto, se tenga en cuenta: el contenedor para el transporte, la temperatura inicial del producto, la velocidad o cantidad de aire frío, agua o hielo suministrados.

1.3.3. Almacenamiento de alimentos perecederos

Perecedero es el tiempo que tarda un alimento en comenzar a degradarse perdiendo sus propiedades nutrimentales. Se le conoce también como caducidad.

Los alimentos perecederos son aquellos que necesitan conservación en frío, cámaras de refrigeración, congelación entre otras; en estos espacios deben almacenarse alimentos de la misma naturaleza. La distribución de estibas debe permitir la circulación de aire y dióxido de carbono. Los alimentos perecederos deben estar almacenados a una distancia de:

- 0,50 m del techo
- 0,15 m de la pared
- 0,10 m del piso

Para el almacenaje de productos perecederos, hay que tener en cuenta que las cámaras deben estar limpias y ordenadas, además de no disponer de desagües dentro de estas, y tener un sistema de control de la temperatura de almacenamiento en congelación de al menos $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.3.4. Conservación de frutas a bajas temperaturas

La refrigeración consiste en la conservación de los productos a bajas temperaturas, pero por encima de su temperatura de congelación. De manera general, la refrigeración se enmarca entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. De esta forma, se consigue que el valor nutricional y las características organolépticas casi no se diferencien de las de los productos al inicio de su almacenaje. Es por esta razón que los productos frescos refrigerados son considerados por los consumidores como alimentos saludables.

La refrigeración evita el crecimiento de los microorganismos termófilos que crecen a una temperatura arriba $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ como *Bacillus* y *Clostridium*, además de algunas algas y hongos y de muchos mesófilos que crecen en temperaturas de -5 a $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ como bacterias.

La refrigeración y la congelación son dos tipos de técnicas de conservación de los alimentos por métodos físicos, cuyos fundamentos son:

- Disminuir la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas de degradación al bajar la temperatura.
- Inhibir la proliferación microbiana a bajas temperaturas. Ya que por debajo de 3 °C los microorganismos dejan de producir las toxinas responsables de las toxiinfecciones y por debajo de -10 °C, no pueden desarrollarse.

La mejor temperatura del almacenaje para los cultivares de aguacates tolerante al frío, tales como Booth 8 y Lula, es 4,44 °C; para la variedad Hass, la temperatura adecuada debe ser entre un rango de 4,5 – 5,5 °C. Algunos aguacates como Fuerte se almacenan mejor en 7 °C. Los aguacates tolerantes al frío pueden ser mantenidos en almacenaje un mes o más, pero los intolerantes al frío se limitan generalmente a 2 semanas debido a la susceptibilidad, lesión, ablandamiento y enfriamiento.

La mejor temperatura de maduración para los aguacates es 15,5 °C, pero las temperaturas a partir de 13 a 24 °C son generalmente satisfactorias. Las temperaturas sobre 26 °C causan, con frecuencia, mal sabor, decoloración de la piel, maduración desigual y el decaimiento creciente.

Independientemente del tipo de alimento, la refrigeración puede aplicarse sola o en combinación con otras técnicas, tales como la irradiación, las atmósferas modificadas y controladas o el envasado en atmósferas modificadas, entre otras. La refrigeración encuentra gran aplicación en la elaboración de comidas preparadas, en las que se aplican los sistemas de cocción-enfriamiento.

1.3.5. Daño por frío

Cuando la temperatura de algunas frutas y vegetales desciende de un determinado valor, se producen en ellos cambios indeseables, los cuales son conocidos como daños por frío.

El frío causa daños fisiológicos permanentes en tejidos, células y órganos de las plantas sensibles a temperaturas por debajo de la crítica. Los factores que determinan la magnitud del daño por frío son la temperatura, la duración de la exposición a la baja temperatura, la exposición continua o intermitente y la edad fisiológica del órgano.

La hipótesis más reciente del desarrollo del daño por frío afirma que las membranas de los organelos y el citoplasma se modifican, y permiten la salida de iones y de compuestos orgánicos; la descompartmentalización a nivel celular conduce a la liberación de enzimas, las cuales, reunidas con los sustratos, aceleran la velocidad de senescencia.

1.3.5.1. Reducción del daño por frío

Los daños por frío pueden reducirse, en algunos casos, al seleccionar grados de madurez de cosecha más avanzados o mediante tratamientos que incluyen el uso de humedades relativas elevadas, atmósferas controladas o modificadas, tratamientos con calcio o potasio, algunos tratamientos térmicos, las ceras, recubrimientos y almacenamiento a baja presión (proceso hipobárico).

1.3.6. Atmósfera controlada

El frío es normalmente utilizado para el almacenamiento de alimentos tales como frutas y otros vegetales, y para la conservación de estos al utilizar técnicas de congelamiento o refrigeración. Se sabe que los frutos producen constantemente anhídrido carbónico y absorben al mismo tiempo la misma cantidad de oxígeno; también se sabe que todos los frutos conservados con niveles bajos de oxígeno evidencian un metabolismo reducido.

La atmósfera controlada (AC) comprende, generalmente, a la tecnología que se aplica en el proceso de maduración y almacenamiento, durante los cuales se asegura una atmósfera constante, independiente de las actividades respiratorias del producto, intercambio de gases a través de fugas, entre otros.

Se debe entender, entonces, que la atmósfera controlada, es verificar intencionalmente la atmósfera gaseosa natural y el mantenimiento de esta en unas condiciones determinadas, las cuales duran el ciclo de distribución independientemente de la temperatura y de las otras variaciones ambientales.

1.3.7. Atmósfera modificada

Esta consiste en cambiar inicialmente la atmósfera gaseosa en el entorno del producto; esto permite que las actividades del producto ocasionen una variación del entorno gaseoso en las inmediaciones.

Se debe tomar en cuenta que el proceso metabólico de algunas frutas continúa después de haber sido recolectadas; durante este proceso, conocido como respiración, la fruta madura o sobremadura entra en senescencia y finalmente se pudre.

Por lo anterior, se hace necesario, en caso de frutas u otros vegetales, tomar las medidas necesarias para manipular este proceso, según convenga el caso. La respiración es muy variable, según tipo y variedad de fruta, madurez y temperatura de almacenaje. Cuando más baja sea la temperatura, más baja será la respiración y más largo el tiempo que se podrá almacenar.

Teóricamente, se afirma que entre más cerca está del punto de congelación, la fruta puede ser mejor conservada; sin embargo, este principio no aplica a todas las clases de frutas.

La respiración de la fruta puede controlarse por medio de refrigeración, simultáneamente con la manipulación del contenido de oxígeno. Se estima que para la mayoría de las variedades se hace necesario, como mínimo, un contenido de oxígeno entre 1 y 3 %; también un porcentaje de anhídrido carbónico (CO₂) en el aire de la cámara frigorífica superior al normal contribuye a disminuir la intensidad respiratoria; así, al aplicar porcentajes adecuados de O₂ y de CO₂, es posible alargar o acortar el tiempo de almacenamiento, según sea el caso.

1.3.8. Características de las cámaras

Las cámaras para atmósfera controlada exigen un recinto totalmente hermético, a diferencia de las cámaras frigoríficas convencionales; esto es con el fin de mantener las mezclas gaseosas en proporción constante. En caso de existir o encontrarse una fuga, la buscada reducción de oxígeno no llega nunca, o solamente después de un largo período. Una reducción retardada de oxígeno perjudica gravemente el proceso de conservación; además, si la cámara no es hermética, hay dificultad para reducir con rapidez el O₂ y de mantener las

adecuadas proporciones de O₂ / CO₂. Por otra parte, el funcionamiento es siempre más económico con una buena hermeticidad.

1.3.9. Mantenimiento del sistema de acondicionamiento

Los mantenimientos preventivos se realizan con la finalidad de que las fallas sean reducidas al mínimo, y que ninguna pieza o componente que presente fallas sea olvidado por más de una semana. Para ello, se debe hacer una lista que cubra cada parte del sistema, operaciones recomendadas y tiempo en el que deben realizarse.

- Los niveles de aceite del compresor deben ser verificados. Si el nivel está bajo, se debe agregar más aceite y ser observado por un lapso de tres a cuatro horas en operación continua, para determinar la causa del bajo nivel.
- Si el compresor es de lubricación forzada, es importante verificar la presión del aceite. La lectura de la presión manométrica de este debe ser por lo menos de 15 a 20 psi más alta que la presión de succión.
- El compresor debe ser detenido para verificar el estado del sello mecánico, probado con una lámpara haloidea, para encontrar cuarteaduras y con un detector para comprobar que no haya fugas de refrigerante.
- La condición de los filtros en el equipo de manejo de aire, si estos presentan suciedad deben ser limpiados o reemplazados.
 - Para condensadores y evaporadores deben ser sopleteados

exteriormente con aire a presión. Si se emplean cepillos, deberá tenerse en cuenta que no se desprenda material del cepillo ni obture las aletas de los condensadores o evaporadores.

- Las condiciones de los ductos deberán ser verificadas para un eficiente manejo de aire.

- En el sistema completo deberá verificarse cualquier condición anormal de operación. La revisión del refrigerante en la mirilla debe hacerse cuando el equipo esté operando y ha estado trabajando, por lo menos, durante 30 minutos continuos.

- En todas las fechas de motores y ventiladores deberá verificarse que tengan una lubricación adecuada y su condición de operación sea la correcta.

Debe cuidarse la lubricación de los cojinetes y hacerlo cada seis meses, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Debe verificarse que el ajuste del “Juego en el extremo” sea el más adecuado.

- Todas las bandas deben ser verificadas para contar con la tensión y la alineación correctas, las bandas viejas o desgastadas deberán ser reemplazadas.

- Deberán ser verificados los esfuerzos sobre las poleas y fechas de volantes; de encontrarse flojos, no deberán moverse hasta que sean alineados.

- Si el sistema cuenta con manómetros de alta presión, deben ser observados; si la presión de la cabeza es más alta que la normal, la

causa debe ser determinada y corregida. La purga de aire y otros gases condensables del sistema pueden ser necesarios.

- Para un condensador evaporativo o torre de enfriamiento, deben verificarse las condiciones de las mamparas de succión y de las esperas.

La condición del agua también debe ser evaluada. Si existe lodo o algas, el tratamiento del agua es necesario. Las bombas de agua deben estar limpias y los tanques deben sopletearse completamente, para eliminar cualquier oxidación o corrosión antes de pintar.

- El agua deberá drenarse del sistema de condensación; de la misma manera, se deberá realizar una inspección completa y cuidadosa, incluyendo los tubos del condensador, que deben estar libres de costras o escamas.
- La condición de los desagües tiene que verificarse. Deben estar limpios y ser capaces de transportar toda el agua derramada, sin peligro de taponear el sistema o inundarlo.
- La condición de los contactos eléctricos en todos los arrancadores y controles debe revisarse, tanto parámetros de operación, como el correcto funcionamiento de arranque y de paro.

Cuando se requiere que el sistema de refrigeración se encuentre encendido, es necesario cumplir las siguientes condiciones:

- Compresor o recibidor con su refrigerante completo
- Filtros en condiciones de operación

- Lavado y deshidratado del sistema
- Detección exhaustiva de fugas

1.3.9.1. Problemas básicos

- Obstrucción del paso de flujo de aire debido a la distancia entre las plataformas de apilado y el techo o las paredes.
- Acumulación de hielo debido a la condensación, producto del choque térmico entre la temperatura del cuarto frío y el ambiente.
- Ruptura de techos aislado.

1.3.9.2. Tipo de mantenimiento

La aplicación del mantenimiento preventivo programado es un proceso dinámico que debe actualizarse cuando se adquieren nuevos modelos o tipos de equipos, cuando hay cambios en instalaciones o remodelaciones. En general, durante los mantenimientos preventivos programados, se deben incorporar todos los registros documentados de las actividades de rutina, de las calibraciones e inspecciones, así como de las acciones de mantenimiento correctivo realizadas debido a fallas o a eventos no programados.

1.3.9.3. Periodicidad

Las instalaciones de almacenamiento en frío se deben examinar regularmente para corregir problemas temprano, para poder realizar mantenimiento preventivo y así evitar daños serios. Los procedimientos de la inspección y de mantenimiento se realizan en dos áreas: sistema básico (piso, pared, sistemas de techo y cielo); y aberturas (las puertas, los marcos, y el otro

acceso a los cuartos de la conservación en cámara frigorífica). Para realizar el mantenimiento, existen varios elementos por considerar:

- Frecuencia de inspección/mantenimiento por equipo.
- Programas de calibración.
- Programas de sustitución de partes o refacciones.
- Lugares y responsables de reparación de equipos.
- Registros mensuales de las actividades de prueba, inspección y mantenimiento.
- Formatos de verificación y recepción de consumibles, refacciones y equipos.
- Registros sobre movimiento o cambio de ubicación de equipos.

1.3.9.4. Recomendaciones

- Recordar al personal cerrar puertas rápidamente para reducir formación de hielo en cuartos.
- Comprobar periódicamente el recorrido de rodillos y de puerta, para asegurarse de que el sello en la puerta sea eficaz.
- Si se detectan los escapes, tendrá que ajustarse la puerta para restaurar una condición de la humedad y hermeticidad.
- Comprobar las puertas y los bordes de la puerta para detectar daño de montacargas o de otros tráficos.
- Reparar cualquier daño inmediatamente para prevenir la sobrecarga de la formación de hielo o del motor de la puerta, debido a la fricción excesiva.
- Lubricar puertas según programa de mantenimiento del fabricante, para asegurar la libre circulación.
- Comprobar periódicamente los sellos alrededor de las aberturas, conductos, tubería y cableado, en las paredes y techo.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Descripción general de la fábrica

La fábrica es una procesadora de aguacate, cuya finalidad es abastecer el mercado nacional e internacional con guacamol de alta calidad, en diferentes presentaciones sin preservantes.

La comercialización de la producción del aguacate, en su variedad, por medio de la fábrica, permite obtener mejores opciones de venta, mejorar y mantener precios de mercado que satisfacen las necesidades de cada uno de los productores. La empresa productora se rige por las leyes nacionales que permiten la exportación de la producción de aguacate.

2.1.1. Distribución de maquinaria

La maquinaria se encuentra distribuida a lo largo de todo el proceso de producción, desde el primer lavado hasta los cuartos de congelamiento, y el soporte técnico del área de servicio. A continuación, se describen las áreas donde opera la planta y la maquinaria.

- **Recepción:** cuenta con la balanza de pesado en el ingreso de fruta, que es donde se verifica el peso para corroborar lo que viene de finca; luego de ser pesado, pasa a una preselección en una máquina que cuenta con varios módulos que se encarga del cepillado, lavado y secado del fruto, donde las encargadas del área realizan una inspección visual de cada fruto; descarta los que no cumplen con las especificaciones de calidad

estipuladas.

- **Maduración:** en esta área se encuentran los cuartos actuales instalados, estos cuentan únicamente con una unidad de acondicionamiento de aire en cada uno, cuya función es mantener la temperatura en varios rangos, dependiendo de la parte del proceso de madurez en que esté el lote. Actualmente, en los cuartos no se encuentra mayor infraestructura, ya que cuentan con un control manual de maduración.
- **Empaque:** el área de empaque se encuentra dividida en varios módulos, lavado de fruta en donde se encuentra una tina de inmersión de acero inoxidable, allí se ubica una banda cortadora, que corta los aguacates ya maduros; en esta misma banda, se encuentra la de despulpe que es el módulo en donde los trabajadores desemillan y separan la pulpa de la cáscara. Esta pulpa es transferida a tanques de acero inoxidable, para el proceso de mezclado y adición de ingredientes en función de la receta a preparar.

Seguidamente, es bombeado hacia un tanque de acero inoxidable, en donde se le extrae el oxígeno mediante un proceso de adición de gas nitrógeno. Luego el *batch* es transferido a las máquinas dosificadoras, que se encargan de empacar al vacío en las distintas presentaciones. Unitariamente cada bolsa pasa al proceso de verificación de peso en una pesa de gramos y una máquina codificadora, para asignación de correlativo de lotificación; a continuación, en una máquina de rayos X, se verifica que no lleve partículas metálicas.

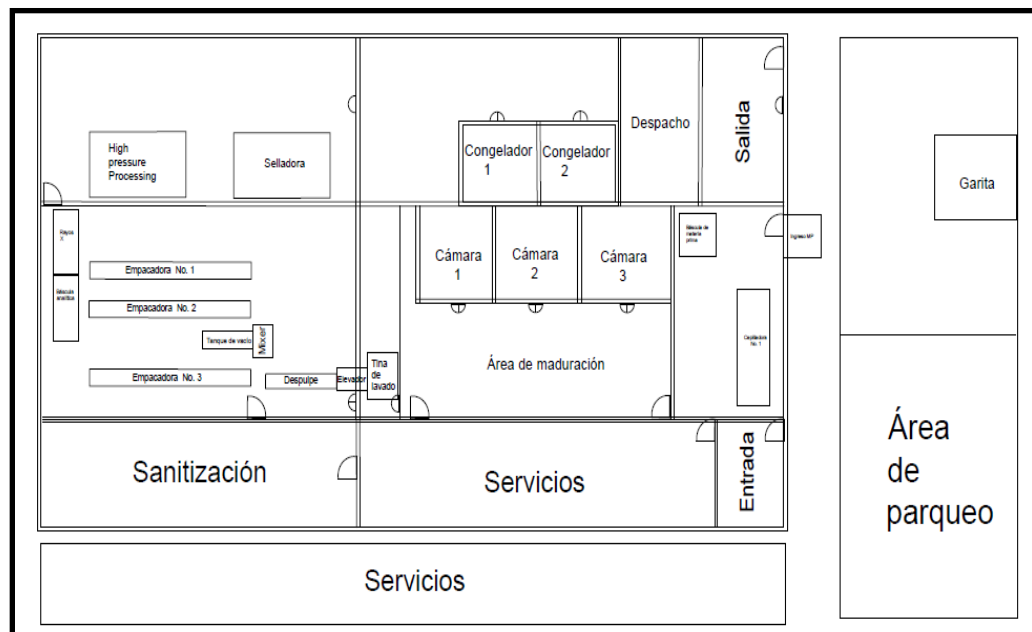
- **Pasteurización sin preservantes:** en esta área, el producto es dirigido hacia la máquina de ultra alta presión, después, esta pasa por una banda

de secado de alta velocidad, para eliminar el exceso de agua cuando el producto sale de la HPP, mediante la instalación de unos ventiladores centrífugos; posterior a esto, pasa por una máquina de sellado para el embalaje, previo al proceso de congelación.

- Cuartos de congelamiento: son dos cuartos fríos más, con su sistema de acondicionamiento de aire a baja temperatura, donde es ingresado el producto para el proceso de congelado.

El proceso referido se describe en el siguiente diagrama de distribución de maquinaria, a través del *layout* de la planta. Eliminar el color amarillo de las viñetas.

Figura 13. **Distribución de maquinaria**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

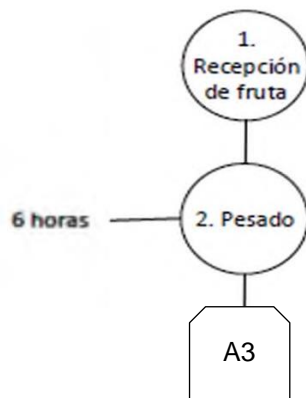
2.1.2. Diagrama de operaciones

En este apartado, se presenta el diagrama de flujo que describe el proceso productivo de las operaciones del guacamol. Se detalla el tiempo de demora de cada proceso, el cual inicia desde que el camión realiza la entrega del aguacate, hasta la finalización del mismo con el despacho del aguacate.

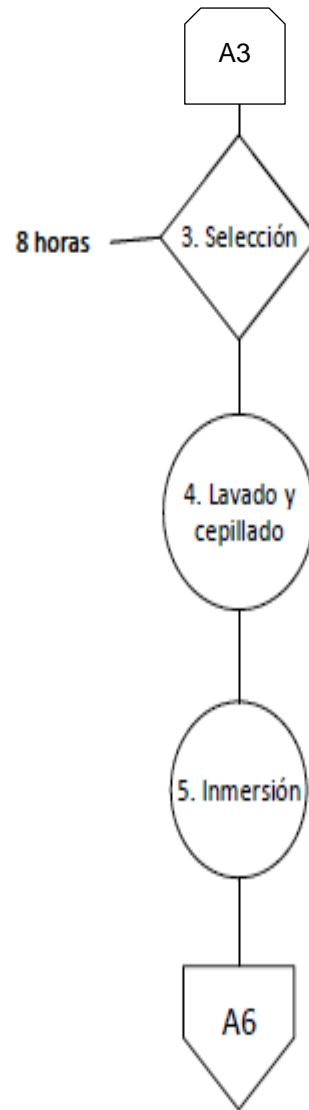
En el diagrama siguiente, pueden apreciarse todas las operaciones que recorre la materia prima desde que ingresa, pasando por el proceso de limpieza, selección, maduración, procesamiento, empaque, pasteurización, embalaje y despacho del producto terminado. Se muestra gráficamente las actividades en un orden sistemático y cronológico, para lograr un despacho estándar.

De igual manera, a un lado del diagrama se detalla el tiempo estándar por proceso, que se tiene en la situación actual de la empresa, el que tiene como finalidad la transformación de aguacate fresco en pasta de guacamole.

