

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

ESTUDIO DEL EFECTO DEL HIDROENFRIAMIENTO Y LA UTILIZACIÓN DE DOS TIPOS DE EMPAQUE EN LA CALIDAD POSCOSECHA DE PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*)

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

KARLA MARILYN PAREDES BAUTISTA

karla.paredes@outlook.com

DIRECTORA: ING. SILVIA VALENCIA CHAMORRO, Ph. D.

silvia.valencia@epn.edu.ec

Quito, mayo 2014

© Escuela Politécnica Nacional (2014)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Karla Marilyn Paredes Bautista, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Karla Marilyn Paredes Bautista

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Karla Marilyn Paredes Bautista, bajo mi supervisión.

Ing. Silvia Valencia Chamorro, Ph. D.
DIRECTORA DE PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto semilla PIS 12-24 “Aplicación de tratamientos poscosecha para extender la vida útil de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) entera y mínimamente procesada (fresh-cut)”, que se ejecuta en el Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB).

AGRADECIMIENTOS

Con fe y humildad agradezco a Dios, por guiar mis pasos y colmarme de bendiciones.

Un agradecimiento especial a la Dra. Silvia Valencia, por brindarme su tiempo y compartir sus conocimientos y experiencia; gracias por la dedicación, la paciencia y los valiosos consejos entregados durante mi formación profesional. Además agradezco al Dr. Edwin Vera, por contribuir con su tiempo y conocimientos en el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Gustavo Narváez, Jefe de producción de la finca agrícola "PITACAVA", por haber proporcionado la materia prima con la que se realizó el presente estudio y por su ayuda oportuna.

A mis padres, Carlos y Martha, por su amor y apoyo incondicional; gracias por creer en mí y darme la fuerza para seguir adelante. A mis hermanas, Mishell y Erika, por ser mis confidentes y mejores amigas. A mis tíos, Marcia y Hugo, por su cariño y presencia durante toda mi vida.

A Raisa, Gabriela, Ruth, Darío, Cristina y Pamela, porque sin su apoyo no lo hubiese logrado; gracias por el día a día, por su amistad sincera y por enseñarme que todo es cuestión de perspectiva. A María Fernanda, Andrea y Valeria, por hacerme sonreír hasta en los peores momentos.

A Gustavo, por su afecto incondicional y por estar a mi lado.

Al personal del Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB), por su espíritu de colaboración e integración.

A mis profesores de carrera, por transmitirme sus conocimientos y ser un ejemplo en el campo profesional y personal.

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos y Martha, por su amor y esfuerzo. Siempre serán los grandes amores de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	xv
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Generalidades del cultivo de pitahaya amarilla	1
1.1.1 Origen y distribución de la pitahaya amarilla	1
1.1.2 Clasificación taxonómica	1
1.1.3 Descripción botánica	2
1.1.4 Etapas de desarrollo	3
1.1.5 Manejo del cultivo	4
1.1.5.1 Fertilización	6
1.1.5.2 Podas	6
1.1.5.3 Control de malezas	7
1.1.5.4 Plagas y enfermedades	7
1.1.5.5 Cosecha	9
1.1.5.6 Poscosecha	9
1.1.6 Composición química y nutricional	10
1.1.7 Situación del cultivo de pitahaya en el Ecuador	12
1.1.8 Usos	12
1.2 Factores biológicos y ambientales que influyen en el manejo poscosecha de pitahaya amarilla	13
1.2.1 Factores biológicos que influyen en el deterioro	14
1.2.1.1 Respiración	14
1.2.1.2 Transpiración	15
1.2.1.3 Producción de etileno	15
1.2.1.4 Cambios durante la maduración	16
1.2.1.5 Daño por frío	17
1.2.1.6 Daño mecánico/ físico	17
1.2.1.7 Ataque de patógenos	18
1.2.2 Factores ambientales que influyen en el deterioro	18
1.2.2.1 Temperatura	18
1.2.2.2 Humedad relativa (HR)	19
1.2.2.3 Composición atmosférica	19
1.3 Tratamientos poscosecha de hidrogenfriamiento y atmósferas modificadas	19
1.3.1 Hidrogenfriamiento	20
1.3.2 Atmósferas modificadas	24
2 PARTE EXPERIMENTAL	27
2.1 Materia prima	27

2.2	Caracterización fisicoquímica de la pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	28
2.2.1	Análisis físicos	28
	2.2.1.1 Peso	28
	2.2.1.2 Longitud	28
	2.2.1.3 Diámetro	28
	2.2.1.4 Firmeza	28
2.2.2	Análisis químicos	29
	2.2.2.1 Determinación de sólidos solubles totales (SST)	29
	2.2.2.2 Determinación de pH	29
	2.2.2.3 Determinación de acidez titulable	29
2.2.3	Análisis sensorial	30
2.2.4	Evaluación de la calidad visual	30
2.3	Ensayos de los tratamientos poscosecha de hidrogenfriamiento y empaque con dos tipos de películas poliméricas	31
2.3.1	Hidrogenfriamiento y empaque	32
2.3.2	Pérdida de peso	33
2.3.3	Evaluación de la calidad visual	33
2.3.4	Firmeza	33
2.3.5	Análisis químicos	33
2.3.6	Análisis sensorial	34
2.3.7	Concentración de CO ₂ en el interior de empaques	34
2.3.8	Análisis estadístico	34
2.4	Evaluación del efecto del hidrogenfriamiento en la tasa de respiración de la pitahaya amarilla	34
2.5	Diseño de un hidrogenfriador por inmersión	35
2.6	Estimación del costo de implementación de los tratamientos poscosecha	38
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1	Caracterización fisicoquímica de la pitahaya amarilla	39
	3.1.1 Análisis físicos	39
	3.1.2 Análisis químicos	40
	3.1.3 Análisis sensorial	41
	3.1.4 Evaluación de la calidad visual	41
3.2	Hidrogenfriamiento	42
3.3	Evaluación del efecto del hidrogenfriamiento en la tasa de respiración de la pitahaya amarilla	44
3.4	Ensayos de los tratamientos poscosecha de hidrogenfriamiento y empaque con dos tipos de películas poliméricas	47

3.4.1	Análisis químicos	47
3.4.2	Pérdida de peso	52
3.4.3	Firmeza	56
3.4.4	Evaluación de la calidad visual	59
3.4.5	Análisis sensorial	67
3.4.6	Concentración de CO ₂ en el interior de empaques	68
3.5	Diseño de un hidrogenfriador por inmersión	71
3.6	Estimación del costo de implementación de los tratamientos poscosecha	75
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
4.1	Conclusiones	81
4.2	Recomendaciones	83
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
	ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1.1. Principales enfermedades en el cultivo de pitahaya amarilla	8
Tabla 1.2. Composición química y nutricional de pitahaya amarilla	11
Tabla 1.3. Niveles recomendados de compuestos sanitizantes y tiempo de contacto mínimo	24
Tabla 2.1. Escala de valoración para evaluar la calidad visual de pitahaya amarilla	30
Tabla 2.2. Escala de valoración de la calidad visual final de pitahaya	31
Tabla 2.3. Códigos de identificación de los diferentes tratamientos	32
Tabla 3.1. Caracterización física de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	39
Tabla 3.2. Contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable y pH en frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en grado de madurez cinco almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C seguidos de 5 días a temperatura ambiente (20 °C)	48
Tabla 3.3. Valores para calidad visual de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en grado de madurez cinco almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C seguidos de 5 días a temperatura ambiente (20 °C)	59
Tabla 3.4. Índice general de evaluación de la calidad visual de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en grado de madurez cinco durante 7, 14 y 21 días a 12 °C seguidos de 5 días a temperatura ambiente (20 °C)	66
Tabla 3.5. Evaluación sensorial de frutos de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en grado de madurez cinco almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C seguidos de 5 días a temperatura ambiente (20 °C)	67
Tabla 3.6. Especificaciones del hidrofriador por inmersión con recirculación de agua diseñado	75
Tabla 3.7. Datos de densidad de siembra y rendimiento en el cultivo de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) en agrícola "PITACAVA"	76

Tabla 3.8. Costo total del hidrogenfriador diseñado desglosado en el costo de sus componentes y el costo de ensamblaje	76
Tabla 3.9. Costo total de la aplicación de los tratamientos poscosecha de hidrogenfriamiento y empaque con dos tipos de láminas plásticas en frutos de pitahaya amarilla (<i>Senelicereus megalanthus</i>)	79
Tabla 3.10. Costo y precio de venta al público de frutos de pitahaya amarilla (<i>Senelicereus megalanthus</i>) hidrogenfriados y empacados con dos tipos de láminas plásticas	80
Tabla AI.1. Descripción de la tabla de color de la pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	95
Tabla AV.1. Descripción y características del film de PVC alimentario	103
Tabla AV.2. Descripción y características del film LDPE biodegradable	104
Tabla AXI.1. Propiedades del agua líquida a 10 °C	114
Tabla AXI.2. Coeficientes de la aproximación de un término de las soluciones de conducción transitoria unidimensional	118
Tabla AXI.3. Dimensiones tubería de cobre tipo “K”	122
Tabla AXI.4. Dimensiones tubería de acero inoxidable AISI 304	129
Tabla AXI.5. Pérdidas por fricción, longitud equivalente de tubería recta en diámetros de tubería (L_e/Φ)	129