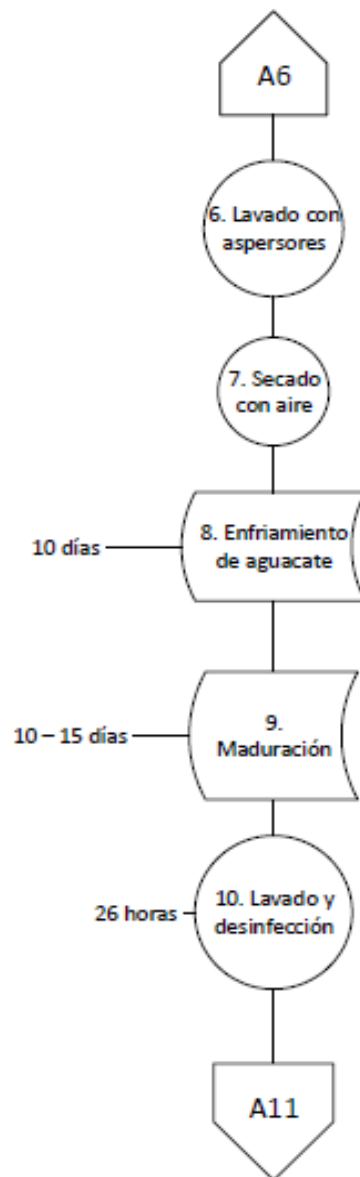
Figura 14. **Diagrama de operaciones del guacamol**



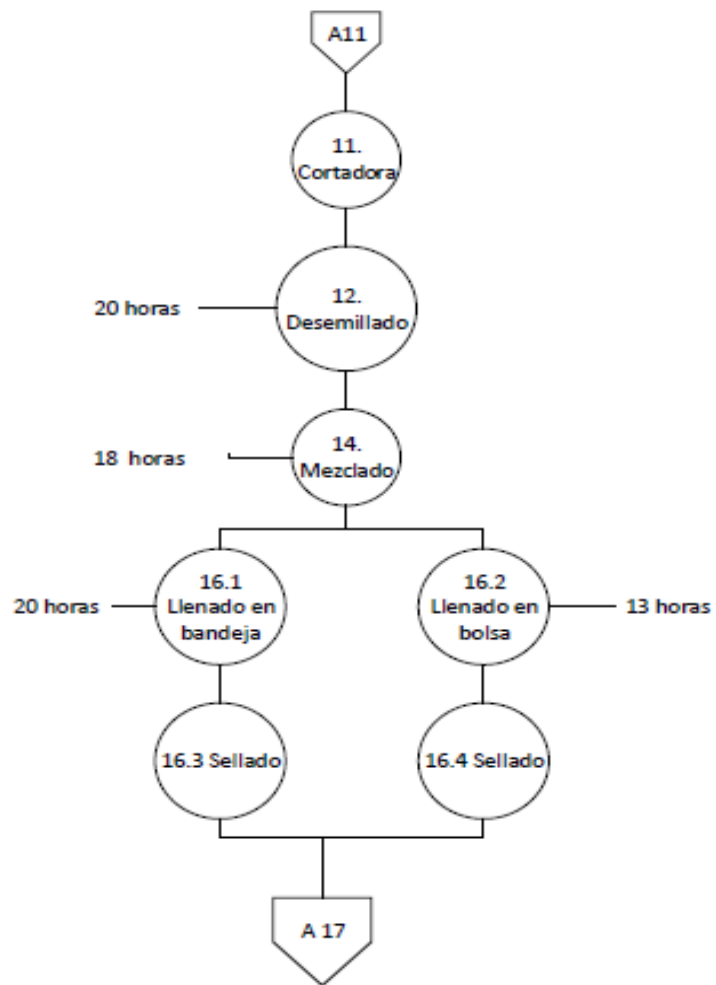
Continuación figura 14.



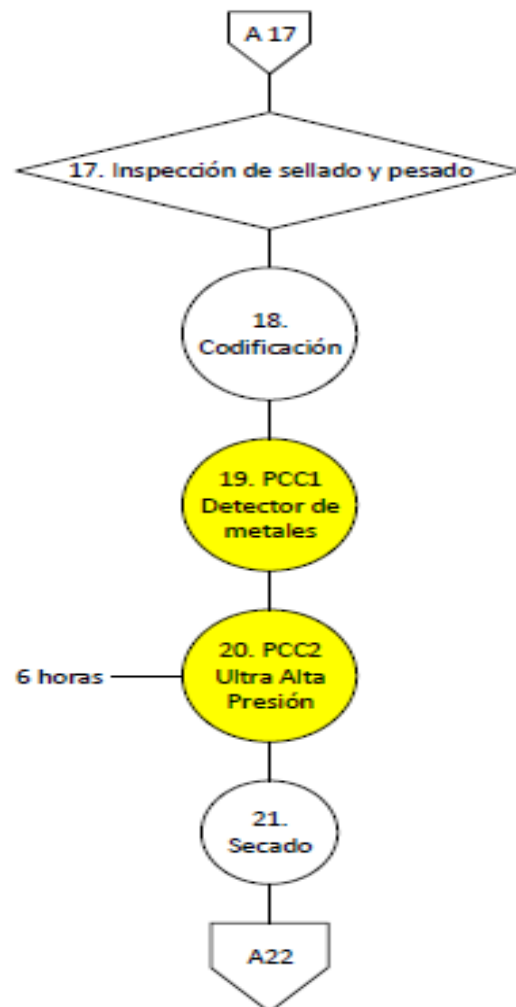
Continuación de la figura 14.



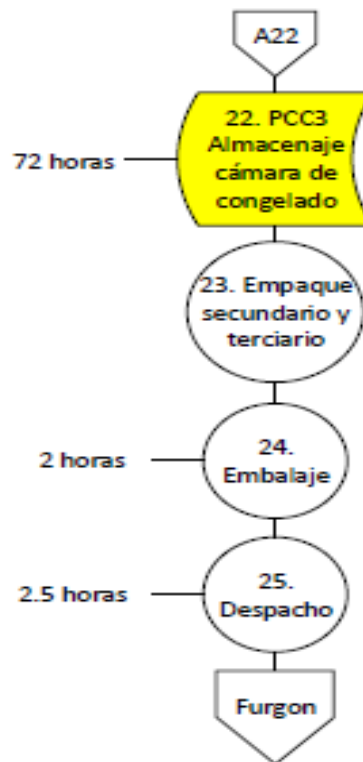
Continuación de la figura 14.



Continuación de la figura 14.



Continuación de la figura 14.



Resumen

	Horas
○ Operación	95.5
▭ Demora	672
◇ Insepección	8
Total	775.5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

2.1.2.1. Descripción de las operaciones

- Recepción de aguacate

La fruta ingresa a la planta de proceso en camiones en estado de madurez “duro, no maduro” (verde). Los vehículos se inspeccionan en cuanto al buen estado de su piso, paredes y techo, así como presencia de olores y objetos extraños.

- Pesado

La tarima (tarada) se coloca sobre una pesa.

- Selección

Los aguacates pasan por una banda, en donde las operarias separan los aguacates aceptables de los de rechazo. Estos últimos son eliminados del proceso y se colocan en canastas plásticas designadas para este fin. En esta etapa, los aguacates se rechazan por estar muy maduros, por no tener pedúnculo, por tener daños físicos o mecánicos, plagas, mordeduras de ardilla, picotazos de pájaro, o por tener evidencia de enfermedades en niveles no aceptados (antracnosis, viruela, clavo).

- Lavado con cepillos

Los aguacates son lavados con cepillos, para asegurar que se elimina toda la tierra y suciedad física. La acción física de limpieza de los cepillos es ayudada por una aspersión con solución de ácido peroxiacético a 200 ppm, que ayuda a disminuir también la contaminación microbiológica.

- Inmersión

Posterior al lavado con cepillos, los aguacates son sumergidos en una tina llena de agua con una solución de ácido peroxiacético a 200 ppm, que contribuye tanto a eliminar la suciedad física remanente, como a disminuir la carga microbiológica del producto.

- Lavado con aspersores

Con el objetivo de eliminar el exceso de ácido peroxiacético del producto, los aguacates pasan a una banda elevada con aspersores con agua potable.

- Secado con aire

Por último, los aguacates pasan a través de una turbina de aire. Esto ayuda a eliminar el exceso de agua y evitar llevarlos a la maduración húmedos, lo cual puede promover la descomposición. Al salir de la sección de secado, los aguacates son recibidos en canastas plásticas, apilados en tarimas y llevados al área de maduración.

- Enfriamiento de aguacate

El aguacate se almacena en el cuarto frío a 5 °C durante un mínimo de 10 días y un máximo de 21 días. Este proceso se realiza para la estabilización metabólica de la fruta. La cantidad de días de frío depende del porcentaje de materia seca y porcentaje de aceite del fruto.

- Maduración

El producto se ingresa a uno de los cuartos de maduración. Una vez que el cuarto está lleno, se cierra herméticamente y el control de temperatura se fija en a la cual se inicia la maduración. Esta temperatura depende de la cantidad de días en que se desee que la fruta madure. Posteriormente, se procede a la aplicación controlada de gas etileno (1 500 - 2 000 ppm), para inducir la maduración de la fruta. Durante este proceso, se pierde aproximadamente el 7 % en peso del producto.

- Lavado y desinfección

Cuando el aguacate ha alcanzado la madurez deseada, se sacan las canastas plásticas de los cuartos de maduración y se trasladan al área de Segundo Lavado. Las cajas con aguacate maduro son volteadas en un tanque que contiene una solución de ácido peroxiacético (200 ppm), en el cual se elimina la suciedad y microorganismos que pudieran venir en la cáscara. En este punto, se rechaza el aguacate que tenga algún daño físico o no tenga el grado de maduración deseado.

- Cortadora

Por medio de una banda transportadora inclinada, los aguacates son sacados del tanque y distribuidos en dos bandas con cuchillas verticales, que cortan el aguacate, incluyendo la cáscara, por la mitad.

- Desemillado

Las mitades de aguacate pasan a una banda donde las operarias toman las mismas y retiran la semilla de forma manual. La semilla de la cáscara y cualquier otro desperdicio (aguacates en mal estado, residuos de cáscara) son colocados en el área inferior de la banda, donde son redireccionados hacia la banda de producto de descarte.

El aguacate desemillado es colocado en la banda superior, que envía las mitades de aguacate hacia la máquina despulpadora. Durante el desemillado y el pulpero, se pierde aproximadamente el 50 % de la fruta madura, y se tiene como merma la cáscara, la pepita (semilla) y producto que no cumpla con las especificaciones de Empacadora de Alimentos del Altiplano.

- Pulpero

Las mitades de aguacate colocadas en la banda son direccionadas por un balancín hacia la máquina despulpadora, en donde se separa la pulpa de la cáscara. La pulpa es recibida y trasladada al *mixer* (mezclado) por medio de una bomba de diafragma. Si se realizan mitades de aguacate o pedazos de aguacate (*chunks*), estos se sacan de la línea y pasan directamente al *mixer*. Durante el desemillado, pulpero o *chunks*, se pierde aproximadamente el 50 % de la fruta madura, y se tiene como merma la cáscara, y pepita (semilla) y producto que no cumpla con las especificaciones de Empacadora de Alimentos del Altiplano.

- Mezclado

La pulpa se agrega, según la cantidad requerida para la receta a realizar, junto con los otros ingredientes. Se acciona el ciclo de mezclado correspondiente, y se espera a que el ciclo se complete.

- Tanque de vacío

Al finalizar el ciclo de mezclado, la mezcladora se conecta por medio de una manguera a una bomba de lóbulos que envía el producto hacia un tanque de vacío, en el que el producto es sometido a condiciones de vacío y nitrógeno para evitar su oxidación previa al empaque.

- Llenado

- Sellado con *film*

Si el producto será llenado en bandejas, el mismo es enviado del tanque de vacío a una bomba de diafragma, a través de una manguera. La bomba de diafragma envía posteriormente el producto a la llenadora. La llenadora es alimentada manualmente con bandejas vacías por uno de los extremos; las bandejas vacías son transportadas hacia las boquillas de llenado por medio de una banda transportadora que se detiene cuando los sensores en el área de las boquillas detectan la presencia de bandejas y la necesaria acción de llenarlas. La llenadora tiene dos boquillas, por lo que las bandejas se llenan de dos en dos.

Al finalizar el llenado, las mismas son llevadas por una banda transportadora hacia la selladora. Esta misma, por medio de sensores, detecta

la presencia de bandejas y las agrupa para transportarlas al dado de sellado. Antes de colocar el *film* y sellar la bandeja, el equipo hace vacío e inyecta nitrógeno, para poder desplazar el oxígeno en el espacio de cabeza de la bandeja. El *film* se coloca en la bandeja por una aplicación en caliente, y una vez sellado, la llenadora expulsa el producto por uno de los extremos del equipo.

- Llenado de bolsas y sellado en caliente

Si el producto será llenado en bolsas, el mismo es enviado del tanque de vacío a una bomba de lóbulos, a través de una tubería, y luego a la llenadora de bolsas desde la bomba de lóbulos, también utilizando una tubería.

La llenadora es alimentada automáticamente con *film* y forma las bolsas según las va llenando. El producto dentro del *film* es presionado por los llamados *squeeze rollers*, cuya función es eliminar el aire de la bolsa y limpiar el área de sellado, para evitar que quede producto en el sello. Las bolsas son inmediatamente selladas con un sello en caliente y cortadas para separarlas de la otra bolsa que se está formando.

- Inspección de sellado y pesado

El operador de Llenadora de Bolsas y el operador de Llenadora de Bandejas inspeccionan continuamente que el sellado de las bolsas y bandejas, respectivamente, sea adecuado. Los problemas más comunes en el llenado de bolsas es que el sello central vertical esté corrido y la bolsa no esté sellada, o que el sello horizontal no sea adecuado.

En el caso de las bandejas, el *film* puede no estarse adhiriendo correctamente a la bandeja, esto se genera, comúnmente, porque el *film* no es de un material compatible con el material de la bandeja o porque la temperatura de sellado no es adecuada. Se pesan cada una de las unidades para asegurar el peso neto establecido.

- Codificadora

Todo producto debe pasar por la codificadora, en la que se imprime en el empaque el número de lote, sabor y fecha de vencimiento.

- Detector de metales

Todo el producto empacado, tanto en bandejas como en bolsas, es ingresado al detector de metales, para evaluar la presencia de contaminantes metálicos. El producto es recibido en una banda transportadora en el Área de Proceso 2.

- Tratamiento de ultra alta presión

El producto es colocado en canastas plásticas y transportado a la máquina de proceso de alta presión. El producto empacado es colocado en las canastas plásticas de la máquina de proceso de alta presión, y se ingresa en la cápsula del equipo, en donde el ciclo de aplicación de ultra alta presión inicia. El equipo arranca, y progresivamente va aumentando la presión hasta llegar al valor de aplicación deseado.

Una vez el equipo ha alcanzado la presión establecida, la misma se sostiene por un periodo predeterminado, para asegurar que el ciclo de alta

presión, requerido para reducir la carga microbiológica, es alcanzado. Esta presión y tiempo de sostenimiento a los cuales se somete el producto garantiza la inactivación de cualquier microorganismo presente y la obtención de un producto inocuo.

- Secado

El producto debe secarse al salir de la HPP, para poder almacenarlo de manera correcta, sin problemas de formación de hielo al momento de congelarlo. Si el producto no lleva etiqueta, en este momento se le coloca.

- Almacenaje y congelado

Las tarimas formadas son almacenadas en una cámara de congelado, a una temperatura controlada de -24 °C a -18 °C. Una vez congelado el producto (3 días después de su producción), ya puede ser empacado en cajas de cartón corrugado.

- Empaque secundario y terciario

Después de que el producto ya esté completamente congelado (3 días después de su producción), se empaca en cajas de cartón corrugado.

- Bandejas

Empaque Secundario: se les coloca un cintillo de cartón que contiene información del etiquetado pertinente.

Empaque Terciario: se colocan las bandejas con cintillo en cajas de cartón. Las mismas se agrupan en las cajas dependiendo del tamaño y peso. Las cajas de cartón son selladas con cinta adhesiva transparente resistente a bajas temperaturas.

- Bolsas

Empaque Secundario: a las bolsas se les coloca una etiqueta (si aplica), y las mismas en cajas de cartón. Estas se agrupan en las cajas dependiendo del tamaño y peso. Las cajas de cartón son selladas con cinta adhesiva transparente resistente a bajas temperaturas.

- Embalaje

Las cajas de cartón se estiban y fijan sobre una tarima con la ayuda de un fleje plástico. Después de terminar el embalaje, el producto regresa a la cámara de congelados, hasta el día de despacho.

- Despacho

Se asegura que el transporte se coloque de manera correcta en el puerto de carga, de forma que se tiene un cierre hermético, que permite abrir las puertas del transporte sin correr riesgo de contaminación con el exterior.

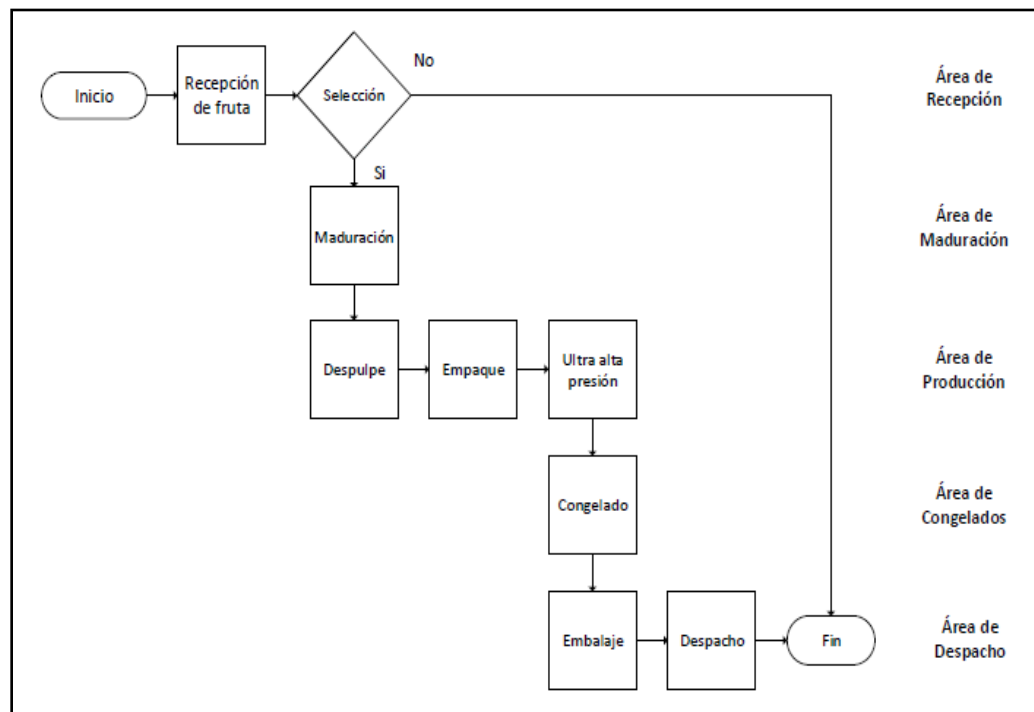
Se verifica que el equipo de refrigeración del transporte esté encendido, para que no se pierda la cadena de frío al pasar el producto final de la cámara congelada al transporte.

Las tarimas de producto terminado se colocan en el contenedor por medio de un montacargas. Previo a la carga, los vehículos se inspeccionan evaluando la limpieza e integridad del piso, paredes, techo, así como la ausencia de objetos o sustancias que puedan contaminar al producto.

2.1.3. Diagrama de flujo de proceso

En este apartado, se presenta, a través de un diagrama de flujo de proceso, específicamente el proceso de guacamol realizado en la empresa objeto de estudio. Se detallan las propiedades de este, en cada proceso de transformación. De igual manera, se especifican los pasos a realizar en el proceso de despacho y embalaje.

Figura 15. Diagrama de flujo producción de guacamole



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

En el diagrama anterior se mostró el flujo cronológico de las operaciones que se realizan para obtener el producto terminado; se hace referencia a las áreas en las cuales se realizan dichos procesos y las actividades con puntos de decisión que se toman durante el proceso de maquilado de un contenedor de aguacate, procesado en cualquiera de sus presentaciones. Cabe resaltar que no se entra a detalle, ya que los puntos de control se ven descritos en el diagrama de operaciones.

2.1.4. Cuello de botella

Esta se define como una fase de una cadena de producción más lenta que el resto, la cual genera un retraso en el proceso de producción global. Se puede determinar que, para el sistema de producción anteriormente descrito, basado en el estudio e interacción con este, que el cuello de botella es el dosificado del producto o llenado de bandejas, pues este es un proceso que aún no se encuentra automatizado, por lo que se realiza mediante un procedimiento manual, lo que causa un retraso para todos los procesos posteriores a este.

El cuello de botella más evidente en la planta procesadora de aguacate se refleja con la capacidad actual instalada, que puede determinarse en el proceso de empaque, ya que la velocidad de las dosificadoras no es la suficiente para hacer un flujo continuo en todas sus presentaciones; no es lo mismo una velocidad de dosificación de un producto de 1 kg que la de las bolsas pequeñas de 100 gramos, se puede explicar a simple vista, con un pequeño análisis en el diagrama de operaciones, ya que el proceso de mezclado y el proceso de pesado posterior tienen tiempos menores al del proceso de empaque.

Por lo tanto, la causa principal es la variedad de presentaciones de llenado ya que las presentaciones más pequeñas tienen una velocidad más lenta en un

10 % en relación a las presentaciones más grandes. Este cuello de botella se soluciona adquiriendo una maquinaria que dosifique únicamente las presentaciones de 100 a 350 gramos, y la máquina actual, las presentaciones grandes de ½ kg en adelante. Esto mejoraría la eficiencia del proceso proyectado a un 30 %.

2.2. Control de calidad

La calidad dentro de una industria es uno de los factores más importantes que condicionan el éxito o fracaso del consumo del producto en el mercado. Dentro del flujo de las operaciones se cuentan con puntos de control, los cuales se deben cumplir a cabalidad, para obtener un producto terminado de calidad.

Dadas las normas de calidad establecidas para la industria alimenticia, la empresa de estudio cuenta con la norma internacional HACCP (Análisis de Peligro y Puntos Críticos de Control); todo esto para garantizar la inocuidad y calidad de los productos a nivel mundial.

El control de calidad es imprescindible en cualquier industria, mayormente en la alimentaria. En la planta actual de estudio, se presentan puntos donde el Departamento de Calidad se ve directamente relacionado con el éxito o fracaso del producto terminado, y es de su neta responsabilidad mantener un estricto control; esto debe ser verificado, ya que las certificaciones que permiten la libre comercialización del producto terminado, se ven directamente ligadas a garantizar la calidad e inocuidad de estos, de esta forma, garantizarán que sean aptos para el consumo.

Por lo mismo, este departamento se encarga de velar desde la recepción hasta el despacho, a través de un sistema de gestión que se encarga de

controlar a nivel operativo todas las actividades que se realizan dentro de la planta. Todo esto se registra para darle trazabilidad no solo a los productos, sino a las actividades en paralelo que directa o indirectamente intervienen con la calidad del producto.

El sistema de control de calidad es un tanto complejo, ya que abarca áreas como mantenimiento, para velar que los químicos, herramientas y prácticas durante el proceso de reparación e instalación de maquinaria, que sean aptas para el tipo de industria y no representen, en ningún momento, peligro físico, químico o microbiológico.

El departamento de calidad realiza pruebas de peso en todo el proceso, lo cual permite medir eficiencias de fruta, velocidades de operación. Además, se realizan análisis químicos a los productos, y así determinar una calidad estándar en todas sus presentaciones; ya sea de cualquier receta que se esté fabricando, se deja una muestra de cada contenedor que es enviada para poder realizar una trazabilidad, por si surgiera algún tipo de reclamo.

2.2.1. Puntos críticos de control de calidad

Un punto de control crítico (PCC) es un punto, operación o etapa que requiere un control eficaz para eliminar o minimizar, hasta niveles aceptables, un peligro para la seguridad alimentaria. Para poder determinar los PCC, se precisa un modo de proceder lógico y sistematizado, como el uso de un árbol de decisiones, el cual es una secuencia de preguntas hechas para determinar si un punto de control es PCC o no lo es.

Los PCC son los puntos críticos de control, donde se encuentran las mayores amenazas que atentan contra la calidad e inocuidad del producto

terminado. Estos puntos deben ser vigilados constantemente, ya que de estos depende directamente la inocuidad del producto. Son catalogados de esta manera, pues la planta no podría operar si no se tuvieran estos controles; en este caso se tienen los rayos X.

Ya que es un producto procesado como un semisólido, es imprescindible que se pueda detectar si alguna partícula de metal cayese dentro del producto, lo suficientemente grande como para causar un daño a la salud del consumidor. Es por eso que la maquinaria que se encarga de detectar debe tener un rango muy pequeño de tolerancia. En apoyo a esto, en el Área de Producción, está prohibido el ingreso de joyería y maquillaje, debido al peligro que pueda representar al caer en el producto.

El punto crítico de control de la ultra alta presión es lo que más se cuida, ya que esta es la que le da el tiempo de vida útil sin preservantes; es la esencia de la planta, porque si no se realiza este proceso, el guacamole puede presentar síntomas de oxidación, lo que afecta los parámetros organolépticos y de vida anaquel que se ofrecen al mercado

El último punto crítico, es el proceso de congelado ya que, si este no se realiza, tampoco podría llegar de manera fresca hacia el destino. Es importante mencionar que es un requisito indispensable cumplir con el congelado, ya que un contenedor tarda alrededor de 30 días en llegar a su destino, cuando es de exportación, por lo que no llevarlo al punto de congelamiento, podría incurrir en un proceso de oxidación y, por tanto, de fermentación, al igual que en el proceso de HPP.

Cada una de las etapas del árbol de decisiones, se debe aplicar a cada uno de los peligros identificados y a sus medidas preventivas. Si se determina

la existencia de un peligro en una fase, y no existe ninguna otra medida preventiva que permita controlarlo, debe realizarse una modificación del producto o proceso que permita incluir la correspondiente medida preventiva.

Este árbol de decisiones se aplicará con flexibilidad y sentido común, sin perder la visión del conjunto del proceso de fabricación. La finalidad de un sistema HACCP es lograr que el control se centre en los puntos críticos de verificación.

Dentro del sistema de procesamiento del aguacate, se determinaron 3 puntos críticos de control; estos son los siguientes:

- PCC1- Detector de metales

Este es un punto crítico de control debido a que el procesamiento de aguacate se realiza dentro de recipientes y maquinaria de acero inoxidable. Por ende, el producto está en contacto directo con equipos que sufren desgaste, a pesar de que estos son hechos de materiales de grado alimenticio. Es de suma importancia cuidar la salud de las personas que consumen este producto, por lo que cada uno de los empaques se realiza a través de un escáner detector de metales, que detecta partículas metálicas de hasta 2,5 mm, y de este modo, se conserva la inocuidad del producto.

- PCC2 - Proceso de alta presión

La importancia de este procedimiento es la neutralización de agentes patógenos dentro del producto, lo cual no solo alarga la vida útil del producto, sino que neutraliza la proliferación bacteriana de la *Listeria monocytogenes* que es la causante de la listeriosis. Asimismo, neutraliza otras infecciones

provocadas por otras bacterias tales como la salmonella, infección causada por la ingesta de alimentos contaminados o en mal estado.

El procesado por alta presión es natural, respetuoso con el medioambiente, que permite preservar al máximo los ingredientes y características de un producto fresco.

- PCC3 – Congelado

En los procesos alimenticios, la refrigeración constituye uno de los principios básicos de seguridad, puesto que es el tratamiento de conservación de alimentos más extendido y aplicado. Su uso posee la ventaja de no producir ninguna clase de modificación en los productos, garantiza la frescura de los alimentos y su vida útil. Esto se debe básicamente a que la actividad de los microorganismos y de las enzimas puede verse enlentecida, es decir, se produce un retraso en la degradación de los componentes de los alimentos y, por consecuencia, los alimentos duran más de manera natural. Del mismo modo, los microorganismos patógenos van a inhibirse en su crecimiento, permitiendo mantener las condiciones de seguridad de los alimentos.

2.2.2. Especificaciones del control de calidad

En este apartado, se muestra una breve descripción de los parámetros que se setearon con control de calidad para algunos puntos de control de proceso de maquilado de un contenedor. En él se especifican los datos cuantitativos que deben cumplir los productos en cada estación, adicional a eso se colocan los PCC con su respectiva especificación de calidad.

- Detector de metales

No se admiten ningún tipo de esquirla de metal o acero inoxidable dentro del producto, por lo que se cuenta con un equipo que lee cada bolsa, luego del proceso de lotificación, y detecta partículas de hasta 1 mm; esto garantiza que ninguna pieza de metal vaya dentro del producto terminado.

- Pasteurización en ultra alta presión

Para que este proceso sea exitoso, se debe elevar la presión del agua hasta 87 000 psi, durante 3 min dentro de una cápsula rellena con agua, en la cual el producto es ingresado.

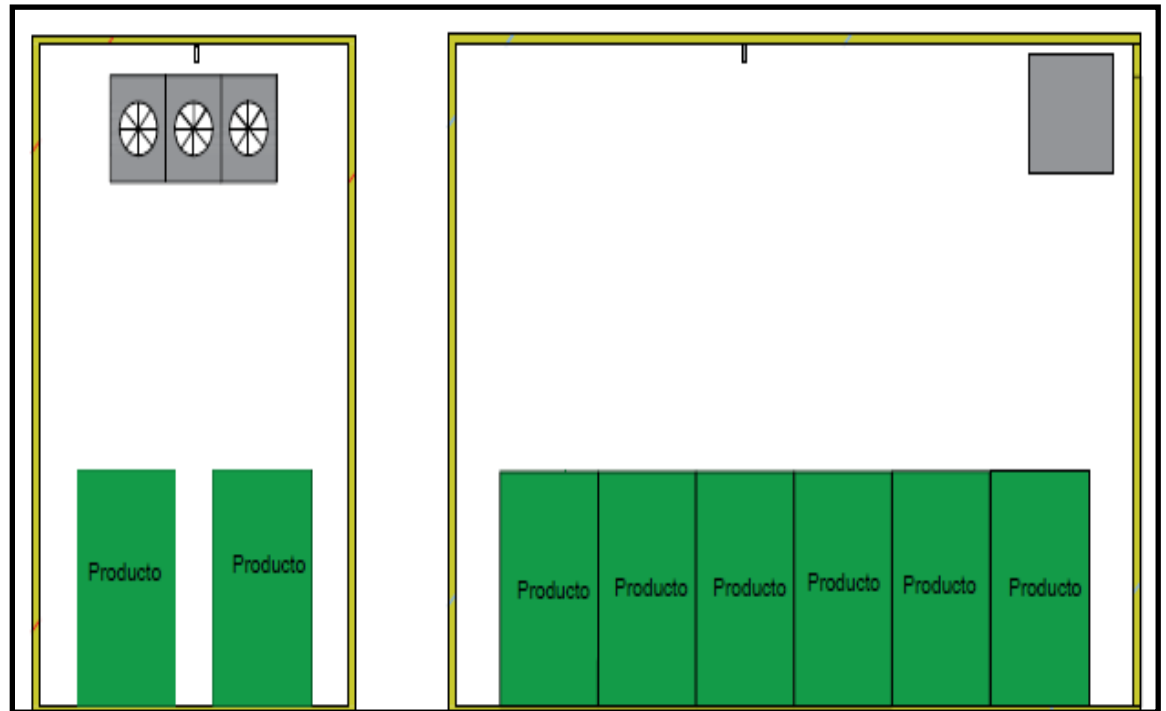
- Congelado

Se debe llegar hasta el punto de solidificación del producto; también garantizar la temperatura del cuarto frío seteado a -20 grados centígrados. Adicional a esto, se colocan distintos parámetros de calidad, que se deben cumplir en distintos puntos del proceso que no son tan críticos como los PCC, no obstante, influyen directamente en la calidad de los procesos, para garantizar la satisfacción total de los clientes.

2.3. Diseño actual de los cuartos de maduración

El diseño que actualmente poseen los cuartos de maduración se compone de un evaporador, tuberías de acetileno, oxígeno y un recubrimiento de paneles de 5 cm de poliuretano como aislante térmico; también se indica la forma correcta que se deben colocar los lotes sobre las estibas, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 16. **Diseño de los cuartos de maduración de aguacate**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El diseño actual se presenta para poder tener una comparación de mejora de lo que se tenía, en relación a lo que ahora se instalará. asimismo, para ver que se trabajó con base en lo que ya se tenía, se resalta que no fue una inversión de remodelación total de los cuartos. Es importante detallar el diseño actual, ya que tienen mucho que ver los componentes y la manera en que estos estaban instalados, distancias, capacidades, y cómo una correcta colocación de estos sí genera un cambio significativo en el proceso de maduración.

2.3.1. Esquema del sistema de flujo de aire

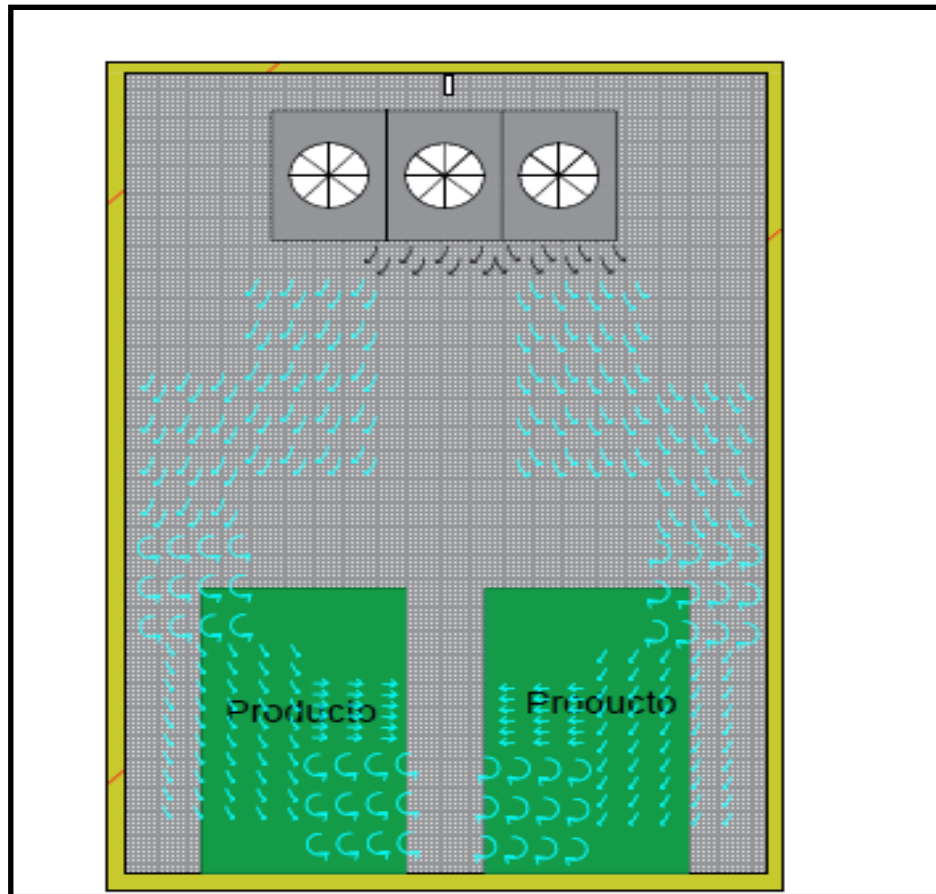
El sistema de flujo de aire es uno de los principales causantes del éxito o fracaso de una buena maduración en el aguacate, porque al tener un flujo controlado en donde no se deja que se eleven las concentraciones de dióxido de carbono, se garantiza un mayor porcentaje de aguacate maduro aceptable al final del proceso de maduración, que al no tener un flujo controlado.

Este sistema es controlado a través de un PLC, el cual está conectado a sensores de gases que detectan concentraciones de cualquiera de estos en un ambiente; estos, a su vez, están conectados con un sistema de inyección y extracción de aire, que funciona a través de un sistema de ventiladores que inyecta aire del ambiente, y al mismo tiempo extraen lo que se encuentre dentro del cuarto; de esta manera, causa una renovación garantizada de los gases, que generan que el aguacate tenga irregularidades en la maduración

Por otra parte, la dirección del flujo del aire también es importante, ya que, al tener los ventiladores en lugares estratégicos, se logra un flujo de inyección y extracción, de tal modo que no hay choque de flujos sino uno constante.

Las ventilaciones deben permitir la circulación del aire frío a través de las cajas, para enfriar el aguacate y evitar la acumulación de gases indeseables como etileno y dióxido de carbono. El comportamiento del aire generado dentro de las cámaras se muestra en el siguiente esquema:

Figura 17. **Comportamiento del aire dentro de las cámaras de maduración de aguacate**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.4. **Parámetros actuales de los factores de maduración**

La maduración del fruto se acelera después de cosechado, pero buenas técnicas de almacenamiento pueden retardar el proceso. Además, se dice que una semilla es madura cuando ha alcanzado su completo desarrollo, tanto desde el punto de vista morfológico como fisiológico.

En el mismo orden de ideas, en el siguiente apartado se desarrollan los parámetros de los factores de maduración del proceso actual en la empresa objeto de estudio; se inicia con la temperatura, el oxígeno, el dióxido de carbono, el etileno, la humedad relativa y la materia seca.

2.4.1. Temperatura

Actualmente, se gradúa la temperatura por medio de un sistema eléctrico de control, donde se pueden modificar los parámetros manualmente, por medio de señales electrónicas. El parámetro establecido para los cuartos de maduración es un rango entre 20-25 °C.

2.4.2. Oxígeno

No se cuenta con ningún dato de cantidad de oxígeno suministrada al proceso que se registre actualmente.

2.4.3. Dióxido de carbono

No se cuenta con ningún control establecido para cuantificar la cantidad de dióxido de carbono dentro de los cuartos.

2.4.4. Etileno

Actualmente, se le aplica etileno entre 115-220 ppm, durante 30 minutos por 3 o 4 días, según la senescencia del fruto. El etileno se aplica por medio de una tubería de acero inoxidable, la cual se ubica en la parte superior de los cuartos de maduración, de tal modo que este se esparza uniformemente en todos los lotes.

2.4.5. Humedad relativa

Este parámetro se encuentra actualmente en el rango de 90-95 % dentro de los cuartos de maduración.

2.4.6. Materia seca

Esta se mide durante la recepción del producto, en donde se debe verificar un contenido de materia seca de 23-30 %.

2.5. Eficiencia de la pulpa

La cantidad de aguacate neto que es aprovechado se verifica a través del control previo y posterior a la transformación de la materia prima en guacamol, ya que se estima de un lote el peso neto del producto y se calculan las pérdidas de peso con base en los porcentajes de materia seca, previamente verificados. Al final del proceso, se obtiene el peso total del producto procesado y, a través de una relación de ingreso y egreso, se obtiene el porcentaje de eficiencia de pulpa con respecto al lote inicial. Actualmente, se cuenta con un aprovechamiento de pulpa del 46 %.

2.5.1. Porcentajes de aceptación de aguacate por lote

En la estación de desinfección, es donde se obtiene el dato de aceptación de aguacates por lote madurado. La no aceptación se condiciona bajo el criterio de rechazar todo aquel producto que esté sobremaduro o amarrado, el cual debe ser desechado por motivos de calidad e inocuidad del producto. Actualmente, la tasa de aceptación de aguacates madurados por lote es del 95 %.

2.6. Manejo de desechos

Para el máximo aprovechamiento de los recursos, se utiliza un sistema de recolección de sólidos de aguacate, los cuales son ricos en polisacáridos, alimento esencial para las bacterias que generan el abono de la tierra. Este tipo de abonos utiliza los residuos de aguacate que llegan a los pozos; forman una biomasa que aporta nutrientes y energía al suelo. Esta es enviada a las fincas abastecedoras de aguacate, con el fin de reducir el costo de materia prima.

3. PROPUESTA DE MEJORA DEL CONTROL DE MADURACIÓN DE AGUACATE

Una vez presentado el contexto, se comprende que la propuesta está dirigida al proceso de maduración, y por eso, es importante que se explique por qué se deben controlar los pasos previos y posteriores, para poder comparar y justificar las mejoras. Adicional a eso, se detalla un sistema de registros que documentan información necesaria para garantizar la calidad de los procesos; encontrar anomalías en el desarrollo del trabajo y en la maquinaria, entre otros. Se especifican cada uno de los procesos que son importantes para conservar la calidad e inocuidad del producto terminado.

Se definió el sistema que se encontró. El principal causante de la pérdida de eficiencia en el proceso inicia en la maduración, por lo que la mejora irá dirigida hacia este proceso. Sin embargo, se deben controlar otras operaciones para lograr una mejora significativa.

3.1. Control del proceso de descarga de la materia prima

Para el control de descarga del aguacate, primero se verificará la papelería correspondiente, se verificará la cantidad de canastas que se enviaron, la cantidad de producto recibido y la distribución adecuada de la materia prima dentro del camión.

Asimismo, se seguirán ciertas normas, tanto de seguridad como de BPM, para garantizar desde el inicio del proceso, la calidad e inocuidad del producto, ya que, a pesar de no ser un punto crítico de control, hay agentes externos tales

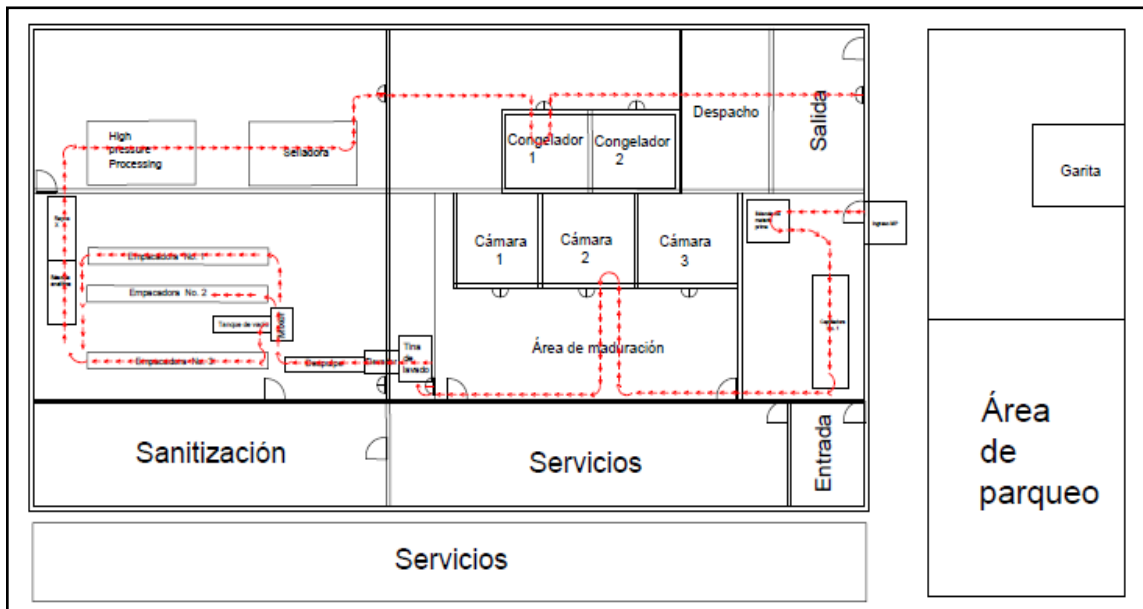
como plagas, parásitos o materiales externos que pueden poner en riesgo la materia prima.

También será importante para el proceso de descarga, la estandarización de tiempos, con el fin de determinar la cantidad óptima de colaboradores en función de la cantidad de materia prima a descargar.

3.1.1. Diagrama de recorrido de materia prima

El diagrama de recorrido del aguacate, desde el ingreso a la planta hasta los cuartos de maduración, se representa en la siguiente figura.

Figura 18. Diagrama de recorrido de materia prima



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El diagrama anterior presenta el recorrido de materia prima, a través de las líneas de flujo que indican el movimiento del material en actividad. Este diagrama permite encontrar aquellas áreas de posibles congestionamientos de tránsito, y facilitará lograr una mejor distribución en la planta objeto de estudio.