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1. Fotografía de una planta de pitahaya amarilla con frutos (A), flor de pitahaya amarilla abierta durante la noche (B)	3
Figura 1.2. De izquierda a derecha: botón floral, flor fecundada, fruta inmadura y fruta madura de pitahaya amarilla	4
Figura 1.3. Sistema de tutorado con espaldera en T para pitahaya	6
Figura 1.4. Operaciones poscosecha de pitahaya	10
Figura 1.5. Patrón de temperatura típico en productos enfriados	21
Figura 1.6. Diagrama esquemático de un hidrogenfriador por aspersión (A) y de un hidrogenfriador por inmersión (B)	23
Figura 3.1. Curva de enfriamiento de los frutos de pitahaya amarilla hidrogenfriados hasta 12 °C con agua a 10 °C	43
Figura 3.2. Tasa de respiración de pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>) hidrogenfriada y sin hidrogenfriar almacenada durante 7, 14 y 21 días a 12 °C y 85 % HR más 5 días a 20 °C y 60 % HR	45
Figura 3.3. Gráfico de medias e intervalos LSD de valores de pH en la caracterización (0), en el primer (1), segundo (2) y tercer (3) período de almacenamiento	49
Figura 3.4. Gráfico de medias e intervalos LSD de valores de acidez titulable en la caracterización (0), en el primer (1), segundo (2) y tercer (3) período de almacenamiento	50
Figura 3.5. Gráfico de medias e intervalos LSD de valores de sólidos solubles totales en la caracterización (0), en el primer (1), segundo (2) y tercer (3) período de almacenamiento	51
Figura 3.6. Pérdida de peso (%) de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco hidrogenfriados, empacados y almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C y 85 % HR seguidos de 5 días a 20 °C y 60 % HR	52
Figura 3.7. Interacción entre variables de hidrogenfriamiento (H: frutos hidrogenfriados, SH: frutos sin hidrogenfriar) y tipo de empaque (LDPE: polietileno de baja densidad, PVC: cloruro de polivinilo)	

para pérdida de peso (%) de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco durante los períodos de almacenamiento	54
Figura 3.8. Firmeza (N) de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco hidrogenfriados, empacados y almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C y 85 % HR seguidos de 5 días a 20 °C y 60 % HR	56
Figura 3.9. Interacción entre variables de hidrogenfriamiento (H: frutos hidrogenfriados, SH: frutos sin hidrogenfriar) y tipo de empaque (LDPE: polietileno de baja densidad, PVC: cloruro de polivinilo) para firmeza (N) de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco durante los períodos de almacenamiento	57
Figura 3.10. Interacción entre variables de hidrogenfriamiento (H: frutos hidrogenfriados, SH: frutos sin hidrogenfriar) y tipo de empaque (LDPE: polietileno de baja densidad, PVC: cloruro de polivinilo) para marchitez del pedúnculo de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco durante los períodos de almacenamiento	61
Figura 3.11. Gráfico de medias e intervalos LSD de valores de presencia de patógenos en la caracterización (0), en el primer (1), segundo (2) y tercer (3) período de almacenamiento	62
Figura 3.12. Interacción entre variables de hidrogenfriamiento (H: frutos hidrogenfriados, SH: frutos sin hidrogenfriar) y tipo de empaque (PE: polietileno de baja densidad, PVC: cloruro de polivinilo) para manchas pardas de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco durante los períodos de almacenamiento	65
Figura 3.13. Concentración de CO ₂ en el interior de empaques de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco hidrogenfriados, empacados y almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C y 85 % HR seguidos de 5 días a 20 °C y 60 % HR	69
Figura 3.14. Esquema de distribución de las gavetas dentro del hidrogenfriador: vista frontal (A), vista lateral (B)	72
Figura 3.15. Diagrama esquemático del hidrogenfriador por inmersión con recirculación de agua	74
Figura 3.16. Flujograma de la aplicación de los tratamientos poscosecha de hidrogenfriamiento y empaque en pitahaya amarilla	77
Figura AI.1. Tabla de color de la pitahaya amarilla (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	95
Figura AII.1. Remoción de espinas y corte de pedúnculo durante la cosecha (A), desinfección de los frutos (B)	96

Figura AIV.1. Escala de turgencia	98
Figura AIV.2. Escala de marchitez del pedúnculo	99
Figura AIV.3. Escala de presencia de patógenos	100
Figura AIV.4. Escala de daño físico	101
Figura AIV.5. Escala de presencia de manchas pardas	102
Figura AVI.1. Frutos de pitahaya empacados en bandejas de poliestireno recubiertas con láminas de PVC (A), frutos de pitahaya empacados en bandejas de poliestireno recubiertas con láminas de LDPE (B)	105
Figura AVI.2. Almacenamiento de frutos de pitahaya empacados en el cuarto frío (A), almacenamiento de frutos de pitahaya empacados a temperatura ambiente (B)	105
Figura AVII.1. Fotografía del analizador rápido de CO ₂ -O ₂ y sus partes principales	106
Figura AVIII.1. Fotografía del tablero de mezcla del sistema de respiración	107
Figura AVIII.2. Tableros de flujo, humidificadores y cámaras de respiración almacenadas en el cuarto frío (A) y a temperatura ambiente (B)	107
Figura AX.1. Fotografías de frutos hidrogenfriados y empacados con PVC (A), sin hidrogenfriar y empacados con PVC (B), hidrogenfriados y empacados con LDPE (C) y sin hidrogenfriar y empacados con LDPE (D) almacenados durante 7 días a 12 °C y 85 % HR más 5 días a 20 °C y 60 % HR	110
Figura AX.2. Fotografías de frutos hidrogenfriados y empacados con PVC (A), sin hidrogenfriar y empacados con PVC (B), hidrogenfriados y empacados con LDPE (C) y sin hidrogenfriar y empacados con LDPE (D) almacenados durante 14 días a 12 °C y 85 % HR más 5 días a 20 °C y 60 % HR	111
Figura AX.3. Fotografías de frutos hidrogenfriados y empacados con PVC (A), sin hidrogenfriar y empacados con PVC (B), hidrogenfriados y empacados con LDPE (C) y sin hidrogenfriar y empacados con LDPE (D) almacenados durante 21 días a 12 °C y 85 % HR más 5 días a 20 °C y 60 % HR	112

Figura AXI.1. Esquema de distribución de las gavetas dentro del hidrofriador con sus respectivas dimensiones: vista frontal (A), vista lateral (B)	113
Figura AXI.2. Esquema de distribución de los tubos del serpentín dentro del evaporador con sus respectivas dimensiones: vista frontal (A), vista lateral (B)	122
Figura AXI.3. Diagrama de Mollier para el refrigerante R-134a	124
Figura AXI.4. Diagrama esquemático del hidrofriador por inmersión con las longitudes de tubería para recirculación de agua	126
Figura AXI.5. Curvas de operación de la bomba centrífuga ISO 2858	130

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Tabla de color de pitahaya amarilla	95
ANEXO II Cosecha y desinfección de pitahaya amarilla	96
ANEXO III Formulario para evaluación sensorial de pitahaya	97
ANEXO IV Escala para evaluación de la calidad visual de pitahaya amarilla	98
ANEXO V Información técnica de las películas plásticas utilizadas en la experimentación	103
ANEXO VI Almacenamiento de pitahaya amarilla	105
ANEXO VII Condiciones de operación del analizador rápido de CO ₂ -O ₂ Post Harvest Research	106
ANEXO VIII Sistema dinámico de respiración para pitahaya amarilla	107
ANEXO IX Cálculo del flujo de aire que debe ingresar a las cámaras de respiración	108
ANEXO X Fotografías de frutos durante el almacenamiento	110
ANEXO XI Cálculos para el diseño de un hidrogenfriador por inmersión	113

GLOSARIO

Abscisión. Separación o caída normal de un órgano, ya sea una rama, una hoja o un fruto, al deshacerse las paredes celulares en la base de dicho órgano (SALVAT Diccionario, 1978, Tomo 1, p. 11).

Antocianinas. Grupo de pigmentos que ocasionan la mayor parte de las coloraciones rojas, azules y violetas de las flores; así como también del epicarpio de los frutos. Son hidrosolubles y se encuentran disueltos en el citoplasma y líquido vacuolar (SALVAT Diccionario, 1978, Tomo 1, p. 220).

Areolas.- Yemas axilares. Son claramente visibles y generalmente aparecen como pequeñas protuberancias de colores claros u oscuros, de donde surgen los grupos de espinas (García, 2003, p. 7).

Bacterias sicrotrofas. Aquellas capaces de reproducirse a 7 °C o incluso a temperaturas inferiores, independientemente de su temperatura óptima de crecimiento (Blylund, 2003, p. 50).

Carotenoides. Grupo de pigmentos de coloraciones amarillo y rojo, son insolubles en agua. Los principales son los carotenos (α , β), la xantofila y el licopeno (SALVAT Diccionario, 1978, Tomo 3, p.685).

Clorofila. Pigmento de color verde contenido en los plastos (cloroplastos) que participa en el proceso de la fotosíntesis (RAE, 2001).

Epicarpio. Capa externa, entre la epidermis y el hueso del fruto (RAE, 2001).

Esqueje. Tallo o brote de una planta que se emplea para injertarlo en otra o para plantarlo con el fin de que eche raíces y nazca una nueva planta (RAE, 2001).

Flor hermafrodita. Flor que posee los dos órganos reproductores (androceogineceo), por esta cualidad puede auto-polinizarse (WordReference, 2005).

Fruto indehisciente. Fruto que no está preparado para abrirse espontáneamente de forma que sus semillas puedan esparcirse (WordReference, 2005).

Mamilas. Partes externas de la pitahaya que presentan forma de mama (Norma técnica colombiana NTC 3554, 1996).

Ovario ínfero. Se dice del tipo de ovario de las fanerógamas que se desarrolla por debajo del cáliz (RAE, 2001).

Ovario unilocular. Ovario con una sola cavidad (SALVAT Diccionario, 1978, Tomo 9, p. 2490).

Trampas McPhail. Trampa de plástico de dos secciones interconectadas, una tapa transparente y un embudo invertido. Se utiliza para el monitoreo y control de moscas de la fruta de cualquier especie. Como atrayente se utiliza proteína hidrolizada y borizada de maíz o feromonas (Matheus, 2005, pp. 40 y 41).

RESUMEN

En esta investigación se estudió el efecto de la aplicación de hidrogenfriamiento y el uso de empaques en la calidad poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), procedente del cantón Pedro Vicente Maldonado de la provincia de Pichincha. Se utilizaron pitahayas amarillas en estado de madurez cinco, que corresponde a frutos de color amarillo con puntas de mamilas ligeramente verdosas según la escala de color fijada en la norma técnica colombiana NTC 3554.

Los frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar fueron empacados, con polietileno de baja densidad biodegradable (LDPE) y cloruro de polivinilo (PVC), y almacenados hasta 28 días a 12 °C y 85 % de humedad relativa (HR) más 5 días a temperatura ambiente (\approx 20 °C) y 60 % HR para simular el tiempo de vida en estante. Se determinó tasa de respiración (TR) de los frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar, concentración de CO₂ en el interior del empaque, pérdida de peso (%), firmeza, pH, acidez titulable y contenido de sólidos solubles totales; también se evaluó la calidad visual y sensorial de las muestras. Los análisis se realizaron a los 7, 14, 21 y 28 días a 12 °C más 5 días a 20 °C. Además, se diseñó un hidrogenfriador por inmersión y finalmente se estimó el costo de aplicación de los tratamientos poscosecha utilizados. Los frutos almacenados durante 28 días a 12 °C más 5 días a 20 °C presentaron deterioro causado por patógenos por lo que los datos de este período de almacenamiento no fueron incluidos en la investigación.