3.1.2. Especificaciones de aceptación del fruto

Dentro de las especificaciones generales del proceso de descarga, no únicamente será importante la calidad del producto en referencia a apariencia y especificaciones físicas; el grado de maduración con que ingrese a la planta; la fecha de corte del producto y tener una buena distribución de las canastas dentro del camión en dónde vienen trasladadas desde finca; sino también es de suma importancia no recibir producto a granel que se encuentre en contacto con el suelo del vehículo donde venga trasegado, ya que pueden haber residuos de cualquier tipo de contaminación que afectan directamente la materia prima. Las características específicas de aceptación del producto se evaluarán a través de la siguiente hoja:

Tabla II. **Hoja de evaluación de producto**

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES	
EVALUACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL FRUTO	
Código:	_____
Revisión:	_____
Fecha:	_____

Continuación tabla II.

Parámetros de calidad	Descripción	Observaciones
Contenido de materia seca		
Porcentaje de aceite		
Peso promedio KG		
Objetos extraños		
Daños mecánicos		
Olor		
Color		
Presencia de pedúnculo		
Plagas		
Almacenamiento		
Contacto con el suelo		
Observaciones generales:		

Recibo:	_____	Firma: _____
Vo. Bo.	_____	Firma: _____

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.1.3. Cronograma de recepción de pedidos

Para la recepción de pedidos en la planta objeto de estudio, los intermediarios notificarán su requerimiento del aguacate a la planta, con aproximadamente un mínimo de tres días de antelación; se deben especificar el volumen de compra y el costo de la materia prima establecido, según sea la demanda que tengan en cada momento.

El proceso de recepción de pedidos inicia cuando la persona encargada de recibirla y almacenarla estará atenta para mantener la documentación clara y

precisa. Comprobará que cada una de las materias primas recibidas y los documentos que pudiesen acompañarles sean los correctos y coincidan con el pedido realizado. Si el proveedor no identifica la materia prima que aporta a la planta, se deberá solicitar que lo haga. Se controlarán los datos referentes a cada recepción.

El orden en los almacenes, la utilización de sistemas PEPS (lo primero que entra es lo primero que sale) y el uso de carteles y etiquetado adecuado facilitará la identificación o retiro de una tarima de producto, si fuera necesario.

- Información imprescindible del proveedor
 - Lote de identificación del proveedor
 - Cantidad
 - Fecha de corte del aguacate
 - Condiciones de almacenamiento luego del corte

- Información para registrar en la base de datos
 - Proveedor, nombre de finca o productor individual
 - Lote de identificación, según el correlativo de la empresa
 - Cantidad, peso bruto y neto
 - Fecha de recepción, día/mes/año
 - Observaciones importantes

- Información para codificación interna
 - Fecha de entrada y nombre del proveedor
 - Lote de identificación del proveedor
 - Número de correlativo de entrada

- Información actualizada del proveedor
 - Nombre o nombre de la empresa y dirección.
 - Contacto, esto incluirá: persona de referencia, teléfono, correo electrónico.
 - Detalles del contrato y producto suministrado.

Tabla III. **Cronograma de recepción**

Lote	008	009	010	011	012	013	016
Semana	02	2	2	3	3	3	4
Fecha Recepción	9/1/2018	10/1/2018	10/1/2018	15/1/2018	15/1/2018	15/1/2018	25/1/2018
Proveedor	Principal	Principal	Principal	Principal	Principal	Principal	Principal
Finca	Número 1	Número 2	Número 3	Número 3	Número 4	Número 4	Número 5
Quintales a recibir	41	57	96	109	118	182	160

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La tabla anterior muestra el cronograma propuesto para la recepción de pedidos de la planta objeto de estudio. La recepción de pedidos en la planta se llevará a cabo por personal de la misma. Al producto se le hará un previo muestreo, con el propósito de verificar que reúna los requisitos para ingresar a planta, lo que incluirá: detección de plagas y enfermedades, apariencia general, es decir, manchas, rozaduras, golpes. Además, se contará con un archivo de certificados de origen de la fruta, con fines de control y trazabilidad.

El equipo técnico será el encargado de recibir el producto; de igual manera, verifica si las condiciones del vehículo que lo transporta son las

3.2. Control del ingreso de aguacates al proceso de maduración

Los procesos desarrollados para el control del ingreso de aguacates al proceso de maduración de la planta objeto de estudio se presentan en el siguiente apartado, que corresponde a la descripción del proceso de porcentajes de aceptación de aguacates con respecto al lote inicial, y al procedimiento de identificación de las características del aguacate, previo al ingreso a las cámaras de maduración.

3.2.1. Porcentajes de aceptación de aguacates con respecto al lote inicial

Los porcentajes de aceptación de aguacates, con respecto al lote inicial, se evaluarán desde la finca proveedora; se tomará en cuenta la fecha de corte, la fecha de ingreso a frío, la fecha de salida de frío, la presente muestra, los porcentajes de aceptación para el lote inicial en la planta objeto de estudio.

Tabla V. Porcentaje de aceptación lote de ingreso

Lote	008	009	010	011	012	013	16
Semana	2	2	2	3	3	3	4
Proveedor	Principál	Principál	Principál	Principál	Principál	Principál	Principál
Finca	Número 1	Número 2	Número 3	Número 3	Número 4	Número 4	Número 5
Fecha de corte	09/01/2018	10/01/2018	10/01/2018	15/01/2018	15/01/2018	15/01/2018	25/01/2018
Fecha ingreso a frío	09/01/2018	10/01/2018	10/01/2018	15/01/2018	15/01/2018	15/01/2018	25/01/2018
Fecha salida de frío	17/01/2018	17/01/2018	17/01/2018	23/01/2018	23/01/2018	23/01/2018	01/02/2018
qq de recepción	41,95	57,30	96,13	110,22	119,23	182,80	159,00
qq de rechazo	0,81	0,50	0,30	1,00	1,23	0,80	7,08
qq a maduración	41,14	56,80	95,83	109,22	118,00	182,00	151,92
% de aceptación	98,07%	99,13%	99,69%	99,10%	98,97%	99,56%	95,55%

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Si la muestra evaluada no cumple con los requisitos especificados en esta norma, se debe rechazar el lote. Por lo tanto, en la siguiente tabla se muestra la hoja de evaluación de porcentajes de aceptación de aguacates.

Tabla VI. **Hoja de evaluación de porcentajes de aceptación de aguacates**

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES						
HOJA DE EVALUACIÓN DE PORCENTAJES DE ACEPTACIÓN DE AGUACATES						
Código: _____						
Revisión: _____						
Fecha: _____						
Semana	Finca	Fecha de ingreso	Peso Neto KG			
Lotes						
Indicadores por lote						
Fecha de corte						
Fecha de ingreso a frío						
qq de recepción						
qq de rechazo						
qq a maduración						
% de aceptación						
Observaciones: _____ _____ _____						
Recibo: _____			Firma: _____			
Vo. Bo. _____			Firma: _____			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.2.2. Características del fruto previo al ingreso a las cámaras de maduración

En el proceso de control de ingreso de aguacates al proceso de maduración, es imprescindible la evaluación de características y especificaciones de la materia prima, con el fin de identificar si cumplen o no cumplen con los parámetros de calidad del producto. En la siguiente tabla se muestran dichos parámetros.

Tabla VII. Características para la evaluación de materia prima

Parámetro	Especificación	Cumplimiento
Color	Verde opaco	<i>Cumple</i>
Olor	Característico	<i>Cumple</i>
Forma	Aperado	<i>Cumple</i>
Consistencia al tacto	Firme y sano	<i>Cumple</i>
% Materia seca	Mayor a 22 %	24,04 %
% Aceite	Mayor a 11,98 %	13,11 %
Peso promedio	Mayor a 140 g	178,8
Penetromía	Mayor a 30 psi	35

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Parte del proceso de control de materia prima es la evaluación del producto. Con el objetivo que este cumpla con los estándares de calidad, se evaluará el cumplimiento del color, del olor, la forma, la consistencia al tacto, el porcentaje de materia seca, el porcentaje de aceite, el peso promedio y la

penetromía del aguacate. En la siguiente tabla, se muestra la hoja de evaluación.

Tabla VIII. **Evaluación de materia prima previo al ingreso a cámaras de maduración**

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES			
EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEL FRUTO PREVIO AL INGRESO DE CÁMARAS DE MADURACIÓN			
Código: _____			
Revisión: _____			
Fecha: _____			
<i>Semana</i>	<i>Finca</i>	<i>Fecha de ingreso</i>	<i>Peso Neto KG</i>
Parámetros	Especificaciones Requeridas	Estándares de cumplimiento	
Color			
Olor			
Forma			
Consistencia al tacto			
% Materia seca			
% de Aceite			
Peso Promedio kg			
Penetromía			
Observaciones: _____ _____ _____			
Recibo: _____		Firma: _____	
Vo. Bo. _____		Firma: _____	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La siguiente tabla muestra las características del fruto por lote, previo al ingreso a las cámaras de maduración de la planta procesadora de aguacate objeto de estudio.

Tabla IX. **Características del producto por lote**

Lote	14	15	16	17	18
Fecha de recepción	23/01/2018	24/01/2018	25/01/2018	27/01/2018	27/01/2018
Proveedor	Principal	Principal	Principal	Principal	Principal
Quintales recibidos	152	148	152	152	159
Quintales a maduración	141	141	141	139	150
Pérdida de peso	7 %	5 %	7 %	8 %	6 %
Kilogramos terminados	3,373	4,105	3,721	3,724	4,176
Rendimiento	49 %	61 %	54 %	54 %	58 %
Rendimiento óptimo de producción	52,6 %	64,3 %	58,0 %	58,9 %	61,4 %
Observaciones	Lote con roña	Lote con fruta pequeña	Lote con roña y exceso de fruta sin pedúnculo	Lote con roña	Lote con fruta pequeña

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3. **Control de los parámetros de maduración**

En la propuesta de mejora del control de maduración de aguacate, los controles de los parámetros de maduración son imprescindibles; por lo mismo, en el siguiente apartado de la descripción de control del flujo de aire fresco y del procedimiento de inyección de etileno, se muestran los porcentajes de CO₂ de las cámaras de maduración, el control de las variaciones de temperatura y la relación de la materia seca con el ciclo de maduración.

3.3.1. Control del flujo de aire fresco

Es importante mencionar que el aire es el medio que ayuda a eliminar el calor para quitar el exceso de dióxido de carbono contenido en el ambiente de conserva. Para que la temperatura sea uniforme debe haber flujo constante de aire, de lo contrario podrá afectar la calidad de la maduración del aguacate. Además, el aire utilizado deberá estar libre de agentes que puedan resultar perjudiciales para la calidad del fruto, punto donde el filtrado y control del aire deben cuidarse.

Por lo tanto, la intensidad de respiración del fruto depende de su grado de desarrollo, que es medido como la cantidad de CO₂ (ppm partes por millón). La cantidad de respiración del aguacate será medida por medio de una concentración (dentro de la atmósfera creada en el cuarto de maduración). Una concentración de gases es medida por medio de un sensor de CO₂.

Actualmente, la planta objeto de estudio no cuenta con un sistema de control de aire fresco; por lo mismo, se presenta la propuesta de instalación de un sistema de maduración, donde se controlará este parámetro. El control de fluido de aire fresco se realiza manualmente. El control de la apertura del cuarto para el ingreso de aire fresco se lleva a cabo en el orden siguiente:

Tabla X. **Control de apertura de los cuartos de maduración**

Fecha	Lote	No. De cuarto	Hora apertura	Hora cierre	Responsable
01/02/2018	016	1	9:32	10:11	por turno
01/02/2018	016	1	13:22	14:10	por turno
01/02/2018	016	1	21:01	21:42	por turno
02/02/2018	016	1	8:43	9:21	por turno
02/02/2018	016	1	12:48	13:14	por turno
02/02/2018	016	1	20:55	21:33	por turno
03/02/2018	016	1	8:50	9:30	por turno
03/02/2018	016	1	11:53	12:33	por turno
03/02/2018	016	1	21:15	21:55	por turno

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.2. Inyección de etileno

Para el proceso de inyección de etileno, es importante mencionar que el etileno es un simple gas, formado por dos átomos de carbono y cuatro de hidrógeno (C₂H₄). El etileno actúa durante su crecimiento, maduración, desarrollo y senescencia en concentraciones tan bajas como 0,01 µl/l (ppm).

Cabe agregar que el gas etileno será el responsable de la maduración del fruto; provoca que estos cambien de color, que obtengan una textura más blanda y desarrollen su sabor y aroma característicos. En la siguiente tabla, se observa el proceso y costos de inyección de etileno en el cuarto de maduración de la planta objeto de estudio.

Tabla XI. **Costos de inyección de etileno**

Fecha	Cuarto de maduración	Lectura inicial (psi)	Lectura final (psi)	Total consumido (psi)
01/02/2019	1	1100	1000	100
02/02/2019	1	1000	890	110
03/02/2019	1	890	750	140
04/02/2019	1	750	630	120
05/02/2019	1	630	530	100
06/02/2019	1	530	430	100
07/02/2019	1	430	320	110
08/02/2019	1	320	200	120
09/02/2019	1	200	0	200
10/02/2019	1	1100	1050	50
11/02/2019	1	1050	1000	50
12/02/2019	1	1000	950	50
13/02/2019	1	950	900	50

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la siguiente tabla se muestran los costos del cilindro de etileno, para la planta objeto de estudio.

Tabla XII. **Costos de cilindro de etileno**

Cantidad	Fecha de compra	Capacidad de cilindro	Costo del cilindro	Costo por Psi
1	01/02/2019	1100	Q 1565,00	Q 1,42
2	10/02/2019	1100	Q 1410,00	Q 1,28

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.3. Porcentajes de CO₂ dentro de las cámaras de maduración

Como se mencionó anteriormente, en la planta objeto de estudio, no se cuenta con un sistema de control de aire fresco. Por tanto, con la propuesta de un sistema de maduración, se podrán controlar los niveles de CO₂, ya que el proceso actualmente se realiza manualmente, se deja la puerta abierta dos veces al día y se estima hasta que la cámara ya no tenga CO₂.

Es de suma relevancia mencionar que la acumulación de CO₂ causa la pérdida del color verde del fruto, en la cual sería visible la decoloración y deterioro interno, por la acumulación de este gas en la atmósfera de almacenamiento; también produce mal sabor y depresiones superficiales en la cáscara.

3.3.4. Control de las variaciones de temperatura

El control de las variaciones de temperatura es imprescindible, porque la temperatura influye directamente sobre la respiración del fruto y sobre su maduración, lo que genera una mayor cantidad de calor en su atmósfera. De esta manera, se puede mantener baja la temperatura, si se quisiera prolongar su vida anaquel, por ende, evitar su maduración, y con una mayor temperatura se puede acelerar esta.

También la influencia que ejerce la temperatura sobre la respiración podría causar daño al producto mismo, por lo que, sí el producto se mantiene a una temperatura superior a los 22 °C, el aguacate inicia el proceso de pudrición, porque la temperatura no es la adecuada, y es imprescindible evitar que llegue a hasta 40 °C. Cabe mencionar que el daño generado por la elevada

temperatura se identificará a través del sabor alcohólico desagradable; estos son algunos de los detalles más comunes de reacciones de fermentación y degradación de la textura del tejido del fruto. También ocurre cuando el producto se almacena amontonado, sin control de temperaturas.

En la siguiente tabla, se especifica el control de las variaciones de temperatura, especificando la fecha, la hora, el lote, y las indicaciones de temperatura en Celsius y la humedad relativa, adecuadas para el proceso de maduración en los cuartos fríos de la planta objeto de estudio.

Tabla XIII. Control de las variaciones de temperatura

Fecha	Hora	Lote	Cuarto de maduración	Temperatura (Celcius)	Húmedad relativa (%)
01/02/2019	07:15	16	1	18,3	85
01/02/2019	09:26	16	1	19,5	88
01/02/2019	11:00	16	1	20,4	90
01/02/2019	13:45	16	1	19,2	82
01/02/2019	15:10	16	1	17,6	80
01/02/2019	17:22	16	1	21,4	83
01/02/2019	19:33	16	1	22,0	82
01/02/2019	21:44	16	1	19,4	80
01/02/2019	23:10	16	1	18,00	81
02/02/2019	01:33	16	1	19,8	85
02/02/2019	03:45	16	1	22,1	88
02/02/2019	05:15	16	1	19,5	89
02/02/2019	07:55	16	1	19,9	91

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.3.5. Relación de la materia seca con el ciclo de maduración

La determinación de materia seca, utilizada como alternativa a la determinación del ciclo de madurez, es un proceso confiable, reproducible, de costo bajo y de fácil aplicación; presenta la ventaja de que él mismo ha sido utilizado con éxito en las condiciones climáticas y procesos de maduración del aguacate.

La relación de la materia seca con el ciclo de maduración, cuando es mayor a 22 %, indica que la fruta ya está en el punto de ser cosechada; sin embargo, si pasa mucho tiempo en el árbol, la materia seca se sigue incrementando, a tal punto que podría llegar a tener hasta 30 o más; al comparar entre la de 22 % y la de 30 %, la más alta tiende a madurar más rápido que la otra, por lo que es recomendado realizar el análisis de materia seca a cada lote, ya que cada uno deberá tener variación en sus parámetros cuando entren al cuarto.

3.4. Análisis de los sistemas de acondicionamiento de aire

La instalación del sistema de acondicionamiento de aire tendrá, entre sus finalidades, asegurar un flujo constante de renovaciones de aire en el ambiente. Además, de ser el encargado de direccionar el comportamiento del aire dentro del cuarto.

En el siguiente apartado, se presenta la propuesta del sistema de acondicionamiento de aire, desde la descripción de las tuberías, los ventiladores, la descripción de las bombas, los compresores y condensadores, del acondicionamiento de aire de la planta procesadora de aguacate objeto de estudio.

3.4.1. Tuberías

La tubería requerida es galvanizada Hg, para transportar el etileno, ya que es resistente a la corrosión, no soportará una alta presión de trabajo y cumplirá las especificaciones, según las normas de la *American Society for Testing and Materials* –ASTM-. Para el funcionamiento de los cuartos de maduración, será indispensable la instalación de las siguientes tuberías:

Figura 19. **Tubería galvanizada Hg**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

- Tubería PVC
 - Presión de trabajo psi: 225
 - Dimensiones: 1 1/2 pulgadas
 - Uso: aplicación de agua al sistema cuando se requiera una atmósfera de humedad relativa.

Figura 20. **Tubería PVC**



Fuente: Google/imágenes.com. *tubería de PVC*. <https://sp.depositphotos.com/23554207/stock-photo-pvc-pipes-stacked-in-construction.html>. consulta: mayo 2019.

3.4.2. Ventiladores

Los ventiladores en el sistema de acondicionamiento de aire harán pasar el aire a través del serpentín, a través del agua que se está rociando sobre el serpentín metálico y sobre la que pasa sobre el serpentín. El calor del refrigerante es transmitido desde el serpentín metálico al agua que pasa sobre el serpentín. El aire remueve el calor del agua evaporando una porción de esta. Además, los eliminadores evitan que las gotitas de agua sean sacadas por el aire.

Es imprescindible que, en la circulación de aire, el ventilador sea capaz de:

- Hacer circular la cantidad suficiente de aire para eliminar el calor del producto.
- Distribuir el aire a una velocidad adecuada por el recinto o el espacio acondicionado.
- Asegurar que no haya zonas muertas.

Por otra parte, también se deben verificar los ventiladores encargados de la inyección de aire fresco y la extracción del CO₂ dentro de las cámaras. Los ventiladores que se utilizarán para las renovaciones de aire dentro de las cámaras de maduración son las siguientes:

- Ventiladores
 - Tipo: Ventilador axial DC.
 - Dimensiones mm: 120 * 12.
 - Rpm: 3 500.

- Uso: renovaciones de aire dentro de los cuartos de maduración.

Figura 21. **Ventilador de inyección de aire fresco y extracción de CO₂**



Fuente: Google/imágenes.com. *Extractores de aire*. <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/guias-de-compra/Como-elegir-extractores-de-aire>. Consulta: mayo 2019.

3.4.3. Bombas

Se requiere una de tipo centrífuga para agua, la cual tendrá un diferencial de presión que se colocará entre la descarga y succión. En la descarga, se colocará un manómetro de presión, para conocer la presión del sistema.

Cabe agregar que la potencia consumida de una bomba es siempre mayor que la potencia entregada, debido a la fricción y a otras pérdidas inevitables, no se aconseja que trabaje cerca de su capacidad máxima, aun cuando esto conlleve elegir una más pequeña. Será utilizada para la distribución de agua en toda la planta, asimismo, para la generación de la atmósfera de humedad relativa deseada. Las descripciones son:

- Tipo: bomba centrífuga para agua.
- Rpm: 3 400
- Capacidad hp: 15
- Voltaje: Trifásico 230
- Presión de trabajo psi: 200
- Uso: creación atmósfera de humedad relativa

Figura 22. **Bomba**



Fuente: Google/imágenes.com. *Bomba periférica*. <https://www.homedepot.com.mx/plomeria/bombas-y-equipo-hidroneumatico/bombas/bomba-periferica-05-hp-323863>.
consulta: mayo 2019.

3.4.4. **Compresores**

La capacidad deberá ser la apropiada para que extraiga del evaporador la cantidad de refrigerante que se evaporó en él y en el elemento de expansión para efectuar el trabajo necesario. Deberá ser capaz de extraer y mandar al condensador el mismo peso de vapor de refrigerante, para que se pueda condensar de nuevo al estado líquido y así pueda continuar en el circuito o ciclo de refrigeración, para llevar a cabo más trabajo. Cabe mencionar que sí el compresor, debido a su diseño o velocidad, no puede sacar este peso, algo del vapor quedará en el evaporador.

Este, a su vez, originará un aumento de temperatura y una disminución del trabajo efectuado por el sistema de acondicionamiento de aire, y no se mantendrán las condiciones de diseño en el espacio refrigerado.

Si el compresor es demasiado grande, extraerá el refrigerante del evaporador de modo muy rápido, originando una disminución de la temperatura en el interior del evaporador y, entonces, no se mantendrán tampoco en este caso las condiciones de diseño.

Generalmente, para mantener las condiciones de diseño en un circuito de refrigeración, cuentan con un equilibrio entre las necesidades del serpentín evaporador y el compresor. De igual forma, el desplazamiento medido depende del número de cilindros, diámetro y carrera, también de la velocidad a la que gira el compresor. La eficiencia volumétrica depende de las presiones absolutas de succión y descarga bajo las que opera el compresor.

El compresor tiene dos funciones principales en el ciclo:

- Recibir o eliminar el vapor de refrigerante del evaporador, de modo que se puedan mantener en la temperatura y en la presión deseadas.
- Aumentar la presión del vapor de refrigerante mediante el proceso de compresión y, en forma simultánea, aumentar la temperatura del vapor para que ceda su calor al medio de enfriamiento del condensado.

3.4.5. Condensadores

Son esenciales, ya que removerán el sobrecalentamiento del refrigerante producido por el compresor, y así licuará el refrigerante para otro ciclo a través

del sistema. Por lo tanto, toda energía absorbida por el sistema de acondicionamiento de aire, más el calor equivalente de la energía mecánica requerida, hará funcionar el sistema.

La unidad condensadora es el punto final que evacúa el calor del sistema de acondicionamiento de aire, con el fin de mantener un rango de temperatura, en el cuarto con un grado alto de carga térmica.

3.5. Control durante el proceso de maduración

El control durante el proceso de maduración, se puede medir en función de la firmeza de su pulpa, que es una de las técnicas más utilizadas en el control de la maduración de frutos en general. El control se trata de una técnica muy sencilla, cuyos resultados se obtienen en cuestión de segundos. El instrumento que se usa para aplicar esta técnica, es el penetrómetro, esta es una herramienta de tamaño reducido, que permite hacer mediciones en campo con suma facilidad.

Figura 23. **Penetrómetro**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

La figura anterior muestra un penetrómetro profesional; es un medidor de dureza para el control de la madurez de la fruta. Este instrumento proporciona un índice para la determinación de la etapa en el ciclo de maduración que se encuentra el fruto.

El penetrómetro es el método para cuantificar el grado de maduración, da el valor de presión que tiene el fruto; por ejemplo: en el grado de maduración inicial, es decir, de grado 1, la presión es la más alta; esta tendrá que ser superior a 30 psi, y paulatinamente irá disminuyendo a medida que el grado de maduración aumentará hasta llegar 5, el cual es el óptimo para que la materia prima pueda ser procesada.

Tabla XIV. **Control de maduración lote 016**

FECHA	23/01/2018	24/01/2018	25/01/2018
Tarima	Presion psi	Presion psi	Presion psi
1	35,00	34,00	33,00
2	32,00	32,00	30,00
3	37,00	36,00	34,00
4	38,00	35,00	34,00
5	36,00	34,00	33,00
6	34,00	33,00	32,00
7	35,00	34,00	34,00
8	35,00	35,00	32,00
9	36,00	36,00	34,00
Total	35,33	34,33	32,89

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.6. Determinación de las condiciones de salida del aguacate luego del proceso de maduración

Las condiciones de salida del aguacate, luego del proceso de maduración, se manifiestan a través de la pérdida de peso y deshidratación durante el almacenamiento y la maduración; estos aspectos determinan la vida útil y calidad del aguacate maduro. Por lo tanto, se espera un efecto significativo, de la pérdida de peso del aguacate en refrigeración y maduración, ya que a medida que incrementan los días de almacenamiento, aumenta la pérdida de peso. En la siguiente tabla, se detallan las características del lote pre y posmaduración, y cuanto en realidad ingresa al proceso en la planta objeto de estudio.

Tabla XV. **Proceso de maduración**

Cuarto de maduración 2	Fecha	23/01/2019	Fecha	08/02/2018	
Tarima	Peso neto ante de maduración		Peso neto después de maduración		% de merma por deshidratación
	Peso en Libras	Presión en psi	Peso en Libras	Presión en psi	
1	1995	35	1811	10	9
2	2033	32	1853	8	9
3	2050	37	1890	6	8
4	2027	38	1835	15	9
5	2025	36	1844	12	9
6	1579	34	1473	6	7
7	1547	35	1442	5	7
8	1554	35	1402	3	10
9	382	36	332	6	13
Total	15192		13882		8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la tabla anterior, puede observarse que, durante el proceso de maduración del lote, se evidencia la pérdida de peso que sufre el aguacate durante su proceso de maduración, dadas sus características de fruto climatérico; por lo que, la tasa de respiración aumenta a medida que aumenta su concentración de etileno en el ambiente. En la siguiente tabla, se muestra la hoja de evaluación de proceso de maduración del aguacate para la planta procesadora objeto de estudio.

Tabla XVI. **Evaluación de proceso de maduración**

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES							
EVALUACIÓN DE PROCESO DE MADURACIÓN							
Cuarto de maduración	1	Fecha		Fecha		No. De Lote	
Tarima	Cajas por tarima	Peso neto antes de maduración		Peso neto después de maduración		% De pérdida peso por deshidratación	Aguacate Ingresado a proceso KG
		Kilos	Presion psi	Kilos	Presion psi		
Total							
Observaciones generales:							

Recibo:		_____		_____			
Vo. Bo.		_____		_____			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.7. Rendimiento de pulpa

El rendimiento de la pulpa es el principal indicador de la transformación primaria de las frutas; es imprescindible mencionar que varía en función de las condiciones de madurez; la relación pulpa aumenta en respuesta a la maduración y obedece a cambios diferenciales en el contenido de humedad de la cáscara y de la pulpa.

3.7.1. Porcentaje de aceptación de aguacate con respecto al lote de ingreso

El proceso de rendimiento de pulpa es cuánta pulpa efectiva se tuvo en función del peso de fruta de ingreso a proceso vs producto terminado; es decir, cuánta pulpa neta fue utilizada; el resto de peso que no fue utilizado es por la merma que se incluye en el peso de la semilla de aguacate, la cáscara, y el aguacate tipo “amarrado”, es decir la pulpa que no se desprende.

En el anterior aspecto, es donde se refleja la necesidad de un sistema de homogenización del proceso de maduración, para que se logre elevar el porcentaje de aprovechamiento de pulpa. Por lo tanto, en la siguiente tabla se muestra el porcentaje requerido de aceptación de aguacate del lote 016 de la planta objeto de estudio.

Tabla XVII. **Porcentaje de aceptación del lote**

Fecha	08/02/2018
Materia prima a procesar kg	6297,08
Hora inicio proceso	7:00
Hora Fin proceso	23:00
Producto terminado kg	2645,00
Aprovechamiento de pulpa	42%

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.8. Costos

Para la propuesta de mejora del control de maduración de aguacate en planta procesadora objeto de estudio, la determinación y el reconocimiento de la problemática del desperdicio de fruto es el primer paso para plantear como solución el uso del sistema. Mediante el acondicionamiento de aire se logrará obtener un mejor manejo de los frutos de aguacate, un adecuado tiempo de conservación y menores pérdidas, tanto para productores como para comerciantes.

El costo de la implementación podría ser, en primera instancia, relativamente costoso; sin embargo, a través de estos, se optimizará el proceso y aumentarán las ganancias. Al considerar los factores que conllevarán en el valor final del producto, en el siguiente apartado se muestra el costo aproximado de la propuesta.

3.8.1. Método de costeo actual

Dentro de las formas para ver una mejora o justificación para el presente proyecto, es enfocarse en la reducción de los costos que sean más representativos. En este caso, se hará el análisis de los costos energéticos, depreciaciones, material de empaque y mano de obra, de los cuales ninguno tiene un costo representativo.

No obstante, el rubro de materia prima, el cual es muy alto en comparación con los otros, es la principal justificación para la instalación de un control en el aprovechamiento de materia prima; por ende, se reducirá la merma y mejorará la rentabilidad de la planta objeto de estudio. En la siguiente tabla, se presenta la descripción de costos de producción de un contenedor:

Tabla XVIII. Costo de producción un contenedor

Costos	Total
Energía eléctrica	2,61 %
Depreciaciones	1,22 %
Materiales de empaque	5,21 %
Materia prima	82,28 %
Mano de obra	8,69 %
COSTO TOTAL DEL CONTENEDOR	100,00 %
Materia Prima a proceso kg	49500,00
RENDIMIENTO DE PULPA	0,42
Producto terminado kg	20790,00
Productividad	0,32
Merma kg	28710,00
COSTO DE MERMA	50,87 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.8.2. Análisis costo-beneficio del proceso

La relación costo-beneficio del proceso del sistema de acondicionamiento de aire para la planta procesadora de aguacate consistirá en medir cuál es el costo de oportunidad que se está teniendo al no tener instalado un sistema de maduración.

Por lo tanto, el análisis costo-beneficio se plantea de la siguiente manera: se presenta en una tabla, un escenario con un 42 % de eficiencia, una media que se tiene en este punto la empresa. Se tienen todos los datos calculados con ese % de eficiencia y se refleja el comportamiento del costo de la merma. Todo esto está comparado vs un escenario con un 5 % de eficiencia adicional, que es lo mínimo que se espera con la instalación del sistema de control en los cuartos de maduración.

Tabla XIX. **Costo de producción de un contenedor sin y con control de maduración**

	SIN CONTROL DE MADURACION	CON CONTROL DE MADURACION
Costos		
Energía eléctrica	2,29 %	2,29 %
Depreciaciones	1,07 %	1,07 %
Materiales de empaque	4,58 %	4,58 %
Materia prima	84,42 %	84,42 %
Mano de obra	7,64 %	7,64 %
COSTO TOTAL DEL CONTENEDOR	100,00 %	100,00 %
Materia Prima a proceso kg	49500,00	49500,00
RENDIMIENTO DE PULPA	0,42	0,47
Producto terminado kg	20790,00	23265,00
Productividad	0,32	0,36
Merma kg	28710,00	26235,00
COSTO DE MERMA	44,73 %	40,88 %
COSTO DE OPORTUNIDAD	4,57 %	
Beneficio del proyecto por temporada	11,28 %	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Claramente se observa que por contenedor se tiene un aprovechamiento de aproximadamente 2 500 kg con la misma cantidad de materia prima, mismos costos por contenedor. Además, se puede percibir un crecimiento en la productividad ya que se obtiene más producto terminado con la misma cantidad de materia prima de ingreso al proceso. Ambos escenarios presentados están planteados del mismo modo, con los mismos costos, incluso hasta con el mismo costo por kg de adquisición de materia prima, únicamente varía el % de aprovechamiento de pulpa.

Puede observarse el costo de oportunidad por contenedor que se está “perdiendo” por no tener un sistema eficiente en la maduración. Se tiene el costo del proyecto y también la cantidad de contenedores que se deben despachar para el retorno de la inversión, e iniciar a ver las “ganancias” al tener un mejor sistema de maduración de aguacates. Asimismo, puede observarse la ganancia que se tendría al final de la temporada obtendría al final de la temporada al invertir en el proyecto.

En la siguiente tabla, se muestra el costo total de la propuesta de un sistema de acondicionamiento de aire para la planta procesadora de aguacates, objeto de estudio, que reflejan un costo de oportunidad del \$ 2524,50 por contenedor. El costo del proyecto en total será de \$ 75 000,00, la cantidad de contenedores retorno 30, los contenedores proyectados por temporada serán de 40 y el beneficio del proyecto por temporada será de \$ 25 980,00.

Tabla XX. Costo total del proceso

Costo de oportunidad	\$ 25 24,50
Costo del proyecto	\$ 75 000,00
Cantidad de contenedores retorno	30
Contenedores proyectados por temporada	40
Beneficio del proyecto por temporada	\$ 25 980,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para finalizar con la presentación de la propuesta de mejora del control de maduración de aguacate en la planta, es importante identificar el antes de la propuesta y el después, por lo mismo en la siguiente tabla se especifica la diferencia de cada etapa según el método propuesto del proceso de maduración.

Tabla XXI. **Cantidad recibida vs. cantidad entregada con la implementación del control de maduración**

	Sin control de maduración	Con control de maduración
Materia prima kg	49 500	49 500
Producto terminado kg	20 790	25740
Merma kg	28 710	23 760

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORA DEL CONTROL DE MADURACIÓN DE AGUACATE

4.1. Muestreo y estandarización de tiempos en las estaciones de trabajo

El muestreo y estandarización de tiempos “es un procedimiento por medio del cual se toman los tiempos de cada operación y se determina el tiempo estándar de dichas operaciones. Los tiempos estándar se derivarán ya sea de datos de cronómetros o de datos predeterminados”.⁷

La implementación de la propuesta de mejora del control de maduración de aguacate engloba la etapa de muestreo y estandarización de tiempos en las estaciones de trabajo. Durante este proceso, se realizará un análisis de todas las operaciones. De igual forma, se efectuará un muestreo centrado en la observación de cada uno de los procesos. Además, se determinarán los tiempos optimista, pesimista y estándar en la planta, a través de mediciones reales de tiempo que se efectuarán durante un día aleatorio de producción en la presentación de 1 kg de guacamol una vez implementada la propuesta.

4.2. Rediseño del sistema de acondicionamiento de aire dentro de las cámaras de maduración

El rediseño del sistema de acondicionamiento de aire dentro de las cámaras de maduración se propone debido a que los cuartos de maduración ya

⁷ GUTIÉRREZ, Mario. *Administrar para la calidad: conceptos administrativos del control total de la calidad*. p. 26.

tenían un diseño previo, el cual se especificó en la figura 16 del capítulo 2 de la presente tesis.

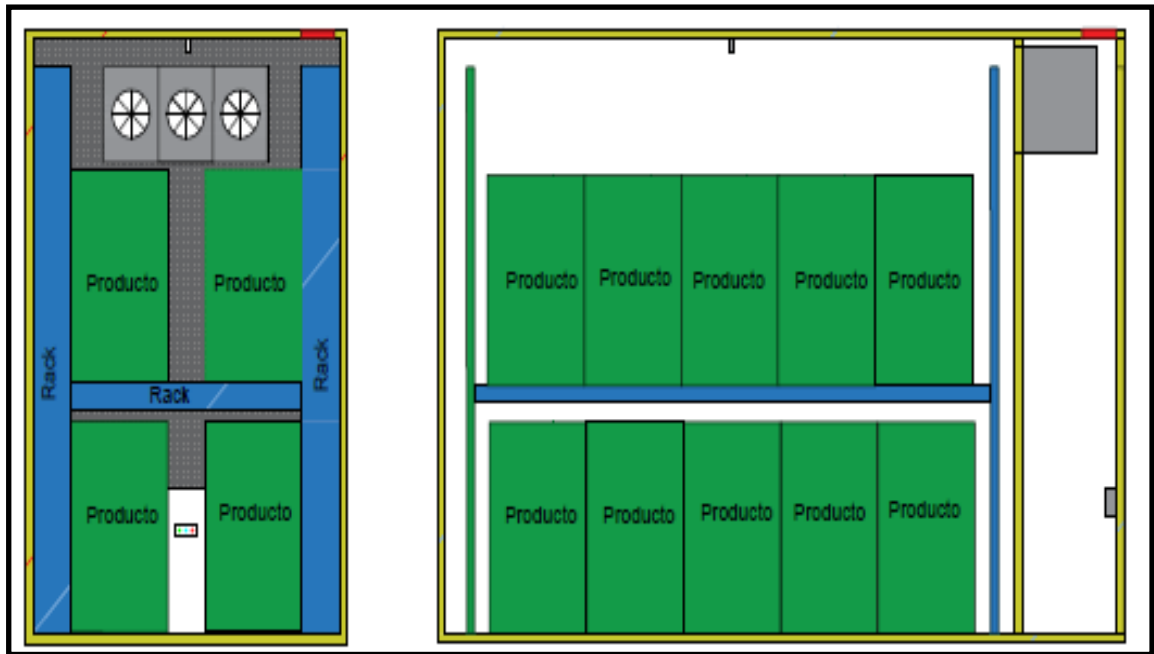
El criterio de decisión para el rediseño son los estudios previos realizados en planta. Estudios donde se determinaron los parámetros que se deben controlar para garantizar una maduración uniforme en un lote de aguacate fresco; pruebas realizadas a escala en un cubo en donde se controlaron los parámetros de humedad relativa; flujo de aire y dosificaciones de etileno controladas, con lo que se concluyó que eran las variables ideales, por lo que el proyecto se enfocó en el mejoramiento y control de dichas variables.

Por lo tanto, en el rediseño del sistema de acondicionamiento de aire dentro de las cámaras de maduración, se realizarán cambios de infraestructura de los cuartos de maduración; se incorporarán nuevas unidades como la estructura metálica, con el objetivo de aprovechar el espacio aéreo dentro de los cuartos de maduración, la cual representa aumento en la capacidad del proceso.

Cabe mencionar que, en el diseño anterior de los cuartos de maduración de la planta, según registros, se estaba madurando un máximo de 228 qq; no obstante, con la implementación de los *racks*, incorporados para utilizar el espacio aéreo, evidentemente aumenta la capacidad en un 66 % por cuarto de maduración.

El sistema de acondicionamiento de aire de maduración propuesto incluye una pantalla táctil, la cual, a través de un controlador lógico programable PLC, modera los parámetros necesarios. El sistema propuesto está incorporado con sensores para detectar parámetros de temperatura, humedad relativa, dióxido de carbono y etileno.

Figura 24. Cuartos de maduración



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.2.1. Definición del tipo de sistema

Tal y como se mencionó en el subtítulo anterior, el sistema se eligió con base en pruebas realizadas a escala. El tipo de sistema elegido se detalla en este inciso paso por paso, para que se logre comprender cuál es la función de los sistemas de atmósfera controlada y el porqué, a nivel científico, es una mejor alternativa, cuáles son las funciones del cuarto automatizado y las variables que este debe controlar y cómo estas van a mejorar el proceso de maduración.

Se ejemplifica mediante gráficos la simulación de dosificación de gases y el funcionamiento a nivel gráfico del flujo de aire dentro de las cámaras de

maduración, posicionamiento de equipos y parámetros estandarizados para el mejoramiento de la eficiencia.

Para la descripción exacta del sistema de acondicionamiento de aire, es preciso describir la diferencia entre la atmósfera controlada y atmósfera modificada. De esta manera, se comprende que la atmósfera controlada reside en el almacenaje de productos hortofrutícolas en las cámaras de refrigeración herméticas. En este proceso, es sustituida la atmósfera inicial por la atmósfera pobre en oxígeno (O₂), rica en dióxido de carbono (CO₂). Las cuales son atmósferas rigurosamente controladas, mientras el producto este almacenado.

La composición de la atmósfera se ajusta conforme los requerimientos del aguacate. El ajuste mencionado es alcanzado a través de absorbedores de CO₂, en este caso, un sistema de renovaciones de aire y dosificación de etileno. Cabe agregar que, dentro de la cámara con el sistema propuesto, se controla la temperatura, la humedad relativa y la circulación del aire.

La atmósfera controlada es exitosa al ser combinada con la refrigeración y variaciones de temperaturas, con el cuarto en funcionamiento para el proceso de estabilización y maduración. Además, para cambiar la atmósfera normal, se empleará básicamente la mezcla de tres gases O₂, CO₂ y N. El nitrógeno (N) servirá para desplazar el O₂, de esa manera se protegerá el aguacate de la oxidación y disminuirá el crecimiento de microorganismos. De igual manera, se utilizará para mantener en equilibrio la atmósfera en la cámara, en el proceso de maduración.

El CO₂ elevado disminuirá la respiración e inhibirá la acción del etileno; estimulará a los tejidos del fruto a entrar a una etapa de dormición, lo que

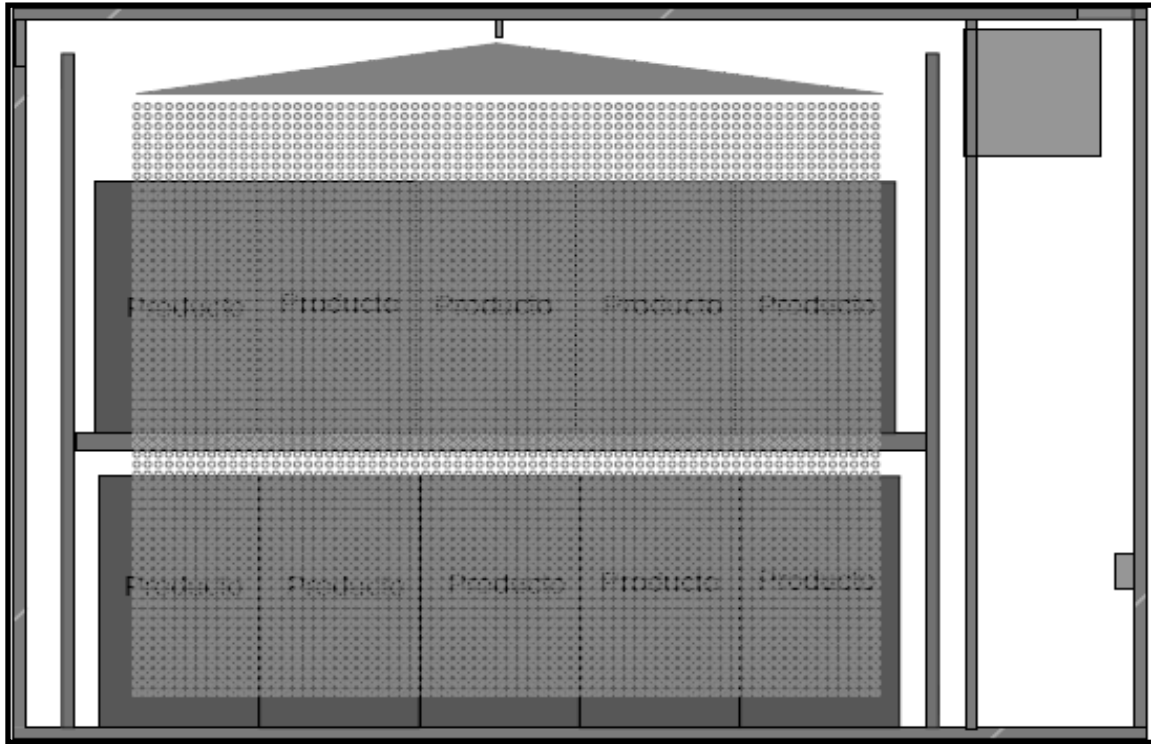
provoca una irregularidad en la maduración. Desde otra perspectiva, el CO₂ en elevadas concentraciones impide la actividad de los microorganismos.