El hidrogenfriamiento no influyó en la TR, los frutos sin hidrogenfriar y los hidrogenfriados presentaron un patrón de respiración de productos no climatéricos.

La aplicación de hidrogenfriamiento y la utilización de empaques permitieron reducir la pérdida de la calidad poscosecha de pitahaya amarilla. Después de 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C la pérdida de peso en frutos empacados con LDPE y PVC fue inferior al 0,4 y 1,8 %, respectivamente. La firmeza disminuyó en alrededor de 21 % para los frutos hidrogenfriados y 28 % para los frutos sin

hidroenfriar. No existió diferencia estadísticamente significativa para la concentración de CO₂ en el interior de empaques y fue inferior al 2,5 %.

La calidad visual de los frutos se mantuvo con características aptas para el consumo durante 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C. No se detectaron sabores extraños en los frutos, sin embargo, se presentó un ligero olor a humedad.

Se diseñó un hidroenfriador por inmersión con recirculación de agua con capacidad para 250 kg de frutos de pitahaya amarilla, con un tiempo de enfriamiento de 62 min. La temperatura de trabajo del agua fue de 10 °C y los frutos se hidroenfriaron hasta que la temperatura en su interior fue de 12 °C. La potencia de la bomba para recirculación del agua resultó de 2,1 HP y la potencia del compresor de 2 HP.

El costo de 1 kg de frutos de pitahaya amarilla hidroenfriados y empacados con LDPE y PVC fue de \$ 4,98 y \$ 5,01, respectivamente. El precio de venta con una utilidad del 25 % resultó de \$ 6,23 para frutos empacados con LDPE y \$ 6,26 para frutos empacados con PVC, valores inferiores al precio de comercialización de la pitahaya amarilla en el mercado internacional lo que podría favorecer el mercadeo de los frutos con los tratamientos poscosecha de hidroenfriamiento y empaque.

INTRODUCCIÓN

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) se cultiva en zonas tropicales y subtropicales con una temperatura entre 18-28 °C y altitud promedio de 1 600 m.s.n.m. Contiene fibra, fósforo, calcio y vitamina C, además sus semillas poseen un efecto laxante (García, 2003, pp. 6 y 19). Esta variedad de pitahaya ocupa el 7,8 % del área total de pitahayas cultivadas a nivel mundial, donde Colombia es el primer productor seguido de Israel, Brasil y Ecuador (Betancourt *et al.*; 2010, p. 21).

En Ecuador se cultivan dos ecotipos de pitahaya amarilla, uno se produce en el Callejón Interandino y otro en la Amazonía (Comunicación personal con Ing. Wilson Vásquez, Programa experimental de fruticultura, INIAP-Tumbaco). Los principales países importadores de pitahaya amarilla producida en Ecuador son Holanda, Francia, España y Singapur (Banco Central de Ecuador, 2013).

En el 2011 las pérdidas poscosecha en países industrializados fueron inferiores al 20 %, mientras que en países en desarrollo superaron el 30 % (Gustavsson, Cederberg, Sonesson, Otterdijk y Meybeck, 2012, pp. 7 y 8). Los factores biológicos como la tasa de respiración, producción de etileno, transpiración y el ataque de patógenos afectan la calidad de los productos hortofrutícolas desde su cosecha hasta que llegan al consumidor, además factores ambientales como la temperatura y la humedad relativa tienen una influencia marcada en la calidad poscosecha de los productos frescos (Kader, 2002, p. 39).

Los principales problemas en el período poscosecha que presenta la pitahaya amarilla se relacionan con la pérdida de peso, daño por frío y daño mecánico (Díaz, 2005, p. 48).

Existen diversos tratamientos poscosecha para incrementar el tiempo de vida útil de los productos hortofrutícolas, tales como: tratamientos térmicos, radiaciones ionizantes, pre-enfriamiento, uso de atmósferas modificadas, recubrimientos comestibles y almacenamiento bajo condiciones de temperatura y humedad

relativa controladas (Kader, 2002, pp. 44-46). En el pre-enfriamiento la temperatura de los productos frescos se reduce después de la cosecha, por tanto se disminuye la actividad respiratoria y se retarda la velocidad de desarrollo de microorganismos (Sánchez, 2004, p. 11). La tecnología de conservación en atmósfera modificada, consiste en crear una atmósfera pobre en O₂ y rica en CO₂, bajo estas condiciones se disminuye la tasa de respiración, se reduce el crecimiento microbiano e incluso puede disminuir el daño por frío (García, Gago y Fernández, 2006, pp. 16 y 17).

Esta investigación busca proporcionar una alternativa tecnológica económica para incrementar el tiempo de vida útil de la pitahaya amarilla al reducir la pérdida de su calidad mediante la aplicación de hidrogenfriamiento y la utilización de empaques, hecho que podría aportar al desarrollo de esta agrocadena en el país y facilitar el ingreso de este producto a nuevos mercados a nivel internacional.

El objetivo general de esta investigación fue mantener la calidad poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) procedente del cantón Pedro Vicente Maldonado de la provincia de Pichincha. Para lograr este propósito se determinaron los siguientes objetivos específicos: determinar las características físicas y químicas de la materia prima, evaluar el efecto del hidrogenfriamiento y el uso de dos tipos de empaque en la calidad poscosecha de pitahaya amarilla almacenada bajo condiciones de temperatura y humedad relativa controladas, evaluar el efecto del hidrogenfriamiento en la tasa de respiración de pitahaya amarilla, diseñar un hidrogenfriador por inmersión y estimar el costo de implementación de los tratamientos poscosecha aplicados.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PITAHAYA AMARILLA

1.1.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LA PITAHAYA AMARILLA

La pitahaya es una planta originaria de México, América Central y el norte de Sudamérica (Ricalde y Andrade, 2009, p. 36). La primera referencia histórica sobre la pitahaya amarilla se remonta al siglo XIII, época en la que era consumida y apreciada por los indígenas de las zonas mencionadas. Su distribución a nivel mundial fue llevada a cabo por los conquistadores españoles quienes la bautizaron con el nombre de “pitaya” que significa fruta escamosa (Betancourt, *et al.*; 2010, p. 22).

Los tipos de pitahayas más comercializadas a nivel mundial son: la roja con pulpa roja (*Hylocereus undatus*), la roja con pulpa blanca (*Hylocereus costarricensis*) y la amarilla con pulpa blanca (*Selenicereus megalanthus*); las especies de género *Hylocereus* se cultivan actualmente en México, Nicaragua, Vietnam, Tailandia, Malasia, Israel y Brasil, la especie del género *Selenicereus* se cultiva en Colombia, Israel, Brasil y Ecuador (Betancourt, *et al.*; 2010, p. 19; Rojas, *et al.*; 2008, p. 1).

1.1.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta (Angiospermae)
Clase:	Magnoliopsida
Familia:	Cactaceae
Género:	Selenicereus
Especie:	megalanthus

(Kondo, *et al.*; 2011, p. 6)

1.1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La pitahaya amarilla es una cactácea perenne de hábito trepador, adaptada a ambientes secos y áridos (Rodríguez, *et al.*; 1993, p. 3).

La pitahaya tiene dos tipos de raíces: las principales y las secundarias o adventicias. Las raíces principales profundizan de 5-25 cm en el suelo y se extienden a un diámetro aproximado de 30 cm. Las raíces secundarias se desarrollan a lo largo del tallo y permiten a la planta fijarse a su tutor y absorber agua y sustancias nutritivas (Lezama, *et al.*; 2000, p. 2; Rodríguez, *et al.*; 1993, p. 3).

Los tallos tienen forma triangular, son suculentos y poseen espinas de 4-6 mm de largo en las areolas ubicadas en los bordes. Las plantas de pitahaya son muy largas y ramificadas, cada sección puede alcanzar hasta 2 m de largo y su diámetro puede oscilar entre 5-6 cm. Los tallos colgantes son los que producen flores y posteriormente frutos, de aquí la importancia de utilizar tutores (Lezama, *et al.*; 2000, p. 2; Mora, 2012, p. 6). Los estomas se abren solamente por la noche para evitar la pérdida de agua, debido a esta adaptación fisiológica la planta sólo puede absorber dióxido de carbono durante la noche y debe almacenarlo como ácidos orgánicos en las vacuolas para realizar el proceso fotosintético durante el día, este tipo de metabolismo es propio de las cactáceas y se denomina metabolismo del ácido crasuláceo (Ricalde y Andrade, 2009, p. 40; Sánchez, *et al.*; 2000, p. 4).

La flor es hermafrodita, tubular, blanca, rosada o amarilla y mide de 20-30 cm, posee un ovario ínfero, unilocular y recubierto de espinas; es nocturna y se abre solamente una vez (Díaz, 2005, p. 45; Rodríguez, *et al.*; 1993, p. 3). Cuando las flores han sido fecundadas toman posición colgante (Lezama, *et al.*; 2000, p. 3).

El fruto es una baya indehisciente de forma ovoide, mide de 10-12 cm de diámetro y puede llegar a medir hasta 12 cm de largo, pesa 180-250 g en promedio. La cáscara es de color verde antes de madurar y amarilla en la madurez, está

cubierta de escamas foliáceas denominadas mamilas que poseen grupos de espinas de 1,5 cm de largo aproximadamente, la pulpa es dulce y blanca con abundantes y pequeñas semillas de color negro que contienen aceite con un alto contenido de ácidos grasos insaturados (Díaz, 2005, p. 45; León, 2000, p. 81). En la Figura 1.1 se presenta la fotografía de una planta de pitahaya amarilla en las instalaciones de la finca agrícola "PITACAVA".



Figura 1.1. Fotografía de una planta de pitahaya amarilla con frutos (A), flor de pitahaya amarilla abierta durante la noche (B)

1.1.4 ETAPAS DE DESARROLLO

El ciclo de floración inicia con la aparición del botón floral en la areola del tallo, después de aproximadamente 10 semanas se produce la fecundación de la flor y en la semana 11 se produce su caída. En la semana 23 la fruta adquiere las características organolépticas deseadas para el consumo, sin embargo la cosecha se puede llevar a cabo desde la semana 21 (García, 2003, pp. 22-25; Lezama, *et al.*; 2000, p. 8). El peso se incrementa de forma constante durante las primeras semanas de desarrollo y aumenta aceleradamente después de la caída de la flor. Los grados brix se incrementan durante el desarrollo de los frutos y la acidez disminuye (García, 2003, p. 25). En la Figura 1.2 se observa la formación y desarrollo del fruto de pitahaya amarilla.