Por lo tanto, existen diferentes sistemas de acondicionamiento de aire, y su implementación dependerá del motivo de uso. El sistema de atmósfera a instalar funcionará de la siguiente forma, partiendo del instante en que, la materia prima ingresa a los cuartos de maduración.

- El cuarto será seteado a 5,0 °C, para estabilizar todo el lote de aguacate.
- El nuevo sistema, por ser de temperatura media, tendrá la capacidad de variar su temperatura de (3 a 25) °C.
- En el instante que la temperatura de pulpa de todo el lote de aguacate sea la misma, se seteará el cuarto a 20 °C. Todo esto se hará a través del panel de control del cuarto de maduración.
- Funcionará para incentivar la maduración del aguacate, se dosificará paulatinamente 150 - 200 ppm de etileno. Es preciso mencionar que el sensor de etileno es el que regulará la cantidad de este, necesaria para el cuarto de maduración y se programará automáticamente el tiempo de dosificación.

Por lo tanto, con la implementación de la atmósfera controlada, existe variación entre una atmósfera controlada y atmósfera modificada, así que la instalación del sistema es factible. En la siguiente figura, se muestra la simulación del funcionamiento del cuarto de maduración, en la dosificación de etileno.

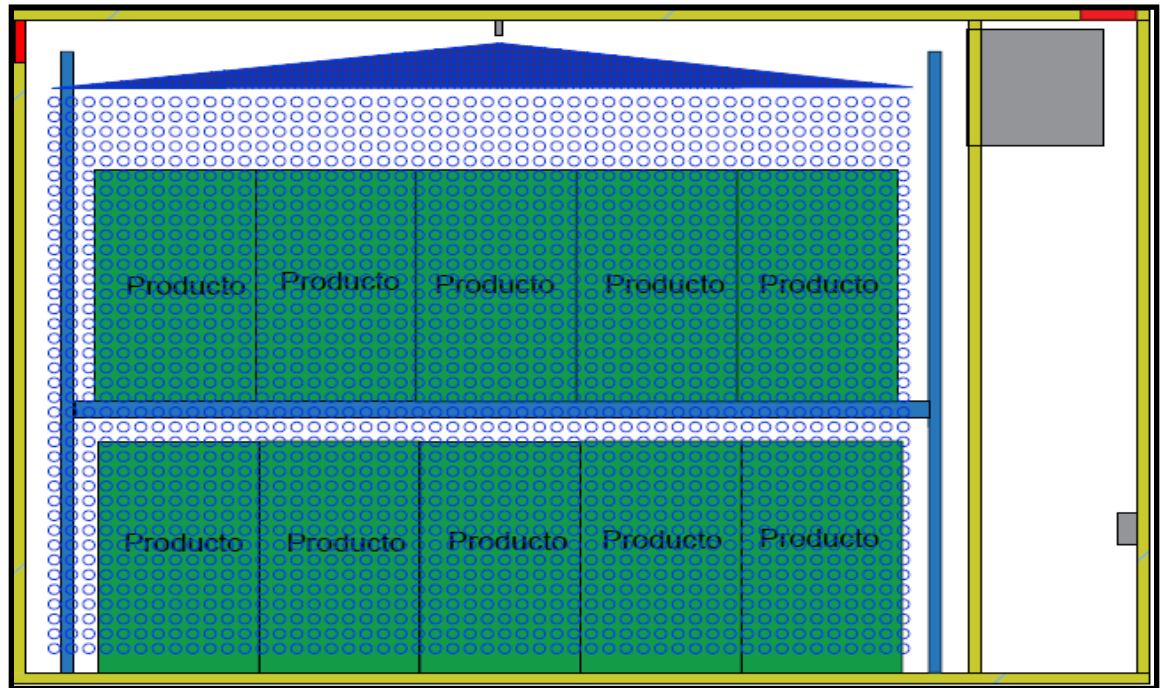
Figura 25. **Dosificación de etileno en el cuarto de maduración**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Con el sistema propuesto, para una óptima maduración del aguacate, deberá estar bajo condiciones ideales de humedad relativa, arriba del 90 %. El sistema de maduración funcionará por medio del sistema de sensores que se instalará y medirá la humedad relativa del ambiente. Esta atmósfera se creará por medio de un pulverizador, que creará una “niebla” de agua, dando condiciones climáticas requeridas para que el lote de aguacate madure de forma uniforme. En la siguiente imagen, se puede visualizar la humedad relativa en el cuarto de maduración con el sistema propuesto.

Figura 26. **Humedad relativa**



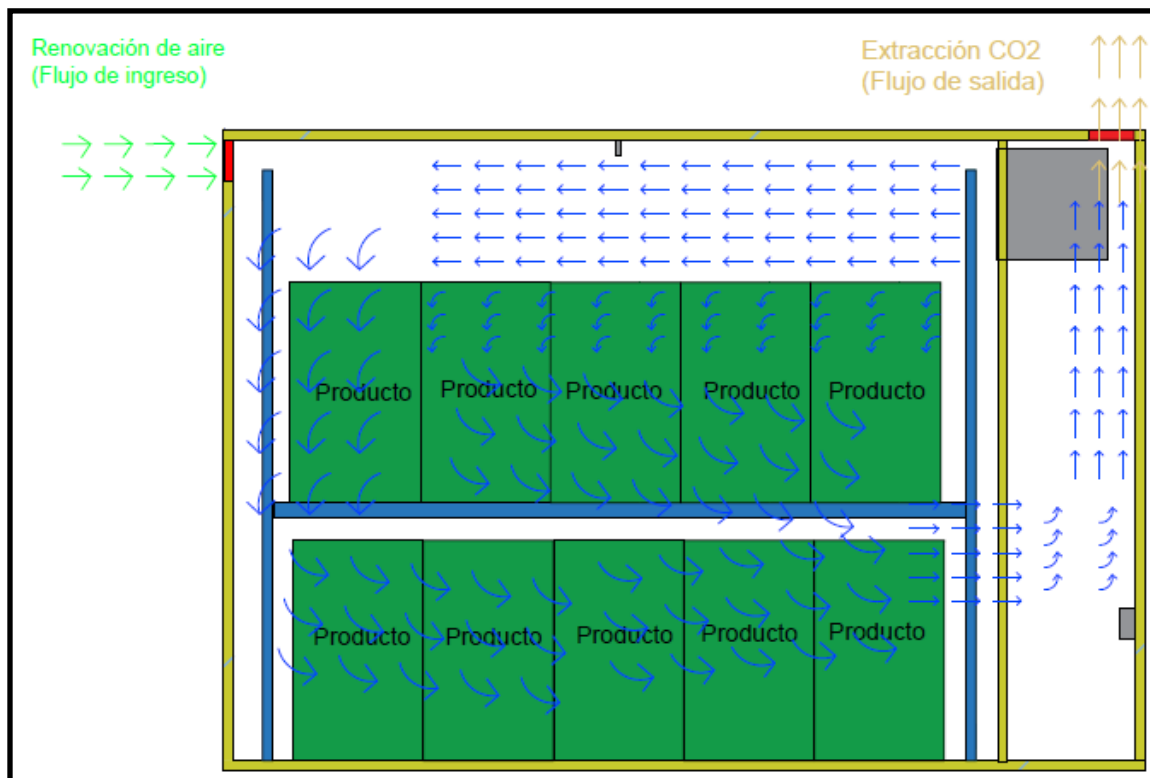
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Es preciso agregar que a los 15°C naturalmente el aguacate empezará a liberar etileno, lo que genera un aumento en la temperatura y crecimiento en la tasa de respiración del aguacate; en otras palabras, aumentará el CO₂. En el sistema, se encuentra un sensor que mide este parámetro, por lo mismo, este puede ser regulado.

Por lo tanto, para evitar que se concentre demasiado el CO₂, se utilizará el sistema de renovaciones de aire; este usa un sistema de inyección de aire del ambiente, es decir, aire fresco, este inyector se ubicará en la parte frontal del cuarto de maduración, y el sistema de extracción de aire estará ubicado en la parte superior del cuarto en mención.

En la siguiente imagen, se muestra la simulación del comportamiento del aire en las cámaras de maduración, se puede observar donde ingresa y donde extrae el aire para liberar el cuarto de CO2.

Figura 27. **Renovaciones de aire**



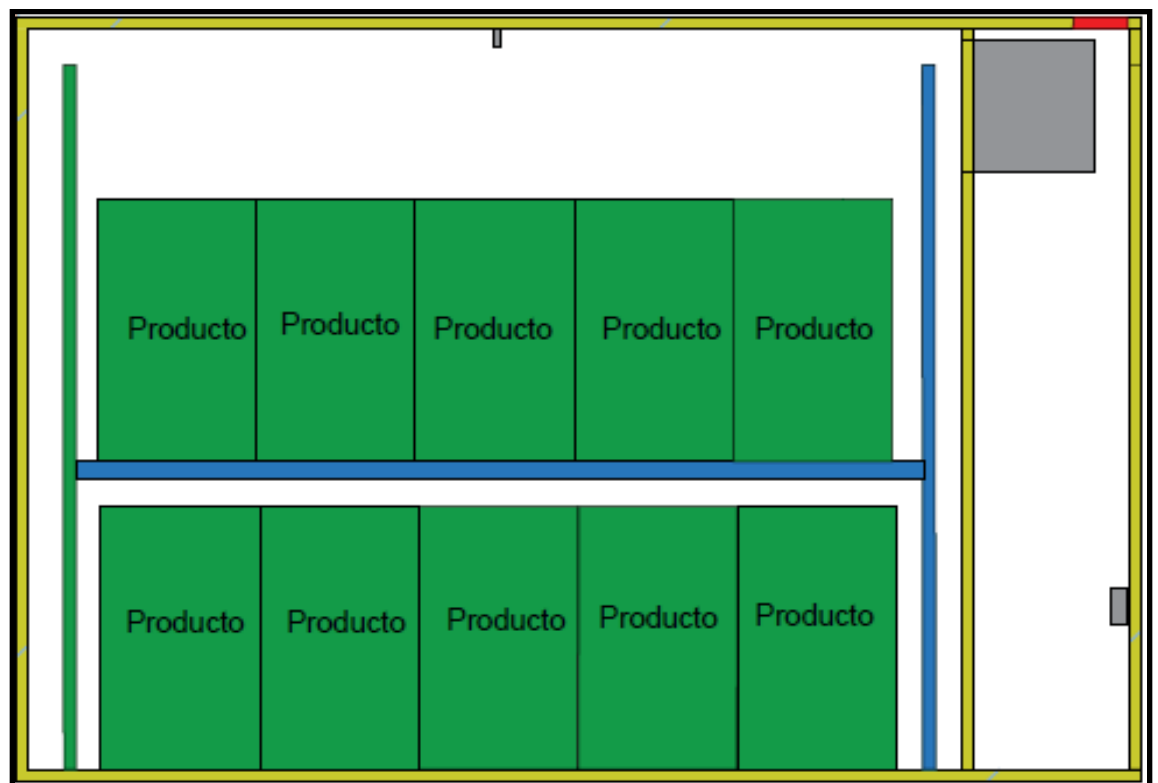
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El funcionamiento del sistema propuesto para la maduración de aguacate radicará en una constante variación de los parámetros necesarios. Es imprescindible recordar que el sistema es automático, por lo que pueden dejar programados los sensores para detectar concentraciones de gases en el ambiente y temperaturas.

4.2.2. Ubicaciones de los equipos y ductería

En la ubicación de los equipos y ductería, es imprescindible el previo análisis para que estos estén en el sitio adecuado, para el eficiente proceso de maduración. En la siguiente imagen, se muestra la ubicación de los equipos en el cuarto de maduración de la planta objeto de estudio, desde una perspectiva interna.

Figura 28. Ubicación de equipos vista interna

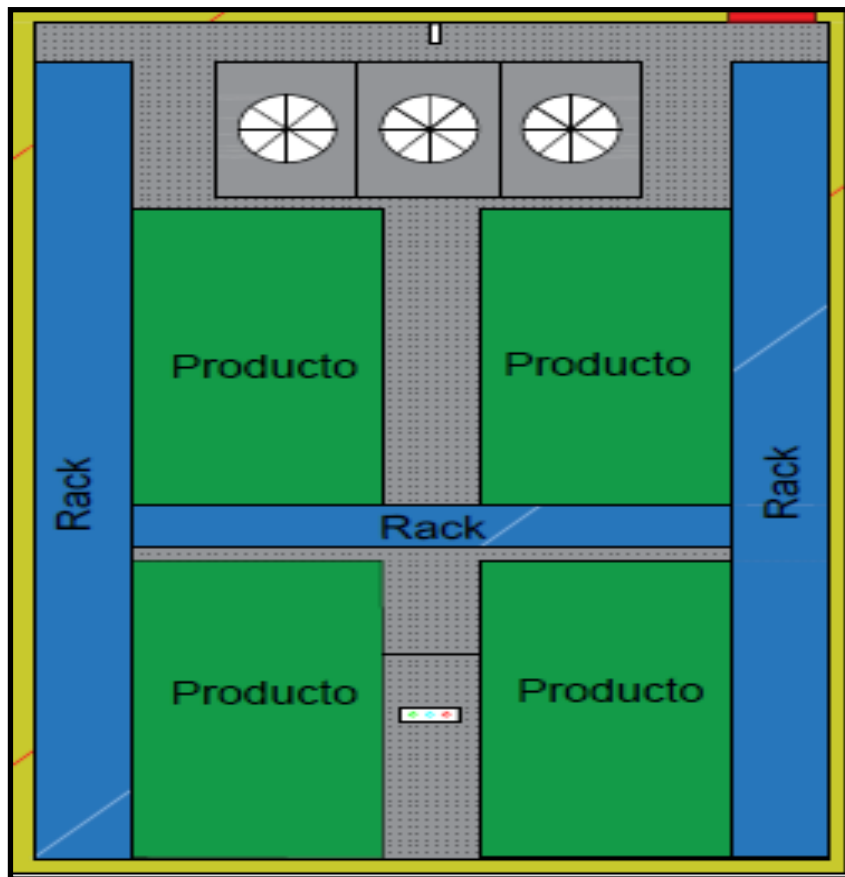


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La correcta ubicación de los equipos y ductería, garantizará el exitoso proceso de maduración del aguacate, con el sistema propuesto. En la siguiente

imagen, se muestra el plano desde una vista exterior de los cuartos de maduración de la planta procesadora de aguacates

Figura 29. **Ubicación de equipos vista exterior**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.2.3. **Equipo**

Es el equipo que conformará el sistema de maduración, responsable del correcto funcionamiento del cuarto de maduración para la planta procesadora; el panel de control, el evaporador, los sensores y los ventiladores.

Tabla XXII. **Sistema de maduración de aguacates**

Equipo	Característica/componentes	Función
Panel de control	PLC , Pantalla táctil, tablero de potencia	Comunicación a través del PLC para lectura de señales de sensores y control de parámetros
Evaporador	Capacidad BTU: 190000	Renovaciones de aire por minuto durante el proceso de maduración, suministro de calor
Sensores	Medidores de temperatura, Dióxido de carbono, humedad relativa y etileno.	Medir los parámetros de maduración
Ventiladores	Ventilador axial	Inyección de aire fresco y extracción de CO ₂

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.3. Determinación de los factores ideales de maduración para la optimización del rendimiento de pulpa de aguacate

En la implementación de la propuesta de mejora de control de maduración para la planta procesadora de aguacate, la fase de determinación de los factores ideales de maduración, para la optimización del rendimiento de pulpa de aguacate, no puede ser uniforme ya que cada *batch* de aguacate fresco que ingresará poseerá diferentes características, no obstante, se establecieron ciertos parámetros, los cuales se denominan parámetros estandarizados para el proceso de maduración de aguacate.

Los factores ideales de maduración son: del dióxido de carbono (CO₂), la calibración ideal es que el sensor determine hasta una concentración de 8000 ppm; del etileno, la concentración es en un rango entre 150 - 200 ppm; de

humedad relativa ideal de atmósfera, es superior al 90 % y, por último, la temperatura ideal en el set del cuarto es de 20 grados Celsius, presentados en la siguiente tabla:

Tabla XXIII. **Factores ideales de maduración**

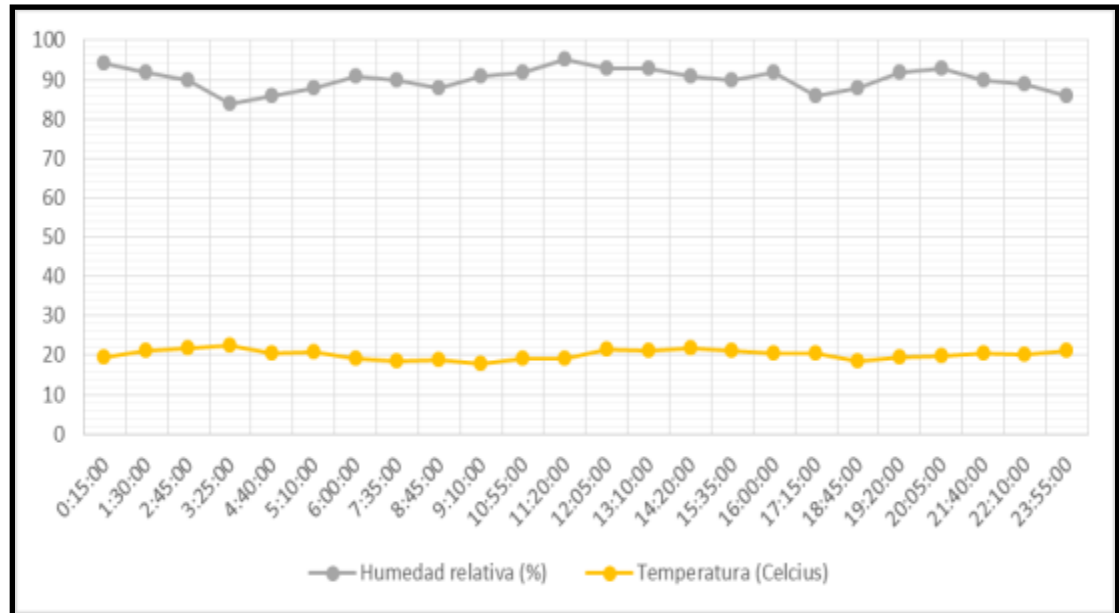
Parámetro	Calibración
Dióxido de Carbono	8000 ppm
Etileno	150 - 200 ppm
Humedad relativa	superior al 90%
Temperatura	20 grados Celcius

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.3.1. Mediciones periódicas de los parámetros de maduración

Para el éxito del proceso propuesto, son imprescindibles las mediciones periódicas de los parámetros de maduración; el monitoreo de los cuartos es esencial, por lo tanto, el sistema trabaja con un *software*, el cual permitirá visualizar gráficos en cualquier hora del día, porque realizará mediciones cada 5 minutos; estas son almacenadas en una base de datos, la cual se podrá consultar desde una aplicación en línea. En la siguiente imagen, se visualiza el gráfico de temperatura y humedad relativa.

Figura 30. Gráfico de temperatura y humedad relativa

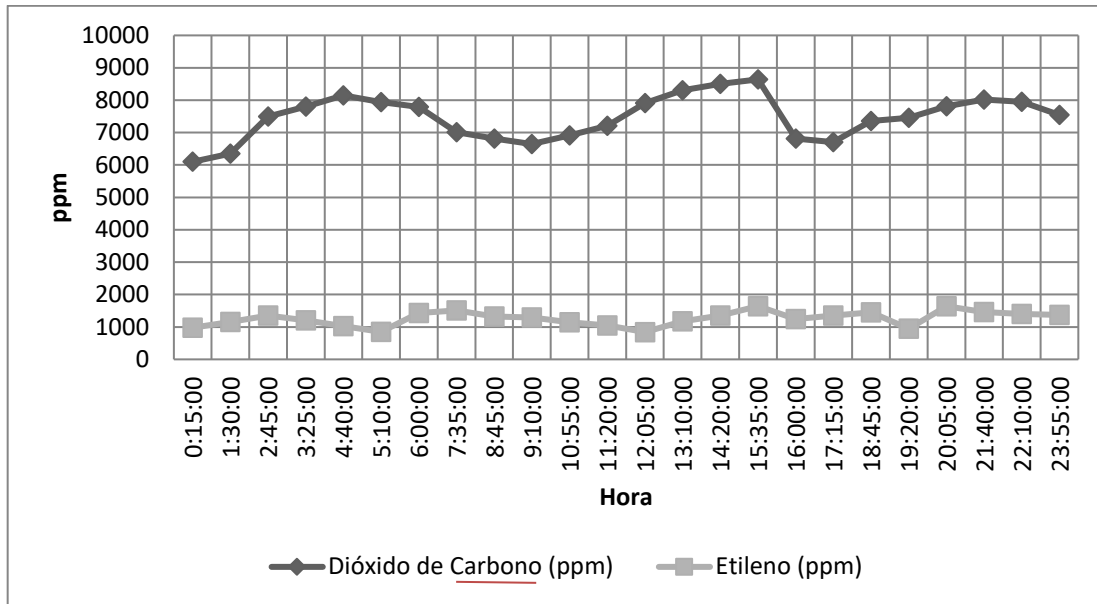


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El comportamiento del etileno, CO₂, temperatura y humedad relativa, se lograrán visualizar a través de una gráfica; será de gran ayuda porque, a través del análisis de estas, se podrán identificar y determinar posibles fallos en el equipo que podrían surgir durante el día.