Figura 1.2. De izquierda a derecha: botón floral, flor fecundada, fruta inmadura y fruta madura de pitahaya amarilla

1.1.5 MANEJO DEL CULTIVO

El cultivo de pitahaya amarilla se desarrolla adecuadamente entre 1 200 - 2 000 m.s.n.m. con temperaturas comprendidas entre 18 - 26 °C y precipitaciones del orden de los 800 - 1 500 mm/año. Necesita de suelos francos a franco-arenosos, con pH entre 5,5 y 6,5, con buen drenaje y con una pendiente máxima del 50 %. La tasa de crecimiento de la planta se ve favorecida cuando recibe 60 % de luz solar (García, 2003, p. 9; Ricalde y Andrade, 2009, p. 43).

La pitahaya puede reproducirse de forma sexual mediante semillas o asexual con la utilización de partes vegetativas. Para fines comerciales la reproducción se realiza con esquejes provenientes de los tallos, ya que las plantas procedentes de semilla demoran hasta 5 años más para empezar la producción (García, 2003, p. 10). Los esquejes deben provenir de plantas sanas, adultas y productivas, una vez que han sido cortados se aplican soluciones bactericidas y fúngicas y se colocan bajo sombra en un lugar aireado durante 2-4 días para evitar la deshidratación y lograr la cicatrización en el área en la cual se efectuó el corte (Lezama, *et al.*; 2000; p. 4; OIRSA, 2000, pp. 18,19). El cultivo de pitahaya consta de cuatro etapas: vivero, instalación en campo, mantenimiento y producción.

En el vivero se siembran segmentos de estacas de entre 20-30 cm de largo en bolsas, con sustrato suelto y rico en materia orgánica, con la orientación de crecimiento que tenían en la planta madre. Las plántulas permanecerán allí de 4 a

6 meses, durante los cuales se deben realizar riegos periódicos y un control fitosanitario (García, 2003, p. 10; OIRSA, 2000, pp. 20, 21).

La etapa de instalación en campo inicia con la limpieza del terreno que consiste en retirar malezas y posteriormente se realiza una labranza mínima ya que la pitahaya tiene un sistema radicular superficial. Las distancias de siembra más usadas son de 3×3 m para un total de 1100 plantas/ha y de $3 \times 1,5$ m para un total de 2200 plantas/ha. Se recomienda realizar la siembra en época lluviosa para garantizar el adecuado desarrollo del material vegetativo en el campo, si se siembra en época seca se debe realizar un riego continuo (Betancourt, *et al.*; 2010, pp. 52, 53; Mora, 2012, p. 9). Debido a que la pitahaya es una planta trepadora se hace necesario el uso de tutores. Los esquejes se siembran a una profundidad de 15-20 cm y pegados al tutor, al mes iniciará la aparición de raíces adventicias que fijarán las nuevas plántulas al tutor. Existen varios sistemas de tutorado que pueden ser empleados: espaldera tradicional, espaldera en T, emparrado y tradicional (García, 2003, p. 11; OIRSA, 2000, pp. 25). El sistema de cultivo más utilizado es el tutorado con espaldera en T ya que permite que las ramas productivas cuelguen sobre los corredores y así la cosecha sea más fácil; en este sistema se ubican postes de 2 m de largo separados una distancia de 1 m, se colocan crucetas de madera a 1,70 m de altura en los postes sobre estas se tiende alambre galvanizado, uno a cada lado, separados 60 cm. Conforme los tallos productivos crecen son colocados sobre el alambre, como se observa en la Figura 1.3 (García, 2003, p. 11; OIRSA, 2000, pp. 27, 28).

En la etapa de mantenimiento se busca garantizar una producción sostenible y rentable, mediante la ejecución de labores como fertilización, podas, control fitosanitario y de malezas. Las plantas de pitahaya inician su producción al año o dos años del trasplante, dependiendo si se utilizan plantas producidas en vivero o tallos y de la época en la que se siembren, la producción inicial promedio es de 4,5 t/ha y se incrementa continuamente hasta el quinto o sexto año cuando alcanzan un promedio de 10 t/ha. El cultivo puede tener una vida productiva de hasta 10 años con un manejo adecuado (Mora, 2012, p. 12).

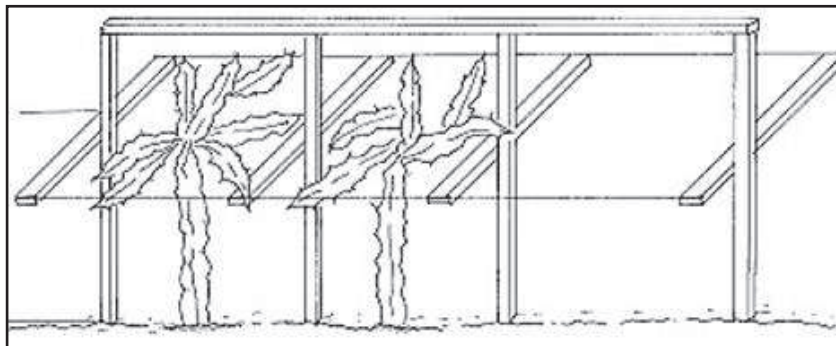


Figura 1.3. Sistema de tutorado con espaldera en T para pitahaya (OIRSA, 2000, p. 28)

1.1.5.1 Fertilización

No existen estudios que reporten las exigencias nutricionales del cultivo de pitahaya, sin embargo se conoce que requiere de niveles altos de potasio, medios de nitrógeno y bajos de fósforo para un apropiado desarrollo vegetativo y un alto rendimiento durante la producción (Lezama, *et al.*; 2000; p. 7).

La fertilización debe realizarse en base a un análisis de suelo, se recomienda efectuar una aplicación cada tres meses para que la planta disponga de nutrientes en forma permanente y dosificada, así se evitan intoxicaciones y el fertilizante es aprovechado más eficientemente. La aplicación puede hacerse directamente al suelo o en forma foliar. La planta tiene una respuesta positiva a la aplicación de materia orgánica y en forma general a fertilizantes orgánicos como humus y compost (Martínez, Cardozo y Medina, 2013, pp. 61 y 62). La aplicación foliar favorece la floración y la fructificación, debe realizarse al final de la tarde o en las primeras horas de la mañana cuando los estomas se encuentran abiertos porque la asimilación de nutrientes es mayor (García, 2003, pp. 13 y 14).

1.1.5.2 Podas

En el cultivo de pitahaya se realizan tres tipos de poda: de formación, de mantenimiento y de sanidad (OIRSA, 2000, p. 35).

La poda de formación consiste en mantener el crecimiento de un solo tallo al eliminar todos los brotes que aparezcan, hasta que este alcance la parte superior del tutor, entonces se permitirá el desarrollo de nuevos tallos garantizándose una buena fructificación (García, 2003, p. 12; OIRSA, 2000, p. 35). La poda de mantenimiento consiste en eliminar tallos improductivos que obstaculizan las labores culturales o de recolección de frutos, además evita el peso excesivo de la planta y facilita la circulación de aire y luz entre la masa de tallos, lo que favorece la fructificación y previene el desarrollo de hongos y bacterias (García, 2003, p. 12; OIRSA, 2000, p. 36). La poda de sanidad consiste en eliminar tallos afectados por plagas o enfermedades, todo el material proveniente de este tipo de poda debe quemarse o enterrarse en un lugar apartado de la plantación para evitar la reinfección (Lezama, *et al.*; 2000; p. 8).

1.1.5.3 Control de malezas

Las malezas compiten con el cultivo por nutrientes, agua y luz; además, crean microclimas al aumentar la humedad relativa lo que favorece el crecimiento de patógenos y algunas pueden ser hospederas de plagas y enfermedades. Se deben realizar los deshierbes que sean necesarios de acuerdo con las necesidades de cada plantación, en caso de utilizar herbicidas se debe direccionar la boquilla de la bomba hacia las malezas y hacerlo cuando el viento sea poco para evitar salpicar a las plantas (Lezama, *et al.*; 2000, p. 8; Mora, 2012, p. 11).

1.1.5.4 Plagas y enfermedades

En la Tabla 1.1 se describen las principales enfermedades en el cultivo de pitahaya, los daños que causan y como combatirlas.

Tabla 1.1. Principales enfermedades en el cultivo de pitahaya amarilla

Enfermedad	Nombre científico	Síntomas y daños	Control
Pudrición basal del fruto	<i>Fusarium spp.</i>	Se caracteriza por una lesión amarilla o marrón en el pedúnculo que da lugar a una pudrición blanda, cuando hay un alto grado de severidad de la enfermedad puede ocasionar la caída del fruto.	Eliminación de frutos afectados, aplicación de fungicidas con diferente principio activo desde la floración.
Pudrición suave de la penca	<i>Erwinia spp.</i>	Se caracteriza por manchas amarillas de aspecto acuoso que se propagan rápidamente. Ataca tallos.	Podas sanitarias.
Antracnosis	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Se caracteriza por pequeñas manchas circulares de color marrón, conforme avanza la enfermedad estas lesiones adquieren un color negro con aspecto hundido y seco. En ataques severos la parte afectada se desprende dejando huecos. Ataca frutos y tallos.	Podas sanitarias, aplicación de fungicidas con diferente principio activo.

(Betancourt, *et al.*; 2010, p. 189; Mora, 2012, pp. 13-15)

La principal plaga que ataca al cultivo de pitahaya es la mosca del botón floral (*Dasiops saltans*). La mosca ataca entre la cuarta y la sexta semana después de la aparición del botón floral cuando deposita sus huevos dentro del mismo, las pérdidas pueden ser de entre el 40 y el 80 % de las flores emitidas en un ciclo de floración. Los botones florales afectados se caracterizan por presentar coloración rojiza y por el hecho de que se desprenden muy fácilmente. Para combatir a la mosca del botón floral se recomienda recolectar periódicamente los botones que muestren indicios de haber sufrido daños para romper con el ciclo de la plaga, también se pueden colocar trampas McPhail y realizar control químico (Betancourt, *et al.*; 2010, p. 187; Kondo, *et al.*; 2011, p. 8).