Tal es el caso cuando un parámetro se salga del rango de control, el *software* automáticamente notificará vía correo electrónico o a través de un mensaje de texto, la anomalía que se está presentando en el cuarto de maduración; por lo mismo, es imprescindible para el equipo de mantenimiento contar con el sistema propuesto, no únicamente para identificar el problema, sino para estar informado en el instante exacto y encontrarle una solución con rapidez, para evitar paros en el sistema de maduración y prevenir desastres en el proceso.

Figura 31. Gráfico CO2 y etileno



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.4. Manejo de materia procesada

Para el correcto manejo de la materia procesada, será necesario comprender las generalidades más imprescindibles de los alimentos de esta clase, las cuales están en el CODEX para el aguacate y para el manejo de alimentos envasados, CODEX STAN 197-1995, centrados en el CODEX STAN 1-1985, que es la norma general para el etiquetado de alimentos preenvasados. En la siguiente tabla, se muestran las normas de manejo de materia procesada.

Tabla XXIV. **Normas de manejo de materia procesada**

Marcado o etiquetado
<p>Envases destinados al consumidor: además de los requisitos de la Norma General para el Etiquetado de Alimentos Pre envasados (CODEX STAN 1-1985), se aplicarán las siguientes disposiciones específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Naturaleza del producto, si el producto no es visible desde el exterior, cada envase deberá etiquetarse con el nombre del producto y, facultativamente, con el de la variedad.
<p>Envases no destinados a la venta al por menor: cada envase deberá llevar las siguientes indicaciones en letras agrupadas en el mismo lado, marcadas de forma legible e indeleble y visible desde el exterior, o bien en los documentos que acompañan el envío. Para los productos transportados a granel, estas indicaciones deberán aparecer en el documento que acompaña a la mercancía.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Identificación: nombre y dirección del exportador, envasador y/o expedidor, código de identificación facultativo. ● Naturaleza del producto: nombre del producto; si el contenido no es visible desde el exterior, nombre de la variedad. ● Origen del Producto: país de origen y, opcionalmente, nombre del lugar, distrito o región de producción. ● Especificaciones: comerciales, categoría, calibre expresado en peso mínimo y máximo en gramos o por número, peso neto facultativo. ● Marca de Inspección: oficial, eventual.
Contaminantes
<ul style="list-style-type: none"> ● El producto al que se aplica las disposiciones de la presente norma deberán cumplir con los niveles máximos de la Norma General para los Contaminantes y las Toxinas, presentes en los Alimentos y Piensos (CODEX STAN 193-1995). ● El producto al que se aplica las disposiciones de la presente norma deberán cumplir con los límites máximos de residuos de plaguicidas establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius.

Continuación de la tabla XXIV.

Higiene
<ul style="list-style-type: none">● Se recomienda que el producto regulado por las disposiciones de la presente norma se prepare y manipule de conformidad con las secciones apropiadas del Código de Prácticas - Principios Generales de Higiene de los Alimentos (CAC/RCP 1-1969), Código de Prácticas de Higiene para Frutas y Hortalizas Frescas (CAC/RCP 53-2003) y otros textos pertinentes del Codex, tales como códigos de Prácticas y Códigos de Prácticas de Higiene.● El producto deberá ajustarse a los criterios microbiológicos establecidos de conformidad con los Principios para el Establecimiento y la Aplicación de Criterios Microbiológicos a los Alimentos (CAC/GL 21-1997).

Fuente: CODEX STAN 197-1995. *Norma del CODEX para el aguacate* (CODEX STAN 197-1995). p. 4.

En la tabla anterior, se citaron textualmente las normas del CODEX para el aguacate, porque es en estas donde se sientan las bases para que se venda el producto de la planta procesadora objeto de estudio; así cumplir con las leyes internacionales y estándares de calidad, para el expendio del aguacate; de esta manera, obedecer los procesos de empaque.

4.4.1. Medidas de inocuidad

Las medidas de inocuidad para el aguacate se establecen en el Código de Prácticas Internacionales recomendadas para los principios generales de higiene de los alimentos el Código de Prácticas Internacionales Recomendadas

para los Principios Generales de Higiene de los Alimentos (CAC/RCP 1-1969, Rev. 1997, ad. 1999).

Cabe agregar que este código es mundialmente reconocido como parámetro indispensable para garantizar la inocuidad y seguridad de los alimentos consumidos. Por lo tanto, es imprescindible considerar continuar según lo establecido por el código en mención, ya que es un requisito previo para la elaboración de un sistema HACCP. En el mismo orden de ideas, en la siguiente tabla, se mencionan los 7 principios HACCP en los que se centra el procesamiento de pulpa de aguacate.

Tabla XXV. **Principios de inocuidad**

Principio 1	Realizar un análisis de peligros e identificar las medidas preventivas respectivas.
Principio 2	Determinar los puntos críticos de control.
Principio 3	Establecer límites críticos.
Principio 4	Establecer un sistema de control para monitorear el PCC.
Principio 5	Establecer las acciones correctivas a ser tomadas, cuando el monitoreo indique que un determinado PCC no está bajo control.
Principio 6	Establecer procedimientos de verificación para confirmar si el sistema HACCP está funcionando de manera eficaz.
Principio 7	Establecer documentación para todos los procedimientos y registros apropiados a esos principios y su aplicación.

Fuente: Código de Prácticas Internacionales. *Recomendadas para los Principios Generales de Higiene de los Alimentos*. p. 45.

Las medidas de inocuidad de PCC y todos los principios de HACCP en el proceso de maduración de aguacate se evidencian en la figura 19, diagrama de recorrido de materia prima del capítulo 3. También se puede observar el correcto seguimiento de las presentes medidas en el capítulo 2, figura 15 diagrama de operaciones del guacamol y en la figura 16 diagrama de flujo de proceso de guacamole.

4.4.2. Diagrama bimanual del proceso de extracción de pulpa

El diagrama bimanual del proceso de extracción de pulpa se diseñó para dar una representación sincronizada y gráfica de la secuencia del proceso mencionado; se indica la relación entre cada actividad. El registro se realizó mediante símbolos convencionales de los diagramas de proceso.

En la siguiente tabla se muestra el diagrama bimanual. Este describe la actividad de despulpe, que inicia con sostener la cuchara por el mango, seguidamente se gira levemente la cuchara, de modo que la punta quede un tanto inclinada, con la concavidad hacia abajo; después, se acerca hacia el aguacate, se remueve la semilla, se continúa depositando la semilla en la banda de merma. Posteriormente, se gira la muñeca en sentido de las manecillas del reloj, de modo que se bordee el contorno de la cáscara, para desprender únicamente la pulpa y se finaliza el proceso depositando la pulpa en la banda de pulpa, tal y como se detalla a continuación

Es importante mencionar que el origen de los valores no se puede mostrar, ya que la deducción incurre en un secreto de industria, el cual no se debe revelar. Se autorizó colocar los montos totales reales, pero no el desglose de cada uno de ellos. En la siguiente tabla, se especifican los costos de la instalación de la propuesta en quetzales:

Tabla XXVII. **Costos de operación**

	Costo	%	Acumulado
Materia prima	Q 380 000,00	52 %	Q 380 000,00
Insumos	Q 114 000,00	15 %	Q 494 000,00
Mantenimiento	Q 91 200,00	12 %	Q 585 200,00
Mano de obra	Q 68 400,00	9 %	Q 653 600,00
Servicios	Q 53 200,00	7 %	Q 706 800,00
Extras	Q 30 400,00	4 %	Q 737 200,00
Total	Q 737 200,00		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4.5.1. Insumos

Se continuó con el análisis de costos, y se realizó un cuadro comparativo que detalla el aumento proyectado de insumos con la instalación del sistema y sin el mismo, porque estos se incrementarán de forma directa o indirecta, según la eficiencia de pulpa.

Tabla XXVIII. **Cuadro comparativo con sistema de control de maduración**

	SIN CONTROL DE MADURACIÓN	CON CONTROL DE MADURACIÓN
Material de empaque	59 %	40 %
Insumos	13 %	19 %
Gases	20 %	30 %
Químicos	8 %	11 %
Total	100 %	100 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El cuadro comparativo anterior refleja que el porcentaje por día de producción sin control de maduración es de 100,00 % y con control de maduración es de 100,00 %. En la misma tabla se explica que hay insumos, que indirectamente incrementarán su costo, porque a mayor capacidad de producción, mayor mano de obra y, como resultado, mayor utilización de los insumos mencionados.

De igual manera, hay insumos que crecerán directamente con la eficiencia de pulpa, como el film del empaque primario, porque a mayor producción por día, significa mayor cantidad necesaria para procesar. Los insumos de producción en mención son para la presentación de 1 kg de guacamole en *chunks* sin receta, de la planta procesadora de aguacate.

4.5.2. Merma

En el mismo orden de ideas, en el presente apartado se muestran los resultados con el aumento en la eficiencia de pulpa, durante el proceso de

maduración. A través de las siguientes tablas, se muestran los porcentajes de rendimiento y merma, con y sin sistema de control de maduración.

Tabla XXIX. **Sin sistema de control de maduración % de rendimiento**

Cliente	Proveedor	Finca	Ingreso a planta (kg)	Ingreso a proceso (kg)	Peso maduración (kg)	Producto terminado (kg)	% rendimiento
Estable	Principal	Número 3	6932,32	6889,68	6297,08	2735	43 %
Estable	Principal	Número 3	6881,02	6862,88	6409,16	2843	44 %
Estable	Principal	Número 2	6735,20	6653,10	6383,86	2694	42 %

Fuente: elaboraon propia, Bases de datos Conyers Investments, empleando Microsoft Excel.

En la tabla anterior, se muestra, a través de los datos por cliente y proveedor, cómo pierde peso el aguacate, en cada proceso. De igual manera, pueden observarse los porcentajes de rendimiento, porque sin un sistema de maduración, al realizar de manera manual los procesos, se controlan todas las variables; por lo tanto, se logra un % de rendimiento entre el 40 - 45 % máximo.

Tabla XXX. **Sin sistema de control de maduración % de merma**

Merma total (kg)	Merma por cáscara y semilla (kg)	Merma no diferenciada (kg)	Costo de merma	% de merma
3561,94	1389,16	2172,78	\$ 2342,44	34 %
3566,02	1533,39	2032,63	\$ 2113,94	34 %
3689,65	1180,69	2508,96	\$ 2709,68	31 %

Fuente: elaboración propia, Bases de datos Conyers Investments, empleando Microsoft Excel.

En la tabla anterior, se visualiza el porcentaje de merma, sin sistema de control de maduración. El porcentaje de merma refleja un máximo de 35 %, el cual se pretende mejorar con la implementación.

Tabla XXXI. **Con sistema de control de maduración % de rendimiento**

Cliente	Proveedor	Finca	Ingreso a planta (kg)	Ingreso a proceso (kg)	Peso maduración (kg)	% rendimiento
Estable	Principal	Número 1	7257,55	6843,87	3733	54 %
Estable	Principal	Número 6	410,05	399,62	210	52 %
Estable	Principal	Número 1	2267,99	2131,91	1180	55 %

Fuente: elaboración propia, Bases de datos Conyers Investments, empleando Microsoft Excel.

Al comparar los datos de la tabla anterior con los datos de las tablas sin el sistema de maduración, se refleja claramente el incremento de más del 5 % proyectado en el rendimiento de fruta.

Tabla XXXII. **Con sistema de control de maduración % de merma**

Merma total (kg)	Merma por cáscara y semilla (kg)	Merma no diferenciada (kg)	% de merma
3110,87	1057,70	2053,17	30 %
189,62	66,37	123,25	30 %
951,91	323,65	628,26	29 %

Fuente: elaboración propia, Bases de datos Conyers Investments, empleando Microsoft Excel.

La tabla anterior muestra los datos del porcentaje de merma. Con el sistema de control de maduración, es evidente que el porcentaje de merma

mostró un decrecimiento, debido a que, al incrementar en un 5 % la producción, se reducirá la merma en un 4 %.

Tabla XXXIII. **Cambio en el rendimiento de la materia seca**

	Sin sistema de maduración	Con sistema de maduración
Materia seca ideal	52 %	52 %
Rendimiento mínimo	35 %	45 %
Rendimiento máximo	52 %	59 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.5.3. Mantenimiento

Los costos de mantenimiento que se presentan están fuera de los costos de instalación de la implementación del sistema de control de maduración, en la planta objeto de estudio; estos se consideran porque, al tener un mejoramiento en la producción, se necesitará más personal para no infringir con la ley para los trabajadores en relación a las horas laborales, ya que se debe tener en cuenta que es necesario más personal, para cubrir emergencias durante el funcionamiento 24/7 de los cuartos de maduración de la planta procesadora de aguacate.

Idealmente, el tipo de mantenimiento que se requiere es el preventivo, para no incurrir en paros en el proceso o a merma por fallos en la maquinaria; sin embargo, nunca se está libre de las emergencias que suceden todo el tiempo, por lo que se deben aplicar los mantenimientos correctivos, si se tiene

una revisión periódica de cada uno de los elementos del sistema para evitar el colapso de estos.

Debe realizarse una revisión mensual, tanto de la limpieza de tuberías y boquillas de aspersión como del control de presiones en las unidades de refrigeración, así como mediciones del factor de potencia y mantenimiento del banco de capacitores para evitar los picos de voltaje que puedan dañar los componentes electrónicos del sistema. El PLC y el DISPLAY también ayudan al mantenimiento de las unidades, ya que detectan automáticamente cuándo una variable no se encuentra en rango y envía notificaciones en línea a los responsables de monitorear los cuartos las 24 horas del día.

Los costos de mantenimiento engloban el salario del personal de mantenimiento, también las horas extras. De igual manera, se incluyen los costos del consumo energético, del *stock* mínimo de repuestos críticos, los insumos de mantenimiento, los costos de la herramienta y se consideró un 10 % para imprevistos, tal y como se desglosa en la siguiente tabla.

Tabla XXXIV. **Costos de mantenimiento**

	Sin sistema de maduración	Con sistema de maduración
Salarios personal mantenimiento	9 %	10 %
Extras personal mantenimiento	1 %	2 %
Consumo energético	49 %	44 %
Stock mínimo de repuestos críticos	17 %	20 %
Insumos de mantenimiento	4 %	4 %
Costo de herramienta	3 %	3 %
Imprevistos	17 %	17 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA

5.1. Tratamiento de los residuos

En la fase de seguimiento y mejora del presente trabajo, se desarrollaron los procesos de tratamiento de residuos, producto defectuoso y el mantenimiento de los sistemas de acondicionamiento en la planta procesadora de aguacate. Es de suma relevancia realizar el correcto seguimiento de los procesos de tratamiento de residuos, es decir, de las operaciones encaminadas a un adecuado manejo de eliminación y sustracción de estos. Uno de los objetivos esenciales es disminuir los riesgos para la salud de los trabajadores de la planta y los efectos negativos provocados al medioambiente. Se realiza el tratamiento de los residuos con el fin de disminuir los riesgos, que inician desde la generación de los mismos, hasta la disposición final de ellos.

Los residuos de la planta procesadora de aguacate conllevan distintos procesos, según sea la naturaleza de estos:

- Orgánicos

Son los restos de pulpa. Estos se filtran en el drenaje de la planta, una vez finalizado el proceso de desinfección de bandas, de mangueras y tanques que estuvieron en contacto con el aguacate procesado, luego del proceso de extracción de pulpa, mezcla, vacío y empaque. No obstante, la cantidad de estos residuos no es cuantificable, ya que se dirigen directamente hacia el pozo de absorción de sólidos, el cual está ubicado debajo del área verde de la planta,

conducidos por el drenaje; es en estos pozos donde se acumulan los restos de pulpa sobre la superficie del agua.

El proceso de recolección de la pulpa acumulada, realizado por el personal de limpieza de la planta, se efectúa una vez cada quince días, la frecuencia precisa para limpiar estos residuos ya que estos, al momento de fermentarse, emanan gases, los cuales provocan mal olor, por lo mismo, es imprescindible el seguimiento de estos procesos, para evitar los riesgos sanitarios de los alimentos, atracción de plagas y/o malos olores dentro de la planta.

El proceso de tratamiento se realiza porque esta pulpa no es del todo desechada, es reutilizada como composta orgánica, en otras palabras, como abono natural. Se recolecta la cáscara y la semillas en la banda de merma, una vez finalizado el proceso de despulpe.

- Inorgánicos

Los residuos inorgánicos de la planta son los restos de cartón del empaque secundario y terciario, los restos de plástico del film que se usa para las máquinas que dosifican, empacan y sellan el guacamol. El proceso de recolección de estos es realizado por el personal de limpieza y son depositados en recipientes identificados; luego son enviados a una recicladora.

Parte de los desechos inorgánicos de la planta, está el desecho de material de oficina y de los sanitarios. El proceso de tratamiento de estos está a cargo del personal de limpieza; recolectan y selecciona para que la entidad competente y certificada contratada se encargue de su extracción.

- Desechos del equipo de protección personal

Son los desechos del equipo de protección personal que es utilizado por los trabajadores en los procesos de producción, cuando operan en distintas actividades dentro de la planta, residuos como: cofias, guantes desechables y mascarillas. El manejo de estos es responsabilidad del personal que lo utiliza, quienes siguen un procedimiento estandarizado. Estos desechos son depositados en otros recipientes distintos a los desechos de pulpa y desechos inorgánicos. Se tiene un apartado de material bioinfeccioso; seguidamente es recolectado por la empresa contratada de recolección e incineración de desechos, con el fin de evitar la proliferación de bacterias o enfermedades que cualquier colaborador o colaboradora de la planta pudiesen padecer.

En la tabla XXXV, se muestra el control de tratamiento de residuos. Este registro es para llevar el control de la persona encargado, del tiempo, de la fecha exacta, la hora, el lote, el contenedor, el proveedor, la procedencia y la cantidad del desecho, ya que son aspectos imprescindibles para el adecuado control. Seguidamente, en la tabla XXXVI, se visualiza la ficha de control y seguimiento de la gestión de residuos en la planta procesadora de aguacate.

Tabla XXXV. **Control de tratamiento de residuos**

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES								
Control de tratamiento de desechos								
Nombre: _____								
Proceso	Orgánicos							
	Semana	Fecha de recepción	Hora	Lote	Contenedor	Proveedor	Procedencia	Cantidad
Recolección de composta orgánica								
Tiempo requerido								
Reutilización de cáscara y semillas								
Extracción y transporte								

Continuación de la tabla XXXV.

Proceso	Inorgánicos							
	Semana	Fecha de recepción	Hora	Lote	Contenedor	Proveedor	Procedencia	Cantidad
Recolección								
Selección								
Depósito								
Reciclaje								
Extracción y transporte								
Proceso	Desechos del equipo de protección personal							
	Semana	Fecha de recepción	Hora	Lote	Contenedor	Proveedor	Procedencia	Cantidad
Selección								
Depósito en recipientes								
Recolección								
Extracción y transporte								
Observaciones:								
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>								
Firma								

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXVI. Control de extracción de residuos

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES	
Control y seguimiento de extracción de residuos	
Datos de documento de seguimiento y control	
Ref. Externa	
Año	
Fecha	
Tipo de traslado	
Tipo de residuo	
Observaciones	
Datos de documento de seguimiento y control anulado	
Núm. Anulado	
Ref. Externa	
Año	
Fecha	
Datos del remitente de traslado	
NIT	
Razón social	
Denominación	
Persona contacto	
Datos del destinatario	
NIT	
Razón social	
Denominación	
Encargado de control	
Núm. de gafete	
Hora y fecha	
Sello de la Planta	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.1.1. Emisión de gases

Las emisiones de gases son los generados durante la maduración del aguacate, como producto de la respiración del fruto, a concentración máxima de 8 000 ppm, las cuales son muy bajas como para cumplir con el Decreto 7-2013.

5.1.2. Tratamiento de agua

En la planta, el agua no es tratada, debido a que proviene del propio pozo de la empresa; sin embargo, pasa por el proceso de cloración. Esto consiste en tener una concentración de cloro a 1 ppm; estos valores de cloro residual están regulados por organismos según el uso final. Para el agua potable, el cloro libre residual esta entre 0,5 y 1 ppm.

Actualmente, la planta no cuenta con un plan de tratamiento de agua, solo el método de cloración de agua antes mencionado. Es preciso mencionar que dentro de los proyectos de seguimiento y mejora está la implementación del proyecto de calidad del agua para los cuartos de maduración de aguacate. Es imprescindible contar con este sistema de calidad de agua, por bioseguridad y regulaciones internacionales de las certificaciones que hacen que opere la planta; es necesario y recomendable para los cuartos de maduración, ya que esta tiene contacto directo con el fruto durante el proceso de maduración.

5.1.3. Plásticos

En la planta procesadora de aguacate, estos representan los envases PET, latas y plástico en general. El tratamiento de estos corresponde al comercio de recicladoras del sector, que se encargan de trasladarlos hacia el centro que se dedica al reproceso del mismo. El procedimiento de plásticos en

la planta es un ejemplo del hábito del reciclaje para los colaboradores de la misma.

5.1.4. Refrigerantes

El refrigerante que se utiliza en los *chillers* y unidades de condensadores, en general, en la planta, es el R404, porque este es el aceptado en la industria, porque ser un refrigerante ecológico que no causa efecto invernadero, y de esta forma no causa daño al medioambiente.

El procedimiento para remover el gas refrigerante, en cualquier condición de un sistema, es almacenarlo en un contenedor. Cuando este es recuperado de equipos de refrigeración y aire acondicionado se encuentra contaminado, es decir, mezclado con otros refrigerantes y/o mezclado con aceite, por lo que no es factible su reciclaje o regeneración, no se podrá volver a utilizar. La mejor opción para un refrigerante contaminado o mezclado es enviarlo a un proceso para su disposición final y destrucción. Este procedimiento es el que actualmente está vigente en la Norma AHRI STANDARD 740 y la Norma de Recuperación, Reciclado y Regeneración de Gas Refrigerante (RRRE).