1.1.5.5 Cosecha

La pitahaya es una fruta estacionaria, por lo que su cosecha se realiza en determinadas épocas del año, lo que genera períodos de escasez y sobreoferta que influyen directamente en el precio (Naranjo, 2011; p. 21).

Generalmente la pitahaya se cosecha en estado de madurez 3 a 4 de acuerdo con la escala de color fijada en la norma técnica colombiana NTC 3554 que corresponde a un 50 a 75 % de color amarillo en la cáscara, además no debe presentar ningún signo de ataque de patógenos, cortes, magulladuras, deshidratación o color anormal (ICONTEC, 1996, pp. 1 y 3). Los frutos se deben recolectar en las primeras horas de la mañana cuando la temperatura es baja para evitar el calentamiento que puede acelerar los procesos de deterioro. Para cosechar la pitahaya se realizan dos actividades básicas: la remoción de espinas y el corte de la fruta del cacto. Las espinas se remueven del fruto con un cepillo y el corte se realiza con una incisión en forma de “V” en el tallo con tijeras de podar. Las pitahayas se recolectan en jabas plásticas y se transportan hasta un centro de acopio (Martínez, Medina y Muñoz, 2013, pp. 88 y 89; Mora, 2012, p. 12).

1.1.5.6 Poscosecha

La poscosecha abarca todas las operaciones técnicas que se realizan desde que los productos hortofrutícolas se cosechan hasta que llegan al consumidor (Mondino y Ferratto, 2006, p. 95). En la Figura 1.4 se presenta un esquema de las operaciones poscosecha que se realizan en la pitahaya amarilla.

Los frutos que llegan de campo se pesan y se almacenan en un lugar bajo sombra o refrigerados a 10-12 °C. A continuación se separan los frutos que presenten daño causado por patógenos, magulladuras o manchas, las pitahayas ya clasificadas se dividen de acuerdo al peso y color (García, 2003, p. 16). Una vez que los frutos han sido clasificados se corta el pedúnculo para eliminar puntas que puedan causar daño mecánico, esta operación se realiza con tijeras

previamente desinfectadas. Los frutos se colocan en tinas con agua y se cepilla para eliminar impurezas, posteriormente se sumergen los frutos en una solución de Mertec (I.A. Tiabendazol) al 0,1 % o de ácidos orgánicos (ácido cítrico, tartárico y láctico en iguales proporciones) durante un minuto. La pitahaya se coloca sobre mesas de escurrido para eliminar el exceso de humedad procedente del lavado y la desinfección, se puede utilizar ventilación para acelerar este proceso (Jaramillo, 2010, pp. 24 y 25).

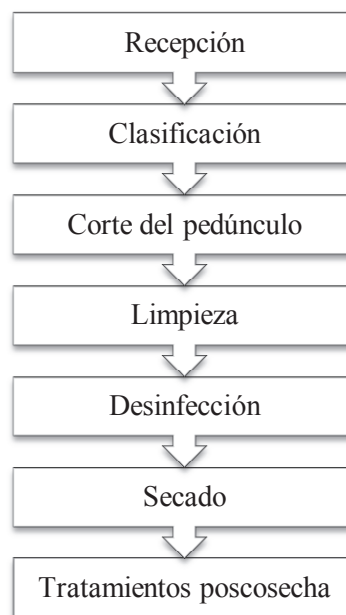


Figura 1.4. Operaciones poscosecha de pitahaya

Se pueden aplicar diversos tratamientos poscosecha para incrementar la vida útil de los productos hortofrutícolas, entre los principales se encuentran: pre-enfriamiento, almacenamiento refrigerado bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, uso de empaques, atmósferas modificadas y controladas, recubrimientos comestibles e irradiación (Kader, 2002, pp. 43-46).

1.1.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL

En la Tabla 1.2 se presenta la composición química y nutricional de la pulpa de pitahaya amarilla.

Tabla 1.2. Composición química y nutricional de pitahaya amarilla

Analito	Contenido nutricional de materia comestible (100 g)
Humedad (%)	85,35
Lípidos (%)	0,21
Proteínas (%)	0,40
Carbohidratos (%)	9,91
Fibra cruda (%)	0,70
Cenizas (%)	0,50
Energía (kcal)	67,70
Potasio (mg)	74,88
Calcio (mg)	3,47
Fósforo (mg)	30,20
Hierro (mg)	0,55
Vitamina C (mg)	8,00

(Díaz, 2005, pp. 46,47)

La pitahaya es una buena fuente de azúcares como glucosa y fructosa, fibra dietética, minerales y vitaminas. El valor energético de la pitahaya es inferior al del banano pero igual que el de la piña y el mango. Las concentraciones de hierro, zinc, sodio y magnesio que tiene la pitahaya son mayores que en varios frutos. La pitahaya amarilla es la más dulce de los tres tipos de pitahaya que se comercializan, en promedio tiene 19 °Brix frente a 12 °Brix de la pitahaya roja con pulpa roja y 10,6 °Brix de la pitahaya roja con pulpa blanca (Díaz, 2005, p. 46).

La capacidad antioxidante de la pitahaya es similar a la reportada para algunos frutos del género *Vaccinium*, considerados como los frutos con la mayor capacidad antioxidante (Dembitsky, *et al.*; 2011, p. 1677). La pulpa contiene una sustancia denominada captina que ayuda a prevenir problemas cardiovasculares y actualmente se investiga como alternativa para combatir ciertos tipos de cáncer, sus semillas contienen un aceite rico en ácidos grasos esenciales como el oleico, linoleico y linolénico lo que le confiere un efecto laxante y permite mantener el adecuado funcionamiento del sistema digestivo (Dembitsky, *et al.*; 2011, p. 1676; Rebolledo, Del Ángel, Becerra, Rosas y Zetina, 2009, p. 9).

1.1.7 SITUACIÓN DEL CULTIVO DE PITAHAYA AMARILLA EN EL ECUADOR

En el Ecuador se cultivan dos ecotipos de pitahaya amarilla pertenecientes a la especie *Selenicereus megalanthus*, uno se produce en el Callejón Interandino y otro en la Amazonía (Programa experimental de fruticultura, INIAP-Tumbaco).

De acuerdo con el último censo agropecuario realizado en el país en el año 2 000, el total de la superficie sembrada exclusivamente con pitahaya fue de 165,5 ha. La mayoría de la producción nacional está localizada en la provincia de Pichincha con el 76,8 % (Nanegalito, Mindo, Pedro Vicente Maldonado, Los Bancos, Puerto Quito), le sigue la Región Amazónica con el 11,47 % (Palora-Morona Santiago, Puyo), Guayas con el 4,7 % y finalmente Bolívar con el 3,9 % (Echandía) (INEC, 2000). En el país se realizan tres grandes cosechas al año, en los meses de Enero-Marzo, Junio-Julio y de Octubre-Diciembre. Durante el año 2012 los principales países importadores de pitahaya amarilla procedente de Ecuador fueron Francia, Singapur, Holanda y España con 20,89 t, 20,59 t, 10,67 t y 9,14 t respectivamente (Banco Central del Ecuador, 2013).

1.1.8 USOS

El fruto ha sido la parte consumida tradicionalmente y al ser considerado un producto exótico logra precios atractivos en los mercados internacionales. La pulpa sin semillas se puede concentrar, estos concentrados pueden ser sometidos a su vez a otros procesos como la congelación o la liofilización para incrementar su tiempo de vida en anaquel. La pulpa también puede ser deshidratada o utilizarse como sustrato de fermentación. Tanto con la pitahaya roja como con la amarilla pueden elaborarse jugo, yogurt, mermelada, jarabes e incluso productos para bebé (Esquivel y Araya, 2012, pp. 122 y 123; Santacruz, C., Santacruz, V. y Huerta, 2009, pp. 32-38).

Existen reportes del consumo de brotes de tallo como verduras por ser ricos en hierro y por su elevado valor energético, incluso superior al de la zanahoria y la

lechuga (Castillo, 2006, p. 19). Fracciones licuadas de tallos también se utilizan para tratar afecciones de riñones, dolor de cabeza, llagas y tumores de la piel, cansancio en los pies y para eliminar la caspa (Rebolledo, *et al.*; 2009, p. 9). La infusión de las flores de pitahaya es usada como tónico cardíaco. De los tres tipos de pitahaya se pueden extraer colorantes y pectinas presentes en la cáscara (Rebolledo, *et al.*; 2009, p. 10; Sánchez, *et al.*; 2000, pp. 9-11).

Las plantas de pitahaya también tienen un uso ornamental y pueden ser utilizadas como barreras protectoras en forma de cerca viva (Castillo, 2006, p. 20).

1.2 FACTORES BIOLÓGICOS Y AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL MANEJO POSCOSECHA DE PITAHAYA AMARILLA

El inadecuado manejo poscosecha de productos hortofrutícolas puede causar pérdidas de hasta 20 % en países desarrollados y superiores al 30 % en países en vías de desarrollo (Gustavsson, Cederberg, Sonesson, Otterdijk y Meybeck, 2012, pp. 7 y 8). Para lograr minimizar estas pérdidas se debe comprender los factores biológicos y ambientales que están involucrados en el deterioro de frutos y vegetales, además aplicar tecnologías poscosecha para mantener la calidad de los productos y prolongar su tiempo de vida útil (Alzamora, Guerrero, Nieto y Vidales, 2004, p. 2).

Los productos hortofrutícolas son organismos vivos que están sometidos a procesos fisiológicos y patológicos. La respiración, transpiración, producción de etileno, daño físico del tejido y el ataque de microorganismos intervienen en la pérdida de calidad de productos frescos durante la poscosecha, por lo tanto es fundamental conocer los factores que aceleran o retardan los efectos de estos parámetros en los frutos (Kader, 2002, p. 39; Mondino y Ferratto, 2006, p. 96).

1.2.1 FACTORES BIOLÓGICOS QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO

1.2.1.1 Respiración

La respiración es un proceso metabólico que tiene como función principal liberar energía almacenada en la planta en forma de carbohidratos, proteínas y lípidos. En la respiración se consume oxígeno y se libera dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y calor (Sánchez, 2004, p. 105). Varios factores influyen en la respiración de los productos hortofrutícolas como la especie, la variedad, el grado de madurez del producto, la temperatura y la composición de los gases del ambiente. La perecibilidad de los productos hortofrutícolas está directamente relacionada con la tasa de respiración, a mayor tasa de respiración menor tiempo de vida útil (Arias y Toledo, 2007, pp. 1 y 2).

Durante las primeras etapas de desarrollo los productos hortofrutícolas presentan una elevada actividad respiratoria que disminuye conforme llegan a la madurez. Sin embargo, la tasa de respiración de algunos frutos se incrementa hasta un punto máximo, conocido como “pico climatérico”, después del cual la actividad respiratoria disminuye nuevamente; a estos frutos se los conoce como climatéricos. Los frutos no climatéricos, por otro lado, no presentan un incremento en los patrones de producción de CO_2 durante la maduración (Cantos, 2003, pp. 7 y 8; Paull y Duarte, 2011, pp. 104, 105). Los productos climatéricos deben ser cosechados en madurez fisiológica, es decir cuando el fruto ha alcanzado un estado de desarrollo que le permite seguir con el proceso de maduración incluso después de la cosecha. Los productos no climatéricos deben ser cosechados en madurez hortícola, es decir cuando el fruto ha alcanzado un estado de desarrollo que lo hace apto para el consumo, pues no tienen la capacidad de continuar con la maduración después de la cosecha (Cano, Salas y Pérez, 2000, pp. 26, 27).

Díaz (2005), señala que la pitahaya amarilla es un fruto no climatérico cuya tasa de respiración es de 95-144 $\text{mg CO}_2/\text{kg}\times\text{h}$ a 20 °C (p. 47), mientras que Gallo (1997), la coloca dentro del grupo de frutos climatéricos con una tasa de respiración de 20-80 $\text{mg CO}_2/\text{kg}\times\text{h}$ a la misma temperatura (p. 89).

1.2.1.2 Transpiración

Los productos hortofrutícolas contienen más del 85 % de agua y esta se pierde en forma de vapor a través del fenómeno conocido como transpiración. Mientras mayor sea la diferencia entre la humedad relativa del aire circundante y la del producto, mayor será la deshidratación (Cano, *et al.*; 2000, p. 28). La transpiración genera pérdida de peso, marchitamiento, ablandamiento y disminución en el valor nutricional. Si el producto ha perdido un promedio de 5 % de su peso fresco ya no es comerciable (Arias y Toledo, 2007, p. 9; Paull y Duarte, 2011, p. 108).

La cutícula, las células epidérmicas y los estomas forman la cubierta protectora exterior, que es la encargada de regular la pérdida de agua en los productos frescos (Kader, 2002, p. 41). Factores como el grosor y composición de la cutícula, relación área superficial-volumen, daños físicos o patológicos, humedad relativa alrededor de los productos y altas temperaturas influyen en la tasa de transpiración (Cano, *et al.*; 2000, p. 28). Nerd y Mizrahi (1999), reportan una pérdida de peso superior al 5 % para pitahaya amarilla completamente madura almacenada a 10 °C durante 30 días (p. 100). García y Robayo (2008), señalan una pérdida de peso superior al 10 % para pitahaya amarilla pintona almacenada a 10 °C durante 15 días (p. 100).

1.2.1.3 Producción de etileno

El etileno (C₂H₄) es una fitohormona y como tal regula aspectos del crecimiento, desarrollo y senescencia en los productos hortofrutícolas, además es importante para la abscisión de órganos vegetales (Kader, 2002, p. 40). Es fisiológicamente activo a concentraciones menores de 0,1 ppm y se utiliza para inducir la maduración en frutos climatéricos como plátanos, tomates y aguacates y para desarrollar el color característico en frutos no climatéricos como los cítricos (Rolz, 2011, p. 24). La disminución rápida de la temperatura, reducción de los niveles de O₂ e incremento en los niveles de CO₂ reducen la producción y la sensibilidad del producto al etileno (Sánchez, 2004, p. 107).

La producción de etileno en pitahaya amarilla es de 0,025-0,091 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{kg}\times\text{h}$, por lo que se considera un fruto con muy baja producción de etileno pero con moderada sensibilidad a dicho gas (Díaz, 2005, p. 47; Gallo, 1997, pp. 104 y 105).

1.2.1.4 Cambios durante la maduración

Durante el desarrollo y maduración los frutos experimentan una serie de cambios en su composición y apariencia que están relacionados con su calidad poscosecha, a continuación se mencionan los principales cambios observados en estas etapas.

Desarrollo de color. Durante la maduración se produce la degradación de la clorofila que se traduce en la pérdida del color verde debido principalmente a cambios en el pH, procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas (Gallo, 1997, p. 94). Al mismo tiempo se produce un incremento en la síntesis de antocianinas y carotenoides, por esta razón en esta etapa los frutos cambian de color verde a rojo, morado, amarillo o naranja (Paliyath, G.Murr, D., landan, A. y Lurie, S., 2008, p. 9).

Sabor y aroma. Los almidones se transforman en azúcares lo que genera que los frutos sean más dulces y con mayor aceptabilidad (Gallo, 1997, pp. 94 y 95). Algunos compuestos responsables del sabor astringente como los taninos desaparecen y la acidez disminuye debido a la degradación de los ácidos orgánicos (Arias y Toledo, 2007, p. 5). El aroma característico de los frutos se deriva de varios compuestos que incluyen monoterpenos, ésteres volátiles y ácidos orgánicos simples como el ácido cítrico y málico (Paliyath, *et al.*; 2008, p. 10).

Cambios en la firmeza. La hidrólisis de pectinas y hemicelulosa genera el debilitamiento de las paredes celulares lo que se refleja en el ablandamiento de los productos hortofrutícolas haciéndolos más susceptibles a sufrir daños

mecánicos durante el manejo poscosecha (Gallo, 1997, p. 95; Paliyath, *et al.*; 2008, p. 10).

Nerd y Mizrahi (1999), reportan disminución en la acidez e incremento en el contenido de sólidos solubles totales para pitahaya amarilla pintona almacenada durante 30 días a 10 y 20 °C. Utilizaron una escala de 1 a 5 para evaluar el color de los frutos, donde 1 corresponde a completamente verde y 5 a completamente amarillo, y señalaron un incremento en el grado de color de 3,5 puntos para frutos almacenados a 20 °C y de 1 punto para frutos almacenados a 10 °C (pp. 100 y 101).

1.2.1.5 Daño por frío

Los productos hortofrutícolas expuestos por un tiempo prolongado a temperaturas inferiores a las recomendadas pueden sufrir daños por frío. Este desorden fisiológico genera pardeamiento de tejidos, decoloración, hundimientos en la superficie, retraso o pérdida de la capacidad para madurar, desarrollo de sabores y aromas extraños (off-flavor) e incremento en la susceptibilidad del producto al ataque de microorganismos. Estos síntomas se hacen más evidentes cuando el producto es transferido a temperaturas más altas (Arias y Toledo, 2007, p. 6; Rolz, 2011, p. 24).

1.2.1.6 Daño mecánico/ físico

Cuando las membranas de las células se rompen debido a un daño físico, los compuestos polifenólicos de los frutos y vegetales quedan expuestos a la enzima polifenol oxidasa y se genera el pardeamiento de los tejidos. El daño mecánico estimula la producción de CO₂ y etileno por lo que acelera la maduración en los productos hortofrutícolas, incrementa la transpiración y las áreas que presenten daños son un punto para el ataque de microorganismos (Kader, 2002, p. 42).

1.2.1.7 Ataque de patógenos

Los frutos y vegetales son más susceptibles al ataque de microorganismos al inicio de la maduración y durante la senescencia, debido a que en estos períodos se incrementa la permeabilidad de las membranas celulares además de que disminuye la capacidad de los frutos para producir sustancias fúngicas naturales como las fitoalexinas. Generalmente la incidencia de hongos y bacterias se produce después de que el producto ha experimentado algún tipo de daño mecánico o un desorden fisiológico. Los patógenos producen enzimas que hidrolizan las paredes celulares y ocasionan el ablandamiento de los tejidos (Arias y Toledo, 2007, p. 5; Kader, 2002, p. 42).

1.2.2 FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO

1.2.2.1 Temperatura

La temperatura es el factor que más influye en el deterioro de los productos frescos. Por cada 10 °C sobre la temperatura de almacenamiento óptima la tasa de respiración de los frutos se incrementa de 2 a 3 veces y consecuentemente su velocidad de deterioro (Kader, 2002, p. 43; Rolz, 2011, p. 24). Almacenar los productos hortofrutícolas a temperaturas de refrigeración permite mantener atributos asociados a la calidad como textura, composición nutricional, aroma y sabor. Por otro lado, exponer los frutos a temperaturas inadecuadas genera una serie de desórdenes fisiológicos que causan una reducción en el tiempo de vida útil de los productos frescos (Kader, 2002, p. 42; Paull y Duarte, 2011, p. 110).

Rodríguez, *et al.* (2005), reportan 15 días de vida útil para pitahaya amarilla almacenada a 10 °C y 13 días para los frutos almacenados a 19 °C (p. 2841).

1.2.2.2 Humedad relativa (HR)

La HR es el porcentaje de vapor de agua que satura el aire a una determinada temperatura y presión (Paull y Duarte, 2011, p. 112). La pérdida de agua en los productos frescos depende del diferencial existente entre la presión de vapor del producto y el medio ambiente que lo rodea. A una determinada HR la pérdida de agua se incrementa conforme lo hace también la temperatura (Kader, 2002, p. 42; Mondino y Ferrato, 2006, p. 97).

1.2.2.3 Composición atmosférica

La composición atmosférica que rodea al producto puede ser alterada ya sea al modificar y controlar la atmósfera durante el almacenamiento o con la utilización de empaques. El incremento de CO₂ y la reducción en los niveles de O₂ pueden retrasar o acelerar el tiempo de vida útil de productos hortofrutícolas, el efecto que estos factores tienen sobre un determinado producto depende de la variedad, estado fisiológico, concentración de O₂ y CO₂, temperatura y tiempo de almacenamiento (Kader, 2002, pp. 42 y 43).

1.3 TRATAMIENTOS POSCOSECHA DE HIDROENFRIAMIENTO Y ATMÓSFERAS MODIFICADAS

Los tratamientos poscosecha se utilizan con la finalidad de incrementar el tiempo de vida útil de los productos frescos y al mismo tiempo mantener su calidad. El pre-enfriamiento, el almacenamiento bajo condiciones de temperatura y humedad relativa controladas, las atmósferas modificadas y controladas, los recubrimientos comestibles y la irradiación son los tratamientos poscosecha más utilizados en la actualidad (Moretti, Mattos, Calbo y Sargent, 2010, p. 1825).