5.2. Producto defectuoso

En los procesos de la planta procesadora de aguacate, surgen dos tipos de producto de no aceptación: el producto no conforme y el producto de rechazo.

- Producto no conforme: este se puede reprocesar; es identificado, la mayor parte, en el momento que pasa por la verificación de peso, debido a que no entra en el rango de aceptación establecido. Dicha

5.3. Mantenimiento de los sistemas de acondicionamiento

El mantenimiento de los sistemas de acondicionamiento en la planta es imprescindible porque, a medida que se incrementan los días de producción así, proporcionalmente, incrementa el mantenimiento a los equipos para garantizar el óptimo funcionamiento de la planta. En el siguiente apartado, se muestra la periodicidad; se muestran los formatos de programación y registro; por último, se especifican las normas de seguridad e higiene ocupacional.

5.3.1. Periodicidad

El mantenimiento de los sistemas de acondicionamiento en la planta cumplirá con una programación rígida de acciones, que se ejecutarán e inspeccionarán de forma obligatoria, cuyo objetivo será la detección de posibles fallas, que puedan afectar directamente en algún paro durante el proceso productivo.

Las inspecciones periódicas programadas se ejecutarán en los equipos críticos de la planta, de forma planificada y programada anticipadamente, con el fin esencial de descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas imprevistas en el sistema o daños mayores que afecten el mismo. Estas inspecciones serán realizadas en cada equipo en intervalos fijos independientes. En la siguiente hoja, se muestra el cronograma de frecuencia de los mantenimientos programados para el sistema de acondicionamiento específico de las unidades críticas, para el funcionamiento de la planta procesadora de aguacate.

Tabla XXXIX. **Cronograma de mantenimiento del sistema de acondicionamiento**

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES			
Mantenimiento de los sistemas de acondicionamiento			
Fecha: _____		Nombre: _____	
Actividades mantenimiento	No. Unidades	Frecuencia	Observación
Evaporadores	5	Trimestral	Funcionamiento de aspas, verificación de fugas en tubería
Condensadoras	8	Quincenal	Revisión de amperaje, voltaje, presiones (alta y baja), fugas en tubería, SET POINT de los cuartos.
High Pressure Procesing	1	Mensual	Apretar tornillos, revisión de nivel de aceite, chequeo de presiones de trabajo.
Estación de energía eléctrica	1	Semestral	Limpieza de polvo en tableros, apriete de tornillos, medición de amperaje y voltaje. Verificar continuidad y protecciones
Pozo de residuos	1	Quincenal	Recolección de composta orgánica acumulada
Empacadoras	3	Quincenal	Verificar mangueras de dosificación, calibración de tiempos de apertura de válvulas, verificar presiones de trabajo, chequeo de bombas de vacío.
Observaciones: _____ _____ _____			
Recibo:	_____	Firma:	_____
Vo. Bo.	_____	Firma:	_____

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.3.2. Formatos de programación y registro

En esta etapa, se busca transmitir al personal de mantenimiento las actividades del proceso a revisar, los presentes formatos de programación y registro que implican la revisión del funcionamiento de los equipos y corrección de las fallas que se dan en los mismos, realizados para detectar cualquier tipo de falla que esté presente en el equipo, repararla, cambiar la pieza o, si el caso lo amerita, cambiar definitivamente el equipo, Cabe resaltar que el objetivo esencial es no llegar al extremo de cambiar un equipo por falta de seguimiento al mantenimiento. En las siguientes hojas, se muestran las actividades de mantenimiento de los evaporadores, de condensadoras, HPP, estación de energía eléctrica, del pozo de residuos y de las empacadoras.

Tabla XL. **Registro de mantenimiento a evaporadores**

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES			
Mantenimiento de acondicionamiento de aire			
Revisión: _____		Fecha: _____	
Actividad mantenimiento		Frecuencia	
Evaporadores		Trimestral	
Control			
Actividades	Completa	Incompleta	Observación
Funcionamiento de aspas			
Revisión de válvulas y serpentín			
Inspección de filtro de evaporador			
Chequeo de bandeja y tubería de drenado			
Presión			
Temperatura			
Conexiones eléctricas y electrónicas			
Verificación de fugas			

Continuación de la tabla XL.

Registro y seguimiento	
Fallas presentadas	
Labores realizadas	
Piezas reemplazadas	
Recibo: _____	Firma: _____
Vo. Bo. _____	Firma: _____

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la siguiente tabla, se muestran los requerimientos de mantenimiento estándar a condensadoras y periodicidad, necesaria para lograr el funcionamiento óptimo de procesos.

Tabla XLI. Registro de mantenimiento a condensadoras

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES Mantenimiento de acondicionamiento de aire			
Revisión: _____ Fecha: _____			
Actividad mantenimiento		Frecuencia	
Condensadoras		Quincenal	
<i>Control</i>			
Actividades	Completa	Incompleta	Observación
Revisión de amperaje			
Revisión de voltaje			
Revisión de presiones alta y baja			
Chequeo de fugas en tubería			
Revisión SET POINT de los cuartos			
Temperatura			
Conexiones eléctricas y electrónicas			

Continuación de la tabla XLI.

Registro y seguimiento	
Fallas presentadas	
Labores realizadas	
Piezas reemplazadas	
Recibo: _____	Firma: _____
Vo. Bo. _____	Firma: _____

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la siguiente hoja, se presentan los requerimientos de mantenimiento a *High Pressure Processing*, que se debe realizar cada 30 días, para lograr el éxito de los procesos.

Tabla XLII. Registro de mantenimiento de *High Pressure Processing*

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES			
Mantenimiento de acondicionamiento de aire			
Revisión: _____			
Fecha: _____			
Actividad mantenimiento	Frecuencia		
High Pressure Processing	Mensual		
Control			
Actividades	Completa	Incompleta	Observación
Revisión de tornillos apretados sin oxido			
Revisión de nivel de aceite			
Chequeo de presiones de trabajo			
Verificar las marcas de las etiquetas de seguridad y de prevención			
Verificar el rendimiento según el manual			
Verificar si existen ruidos y vibraciones anormales			
Verificar conexiones eléctricas y electrónicas			

Continuación de la tabla XLII.

<i>Registro y seguimiento</i>	
Fallas presentadas	
Labores realizadas	
Piezas reemplazadas	
Recibo: _____	Firma: _____
Vo. Bo. _____	Firma: _____

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la siguiente tabla, se muestra el formato de seguimiento de mantenimiento a la estación de energía eléctrica, para lograr el óptimo funcionamiento de los equipos en el proceso de producción.

Tabla XLIII. Registro de mantenimiento de estación de energía eléctrica

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES			
Mantenimiento de acondicionamiento de aire			
Revisión: _____			
Fecha: _____			
Actividad mantenimiento		Frecuencia	
Estación de energía eléctrica		Semestral	
Control			
Actividades	Completa	Incompleta	Observación
Revisión de tornillos apretados sin oxido			
Limpieza de polvo en tableros			
Medición de amperaje y voltaje			
Verificar continuidad			
Verificar aislamiento de conductores			
Equipos de protección: Contra la oxidación de envolventes, Pantallas, bornes terminales y Piezas de conexión			

Continuación de la tabla XLIII.

Registro y seguimiento	
Fallas presentadas	
Labores realizadas	
Piezas reemplazadas	
Recibo: _____	Firma: _____
Vo. Bo. _____	Firma: _____

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la siguiente hoja, se presenta el registro de mantenimiento del pozo de residuos, que se debe realizar cada 15 días, y así cumplir con los estándares de inocuidad.

Tabla XLIV. **Registro de mantenimiento del pozo de residuos**

PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES			
Mantenimiento de acondicionamiento de aire			
Revisión: _____			
Fecha: _____			
Actividad mantenimiento		Frecuencia	
Pozo de residuos		Quincenal	
<i>Control</i>			
Actividades	Completa	Incompleta	Observación
Recolección de composta orgánica acumulada			
Evitar un exceso de la capa de material flotante y de espuma en la zona de ventilación			
Limpieza de las estructuras de ingreso y salida			
Retirar los sólidos depositados en las paredes del sedimentador			
Retirar la grasa y sólidos acumulados en las paredes a la altura de la línea de agua, con un raspador metálico			

Continuación de la tabla XLIV.

Registro y seguimiento	
Fallas presentadas	
Labores realizadas	
Piezas reemplazadas	
Recibo: _____	Firma: _____
Vo. Bo. _____	Firma: _____

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la próxima tabla, se muestra el registro de mantenimiento de empacadora, que se realizarán cada 15 días, con el propósito de lograr el óptimo funcionamiento de los equipos de la planta.

Tabla XLV. **Registro de mantenimiento de empacadora**

<p align="center">PLANTA PROCESADORA DE AGUACATES</p> <p align="center">Mantenimiento de acondicionamiento de aire</p>			
Revisión: _____ Fecha: _____			
Actividad mantenimiento		Frecuencia	
Empacadoras		Quincenal	
<p align="center"><i>Control</i></p>			
Actividades	Completa	Incompleta	Observación
Verificar mangueras de dosificación			
Verificar calibración de tiempos de apertura de válvulas			
Verificar presiones de trabajo			
Chequeo de bombas de vacío			
Verificar lubricación de máquina			

Continuación de la tabla XLV.

Registro y seguimiento	
Fallas presentadas	
Labores realizadas	
Piezas reemplazadas	
Recibo: _____	Firma: _____
Vo. Bo. _____	Firma: _____

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

5.3.3. Normas de seguridad e higiene ocupacional

Es imprescindible contar con empleados y gerentes capacitados conscientes de la importancia de cumplir con las normas; que entiendan lo que deben hacer, cuándo deben hacerlo y cómo hacerlo y, lo que es más importante, por qué es necesario, tanto para los empleados nuevos como para los empleados con experiencia.

La planta procesadora de aguacate se rige bajo el reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional del Acuerdo Gubernativo 229-2014, que tiene por objeto regular las condiciones generales de salud y seguridad ocupacional, en las cuales deben ejecutar sus labores los trabajadores de entidades y patronos privados del Estado, de las municipalidades y de las instituciones autónomas, semiautónomas y descentralizadas, con el fin de proteger la vida, la salud y su integridad en la prestación de sus servicios. Por lo tanto, la aplicación es

obligatoria en el país, ya que desarrolla una metodología sencilla y fácil de aplicar para la identificación de peligros, la ponderación de los riesgos y la aplicación de medidas para la eliminación o mitigación de estos.

Dentro del sistema de seguridad, es preciso tomar en cuenta los principios HACCP descritos en la tabla XXV, del subtítulo 4.4.1. Medidas de inocuidad, no obstante, es preciso mencionar que el sistema HACCP tiene fundamentos científicos y carácter sistemático, que permitirá identificar peligros específicos y medidas para el control, con el objetivo de garantizar la inocuidad de los alimentos de la planta. Se cumplirá con los principios, para evaluar los peligros y establecer sistemas de control que se centrarán en la prevención. También todo sistema de HACCP puede ser susceptible de cambios que podrían derivar de los avances en los procesos de la planta procesadora de aguacate.

Las normas de SAFETY QUALITY FOOD (SQF, por sus siglas en inglés), Alimentos Sanos y de Calidad, conforman las normas alimentarias más robustas, porque abarcan toda la cadena de suministros; consideran desde el productor hasta el consumidor final. Las normas SQF abordan los requerimientos de calidad e inocuidad alimentaria de los compradores; brindan la solución para las empresas que proveen a los mercados de alimentos locales y globales. Por ende, al cumplir con las normas SQF, el producto producido y fabricado en la planta procesadora garantizará un alto grado de aceptación en los mercados globales.

En el mismo orden de ideas, las certificaciones HACCP y SQF se auditan cada año, para la correspondiente renovación y certificación. Parte de la auditoría es la solicitud de registros para garantía de cada operación que se llevan a cabo en la planta, que engloba el manejo de químicos, mantenimiento, recursos humanos, control de los PCC, entre otros.

Para que la aplicación de HACCP y SQF dé buenos resultados, es necesario que, tanto la dirección como el personal, se comprometan y participen plenamente. También se requiere un enfoque multidisciplinario en el cual se deberá incluir los registros de procesos de la planta.

CONCLUSIONES

1. Se identificaron como puntos críticos de control del proceso de producción del guacamol los rayos X, la ultra alta presión y el congelamiento.
2. Se establecieron que los rangos de humedad relativa equivalen a la atmósfera ideal entre 85 – 95 % de temperatura; en el set del cuarto, 20 grados Celsius, histéresis 2, bióxido de carbono con concentración a 8 000 ppm (0,8), histéresis 2 000 y etileno ideal es concentración 150 - 200 ppm, para mejorar el rendimiento de pulpa del aguacate.
3. Se diseñó un sistema de acondicionamiento de materia prima para el proceso de maduración del aguacate en la planta, lo que aumentó la capacidad de almacenamiento en un 66 %.
4. Se determinó la eficiencia del fruto mediante el análisis de la merma, evaluado con el sistema de control de maduración y sin el sistema. Este reflejó la disminución de merma en, al menos, un 4 % al tener un control en los niveles de CO₂ y etileno dentro de las cámaras de maduración.
5. Evidentemente, mejora el rendimiento por *batch* en kg con el sistema de control de maduración; refleja un aumento en el rendimiento de pulpa de un 10 %.
6. Se determinaron los tiempos estándares, para la elaboración de un contenedor de aguacate procesado de la presentación de 1 kg sin receta;

esto, al especificar el tiempo optimista, pesimista, el tiempo más probable y el tiempo estándar de cada operación.

7. Se estandarizaron los requerimientos de mantenimiento de evaporadores, condensadoras, estación de energía eléctrica, pozos de residuos y empacadoras de la planta; asimismo, se determinó la periodicidad para lograr el funcionamiento óptimo del proceso de maduración de aguacate.

RECOMENDACIONES

1. Instalar un sistema de tratamiento de agua para los cuartos de maduración, que mejore la calidad del agua; esto reducirá las pérdidas de pulpa, causadas por bacterias que vienen en el agua y contaminan la fruta durante el proceso de maduración.
2. Invertir en el área de producción para que el proceso de dosificación y empaque sea eficiente. A medida que aumenta la eficiencia de pulpa, en el área de empaque se crea un cuello de botella, porque las empacadoras trabajan a velocidad baja de dosificación, especialmente en las presentaciones pequeñas.
3. Ampliar el área de congelados, porque la velocidad de estos no es eficiente en relación con el aumento de producción. Por tal razón, la instalación de cuartos de aceleración de congelados y ampliación del cuarto de conservación es adecuada.
4. Instalar una nueva bodega para almacenamiento de material de empaque primario, secundario y terciario; esto es imprescindible por el aumento de la producción.
5. Instalar un separador de sólidos, que se ubique donde desemboca el drenaje antes del ingreso a los pozos, para evitar que estos se acumulen de pulpa descompuesta, resultado de la limpieza de bandas, para optimizar el mantenimiento de pozos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACUÑA, Jorge. *Distribución de planta. Diseño de sistemas productivos y logísticos*. 1a ed. México: McGraw-Hill, 2009. 96. p.
2. ANDER-EGG, Ezequiel. *Métodos y técnicas de investigación social*. 1a ed. Argentina: Río de Plata, 2003. 175 p.
3. ALVAREZ DE LA PEÑA, Francisco Javier. *El Aguacate*. 2a ed. España: Publicaciones de Extensión Agraria, 1979. 222 p.
4. ARIAS, Fernando. *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. 1a ed. Caracas, Venezuela: Episteme, 2012. 156 p.
5. ASKELAND, Donald. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. 3a ed. México: Editorial International Thompson, 2008. 211 p.
6. BACA URBINA, Gabriel. *Evaluación de proyectos*. 6a ed. México: McGraw-Hill, 2010. 318 p.
7. BAIN, David. *Productividad: la solución a los problemas de la empresa*. México: McGraw Hill, 2005. 304 p.
8. BERNAL, Cesar A. *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson, 2010. 144 p.

9. CERDAS ARAYA, María Del Milagro; MONTERO CALDERÓN, Marta; DÍAZ CORDERO, Eduardo. *Manual de manejo Pre y Post Cosecha de Aguacate (Persea Americana)*. [en línea]. <http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/aguacate-2006.pdf>. [Consulta: 8 de marzo 2018].
10. CERÓN Carrillo, T.G; RODRÍGUEZ V. *Atmósfera controlada: Principios, desarrollo y aplicaciones en la tecnología de alimentos*. [en línea]. <[http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No1-Vol-1/TSIA-1\(1\)-Ceron-Carrillo-et-al-2007.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No1-Vol-1/TSIA-1(1)-Ceron-Carrillo-et-al-2007.pdf)>. [Consulta: 20 de abril 2018].
11. Código de Prácticas Internacionales. *Recomendadas para los Principios Generales de Higiene de los Alimentos*. Italia: CAC/RCP 1-, 1997. 80 p.
12. Comisión del código Alimentarius. FOA/OMS. *Norma del CODEX para el aguacate*. Italia: CODEX STAN, 1995. 81 p.
13. Comisión de investigación y desarrollo YARA MX. *Nutrición vegetal del aguacate. Principales plagas del cultivo de aguacate*. [en línea]. <<https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/aguacate/plagas-y-enfermedades/>>. [Consulta 22 julio 2020].
14. ECO, Umberto. *Cómo se hace una tesis*. España: Gedisa, 2009. 253 p.
15. EVERETT, Adam; RONALD, Ebert. *Administración de la producción y las operaciones: Conceptos, modelos y funcionamiento*. 4a. ed. Boston: Pearson Educación, 1991. 739 p.

16. FIDIAS, Arias. *El Proyecto de investigación, introducción a la metodología científica* 6a ed. Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Episteme, 2012. 149 p.
17. FRANKLIN, Enrique. *Organización de empresas*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2004. 200 p.
18. GALEANO Eumelia. *Diseño de proyectos de investigación*. Medellín: Fondo EAFIT, 2008. 100 p.
19. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a ed. McGraw-Hill, 2003. 145 p.
20. GONZALES RUIZ, Halan Estuardo. *Diseño de un cuarto frío para la preservación de vegetales para la Empresa San Juan Agroexport* [en línea]. <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0671_M.pdf>. [Consulta: 20 de abril 2018].
21. GONZÁLEZ REY, Fernando. *Epistemología cualitativa y subjetiva*. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación, 2002. 110 p.
22. GONZÁLES, Carlos. *Escarificación física y aplicación de ácido giberélico a semilla de aguacate, (Persea Americana Mill), para producir porta injertos, aldea Caxaque, San Marcos*. Trabajo de graduación de Ing. Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2002. 83 p.
23. GUERRERO SPÍNOLA DE LÓPEZ, Alba Maritza. *Formulación y evaluación de proyectos*. Guatemala: 2005. 116 p.

24. GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad y productividad total*. 3a. ed. México: McGraw-Hill. 2005. 370 p.
25. GUTIÉRREZ, Mario. *Administrar para la calidad: conceptos administrativos del control total de la calidad*. 4a ed. México: Limusa. 2002. 133 p.
26. HEIZER, Jay; RENDER, Barry. *Dirección de la producción. Decisiones estratégicas*. 6a ed. Madrid: Pearson Educación, 2001. 148 p.
27. HERNÁNDEZ, María. *Fisiología post cosecha*. [en línea]. <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13475/43471_54961.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Consulta: 20 de abril 2018].
28. HERNÁNDEZ, Sampieri. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill, 2010. 613 p.
29. KRICK, Ernest. *Ingeniería de métodos*. México: Limusa, 2002. 166 p.
30. LELAND BLANK, Anthony. *Ingeniería económica*. 6a ed. México: McGraw-Hill, 2006. 819 p.
31. MONTEJO, Angelita. *Plan de negocios para el cultivo del aguacate para la exportación en el Municipio de Palencia*. Guatemala: Gremial de Exportadores de Productos no Tradicionales, 1991. 33 p.
32. NIEBEL & FREIVALDS. *Ingeniería industrial, métodos, tiempos y movimientos*. México: Alfa Omega, 2004. 130 p.

33. PÉREZ SERRANO, Gloria. *Investigación cualitativa. Retos e interrogantes*. Madrid, España: La Muralla, 2007. 165 p.
34. PITA, Edward. *Acondicionamiento de aire, principios y sistemas*. 2a ed. New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2008. 548 p.
35. Revista Mundo Hvacr. *Almacenamiento y refrigeración de frutas*. [en línea]. <<https://www.mundohvacr.com.mx/2010/01/almacenamiento-y-refrigeracion-de-frutas/#>>. [Consulta: abril 2018].
36. ROMÁN MARES, Edgar Alejandro; YAHIA KAZUZ, Elhadi. *Manejo postcosecha del aguacate*. [en Línea]. <<http://w.redalyc.org/comocitar.oa?id=169818107001>>. 2018>. [Consulta: 8 marzo 2018].
37. SCHROEDER, Roger G. *Administración de operaciones*. México: McGraw-Hill, 2008. 562 p.
38. TORRES GOMEZ, Rodolfo. *Principios de refrigeración* [en línea]. <<https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2015/02/principiosde-refrigeracion.pdf>>. [Consulta 8 marzo 2018].
39. UMAÑA, Eduardo. *Manual manejo de frío para la conservación de alimentos* [en línea]. <http://www.fusades.org/sites/default/files/investigaciones/manual_manejo_de_frio_para_la_conservacion_de_alimentos.pdf>. [Consulta: 8 marzo 2018].
40. VOIRIN, Gerard. *Definir las funciones y tareas de la empresa*. 1a ed. España: Editores Deusto, S.A., 2009. 269 p.

41. ZAPATA, Oscar. *La aventura del pensamiento crítico: Herramientas para elaborar tesis e investigaciones*. México: Pax, 2005. 290 p.