1.3.1 HIDROENFRIAMIENTO

El pre-enfriamiento consiste en reducir de forma rápida el “calor de campo” de un producto recién cosechado previo a su almacenamiento, transporte o procesamiento; basado en el principio de que por cada 10 °C que disminuya la temperatura la tasa de respiración se reduce de 2 a 3 veces y por ende la vida útil de los productos hortofrutícolas se extiende (López, 2003, p. 62; Kader, 2002, p. 43). El pre-enfriamiento reduce la tasa de respiración y la actividad enzimática, además mantiene la firmeza y minimiza la pérdida de agua (Moretti, *et al.*, 2010, p. 1826). Además, podría prevenir el apareamiento de manchas y escaldaduras de color negro o marrón relacionadas con el daño por frío que sufren los productos hortofrutícolas al ser almacenados a una temperatura inferior a la del medio en el que se desarrollaron y fueron cosechados (Phan, 1987, p. 177).

La velocidad de enfriamiento de un producto en contacto con un medio refrigerante es un proceso rápido al principio pero conforme la temperatura del producto se va acercando a la temperatura del medio refrigerante, se vuelve lento e ineficiente y por lo tanto el costo de energía se incrementa de forma considerable. Por esta razón comercialmente se reduce la temperatura hasta cuando el producto ha perdido 7/8 de la diferencia de la temperatura de campo y la deseada, el 1/8 restante se perderá ya sea durante el transporte o el almacenamiento (Sánchez, 2004, p. 111; Thompson, Gordon y Kasmire, 2002, pp. 97 y 98). La siguiente ecuación descrita por Thompson, Gordon, Rumsey, Kasmire y Crisosto (1998), permite calcular la temperatura hasta la cual es recomendable realizar el pre-enfriamiento (p. 10):

$$T_f = T_i - \frac{7}{8}(T_i - T_{\text{refrigerante}}) \quad [1.1]$$

Donde:

T_f : temperatura final del producto
 T_i : temperatura inicial del producto

$T_{refrigerante}$: temperatura del medio refrigerante (agua)

En la Figura 1.5 se presenta la típica curva de enfriamiento de los productos hortofrutícolas.

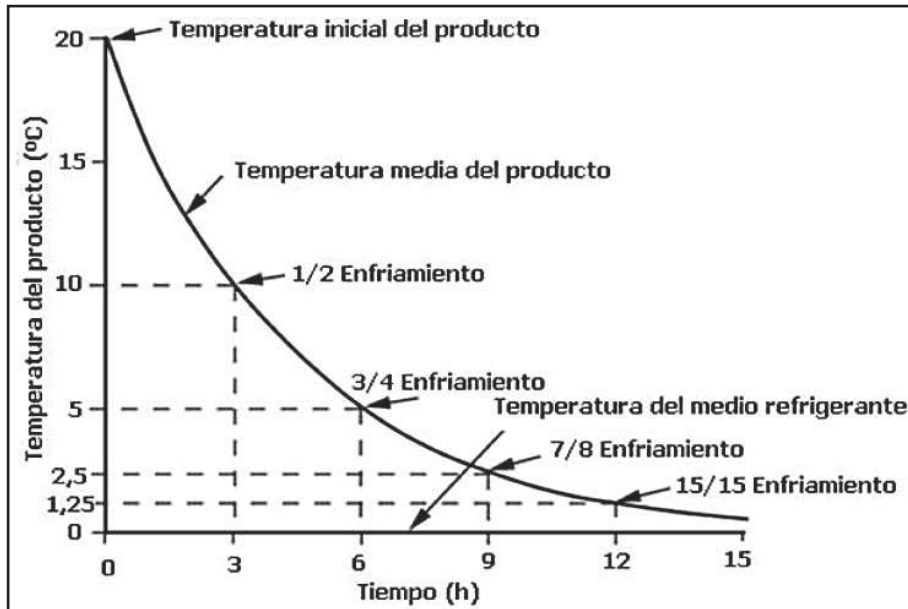


Figura 1.5. Patrón de temperatura típico en productos enfriados
(Thompson, *et al.*, 2002, p. 98)

La velocidad de enfriamiento no solo depende de la diferencia de temperatura entre el producto y el medio refrigerante sino de otros factores como el volumen del producto y la superficie expuesta, el tipo de medio refrigerante y la velocidad de circulación del mismo y la tasa de transferencia de calor del producto al medio de enfriamiento (Arias y Toledo, 2007, p. 21; Thompson, 1998, p. 133).

Para realizar el pre-enfriamiento existen varios métodos: enfriamiento con aire, enfriamiento con agua, enfriamiento con hielo y enfriamiento al vacío (Barreiro y Sandoval, 2006, p. 88).

El pre-enfriamiento con agua o hidroenfriamiento se fundamenta en que la transferencia de calor de un sólido a un líquido es más rápida que la de un sólido a un gas. Este método utiliza agua fría para remover el calor de los productos mediante convección; para incrementar la velocidad de transferencia el agua está

en constante movimiento y se mantiene a una temperatura constante al hacerla circular por un serpentín que forma parte de un sistema de refrigeración (Barreiro y Sandoval, 2006, p. 88; Thompson, 1998, p. 137).

El tiempo típico de hidrogenfriamiento hasta los 7/8 suele ser de 10 min para productos de diámetro pequeño como las cerezas y más de 1 h para productos de diámetro mayor como los melones (Thompson, *et al.*; 2002, p. 103). El hidrogenfriamiento es más rápido que el enfriamiento por aire, ayuda a limpiar el producto y evita la pérdida de agua e incluso puede rehidratar productos levemente marchitos (López, 2003, p. 66; Thompson, 1998, p. 137).

El hidrogenfriamiento no es aplicable a todos los productos sino solamente para aquellos que soporten estar en contacto con agua y que sean tolerantes al cloro u otros compuestos químicos que se utilizan para sanitizar el agua del hidrogenfriador, así por ejemplo los albaricoques pueden presentar daño debido al cloro (Thompson, *et al.*; 2002, p. 104). El hidrogenfriamiento no es el método más adecuado para hortalizas de hoja, ya que el agua retenida dentro del producto podría dificultar la manipulación y contribuir al desarrollo de hongos o decoloración (Brosnan y Sun, 2001, p. 163). Algunos de los productos hortofrutícolas que se hidrogenfrian comercialmente son melón, espárrago, rábano, zanahoria, maíz tierno y brócoli (Sánchez, 2004, p. 111).

El hidrogenfriamiento puede realizarse por inmersión o por aspersión. Un hidrogenfriador por aspersión consta de un tanque para depósito de agua fría, una bomba para la circulación de agua y para la alimentación de un sistema de aspersión y una cinta transportadora que además de transportar los productos controla el tiempo de contacto de estos con el agua. El enfriamiento en los hidrogenfriadores por aspersión podría no ser uniforme lo que reduciría la efectividad del pre-enfriamiento al dejar "puntos calientes" por la carga de producto. En un hidrogenfriador por inmersión el producto se coloca en contenedores y permanece completamente sumergido dentro de tanques largos y bajos que contienen agua fría, pruebas han demostrado que el hidrogenfriamiento por inmersión es más rápido que el hidrogenfriamiento por aspersión (Brosnan y

Sun, 2001, p. 162; Thompson, *et al.*, 1998, p. 19). En la Figura 1.6 se presenta un esquema de los tipos de hidrogenfriadores.

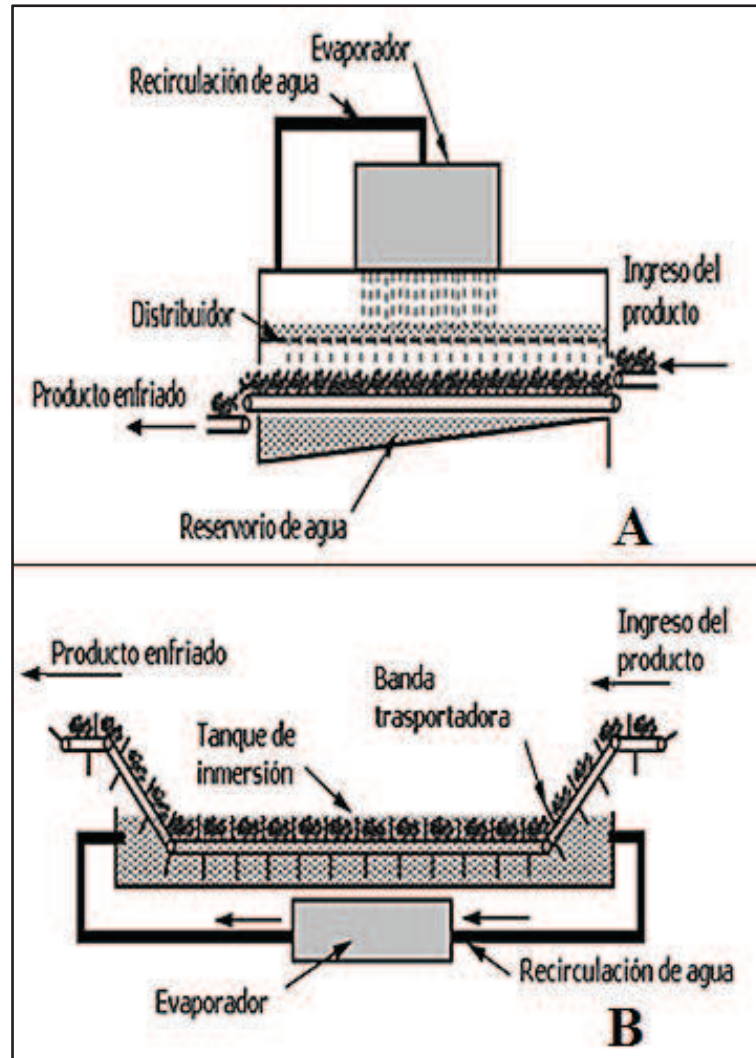


Figura 1.6. Diagrama esquemático de un hidrogenfriador por aspersión (A) y de un hidrogenfriador por inmersión (B)
(Thompson, *et al.*; 1998, p. 19, 21)

En los dos tipos de hidrogenfriadores se hace recircular el agua, pero esta puede acumular microorganismos y sólidos en suspensión como tierra, residuos vegetales etc. que pueden contaminar los productos y consecuentemente disminuir su tiempo de vida útil. Por esta razón se hace necesario utilizar filtración o centrifugación para remover los sólidos en suspensión y agregar compuestos que disminuyan la carga microbiana. La concentración de los agentes germicidas en el agua debe ser revisada y repuesta periódicamente, los niveles

recomendables y tiempo de contacto se detallan en la Tabla 1.3 (Barreiro y Sandoval, 2006, p. 88).

Tabla 1.3. Niveles recomendados de compuestos sanitizantes y tiempo de contacto mínimo

Compuestos	Concentración (ppm)	Tiempo de contacto mínimo (min)
Cloro	200	1
Amonio cuaternario	200	0,5
Cloro-bromo	12-25	1-5
Cloraminas	50	1

(González, Allende, Ruíz y Luo, 2005, pp. 265, 273, 275)

No existe información sobre la aplicación de hidrogenfrío en frutos de pitahaya amarilla. Según un estudio realizado por Liang, Wongmetha, Wu y Ke (2013), el hidrogenfrío ayudó a retardar la incidencia de podredumbre en litchi y logró incrementar la vida útil de este fruto tropical de 2 a 5 semanas (pp. 1177 y 1179). Manganaris, Ilias, Vasilakakis y Mignani (2007), reportaron que aplicar hidrogenfrío a cerezas ayudó a reducir el marchitamiento del tallo y la superficie, además se logró mantener la calidad de los frutos por 10 días (pp. 1387 y 1391). Sin embargo, en una investigación realizada por Alanís, García, Reyes y Meza (2013), la aplicación de hidrogenfrío a melones no tuvo efectos beneficiosos sobre la conservación de la calidad y por ende en la vida útil de este fruto (p. 187).

1.3.2 ATMÓSFERAS MODIFICADAS

La tecnología de atmósfera protectora consiste en mantener al producto en una atmósfera compuesta por una mezcla de gases distinta a la del aire, esta nueva composición atmosférica debe ser rica en CO₂ y pobre en O₂, para lograrlo el envase actúa como barrera al aislar el alimento del ambiente externo (García, Gago y Fernández, 2006, p. 8; Guillaume, Guillard y Gontard, 2011, p. 256).

Los principales objetivos de la atmósfera protectora son mantener la calidad sensorial y prolongar la vida poscosecha de los productos frescos a través de la reducción de la tasa de respiración y producción de etileno, el retraso del desarrollo microbiano y la disminución de ciertas reacciones enzimáticas como el enranciamiento oxidativo (Day, 2005, pp. 495 y 496; Ospina y Cartagena, 2008, p. 114; García, 2006, p. 1). La reducción en la tasa de respiración es una consecuencia natural de la modificación de la atmósfera que rodea al producto; niveles de O₂ inferiores al 2 % pueden conducir a la respiración anaerobia con la consecuente formación de sabores y olores indeseables, mientras que niveles de CO₂ superiores al 15-20 % pueden causar daño fisiológico (Day, 2005, pp. 494-496). En lo que respecta al desarrollo de microorganismos, concentraciones de O₂ de entre 2-5 % y concentraciones de CO₂ superiores al 10 % pueden inhibir el crecimiento de mohos y varios géneros de bacterias aerobias y sicrotrofas como *Pseudomonas*, *Psychrobacter* y *Acinetobacter* (Day, 2005, pp. 496 y 497; García, 2006, pp. 9 y 10).

La tecnología de atmósfera protectora se clasifica en almacenamiento bajo atmósfera controlada (AC) y empaçado bajo atmósfera modificada (AM). En AC se modifica la composición del aire con una mezcla de gases en proporciones definidas que se fijan de acuerdo a las necesidades del producto, los gases más utilizados son O₂, CO₂ y N₂ (García, *et al.*, 2006, p. 15). La concentración de cada gas que compone la atmósfera se monitorea y mantiene constante durante el almacenamiento, este tipo de tecnología se utiliza en cámaras refrigeradas para productos cuyo tiempo de almacenamiento es largo como manzana, pera y kiwi (Welti-Chanes, Vergara, Guerrero, García y Villa, 2005, p. 2). En AM se utilizan películas poliméricas que permiten modificar la composición atmosférica que rodea los productos frescos (Welti-Chanes, *et al.*, 2005, p. 3). La atmósfera modificada puede obtenerse vía pasiva o activa; en la vía pasiva la modificación de la atmósfera se logra mediante la respiración del producto y la permeabilidad de la película, cuando la velocidad de transferencia de O₂ y CO₂ a través del envase es igual a la intensidad respiratoria del producto se genera un equilibrio (Guillaume, Guillard y Gontard, 2011, p. 257), mientras que en la vía activa la

atmósfera se modifica por la inyección de una mezcla de gases de composición definida en el envasado (Ospina y Cartagena, 2008, p. 113).

El material de empaque seleccionado es de suma importancia, su función principal es proteger el alimento del medio externo y mantener el ambiente gaseoso generado en su interior. Los envases deben presentar determinadas características de permeabilidad a los gases y al vapor de agua, así como reunir otros parámetros desde el punto de vista técnico, comercial, legal y ambiental (García, 2006, p. 3). Si la permeabilidad de los envases es baja puede generar anaerobiosis con la formación de etanol, acetaldehído u otros compuestos orgánicos que producen olores y sabores indeseables, si por el contrario la permeabilidad es alta la modificación en la atmósfera será mínima o nula (Robertson, 1993, pp. 481, 482, 487). Si la humedad relativa dentro del empaque es baja los productos hortofrutícolas pierden agua, si por el contrario la humedad relativa es alta puede generarse condensación lo que afecta la apariencia y crea condiciones propicias para el desarrollo de microorganismos (Ospina y Cartagena, 2008, p. 119; Welti-Chanes, *et al.*, 2005, pp. 4 y 5).

En la tecnología de atmósfera modificada se utilizan empaques fabricados con materiales poliméricos y se dividen en empaques flexibles y empaques rígidos. En los empaques flexibles se encuentran las bolsas tipo “almohada”, que poseen un sellado longitudinal y dos transversales en los extremos, y las bolsas tipo “sobre” con los cuatro lados sellados. Los empaques rígidos constan de dos componentes: generalmente una bandeja sobre la que se coloca el alimento y una película flexible para cubrirlo (García *et al.*, 2006, p. 29). Los polímeros más utilizados en la elaboración de empaques para alimentos son el poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP), etileno vinil acetato (EVA), polietileno de baja densidad (LDPE) y polietileno de alta densidad (HDPE) (Welti-Chanes, *et al.*, 2005, pp. 16 y 17).

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MATERIA PRIMA

La materia prima utilizada para la caracterización fisicoquímica y sensorial y el estudio de la fisiología poscosecha fue pitahaya amarilla, perteneciente a la especie *Selenicereus megalanthus* y al ecotipo que se desarrolla en el Callejón Interandino, cosechada en el mes de Enero de 2013, en la finca agrícola “PITACAVA” en el cantón Pedro Vicente Maldonado de la provincia de Pichincha.

La cosecha se realizó a tempranas horas de la mañana, las pitahayas fueron cosechadas en grado de madurez cinco, según la escala de color fijada en la norma técnica colombiana NTC 3554 (ICONTEC, 1996) que se presenta en el Anexo I. Posteriormente fueron seleccionadas y lavadas. Para el lavado los frutos se colocaron dentro de tinas plásticas llenas de agua con 2 000 ppm de cloro y con la ayuda de un cepillo se removieron impurezas como tierra, espinas no desprendidas y restos de flor en la corona de los frutos. Para la desinfección, se sumergió a las pitahayas en una solución de Amistar 50 WG (I.A. Azoxystrobina) con una concentración de 0,5 g/L (500 ppm) durante 1 min. En el Anexo II se presentan las fotografías de la cosecha, lavado y desinfección de la pitahaya en las instalaciones de la finca agrícola “PITACAVA”.

Finalmente, los frutos se empacaron en gavetas con una lámina de espuma de polietileno en la base y fueron transportados en un camión con cubierta para evitar su calentamiento, durante el traslado, hacia la planta piloto del Departamento de Ciencia en Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional en Quito, con un tiempo aproximado de transporte de 4 h. Los frutos se almacenaron a temperatura ambiente (aproximadamente 18 °C) hasta el día siguiente para iniciar los tratamientos. En la presente experimentación se utilizaron 662 frutos de pitahaya amarilla.

2.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA PITAHAYA AMARILLA (*Selenicereus megalanthus*)

2.2.1 ANÁLISIS FÍSICOS

2.2.1.1 Peso

Se determinó el peso de los frutos con pedúnculo, al pesar directamente en una balanza electrónica BOECO, modelo BBA-51, Alemania, 4 100 g, 0,01 g.

2.2.1.2 Longitud

Se midió la longitud de las pitahayas desde la base hasta la corona con un calibrador para frutos Mc CORMICK, Washington, USA, 6 plg (152 mm), 0,5 plg (12,7 mm).

2.2.1.3 Diámetro

Se midió el diámetro en la sección central de los frutos (zona ecuatorial) con un calibrador para frutos CRANSTON, Oregon, USA, 100 mm, 0,25 mm.

2.2.1.4 Firmeza

Se determinó la firmeza con un penetrómetro manual Mc CORMICK, modelo FT011, Washington, USA, 500 gf (5 N), 5 gf (0,05 N) provisto de un puntal de 8 mm. La medida se realizó en secciones previamente peladas de las caras opuestas de la zona ecuatorial de los frutos.

2.2.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

Para la determinación de las propiedades químicas se obtuvo el extracto de tres frutos escogidos al azar; se les retiró la cáscara, se los colocó dentro de una bolsa de malla de tela tipo cheescloth y se presionó hasta obtener el jugo. Se realizaron tres repeticiones.

2.2.2.1 Determinación de sólidos solubles totales (SST)

Para la determinación de SST se colocaron dos gotas de jugo en un refractómetro WESTOVER, modelo RHB-62, Washington, USA, 32 °Brix, 0,2 °Brix (AOAC, 2005). Los resultados se reportaron en °Brix.

2.2.2.2 Determinación de pH

Para la determinación del pH se utilizó un pH-metro ORION, modelo 210 A, Boston, USA previamente calibrado en un rango de 4 a 7. Se sumergió el electrodo dentro de 50 mL de jugo hasta obtener el valor de pH (AOAC 2005).

2.2.2.3 Determinación de acidez titulable

Para la determinación de la acidez titulable se colocaron 5 mL de jugo en un erlenmeyer y se colocó 50 mL de agua destilada, se añadieron 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con una solución de hidróxido de sodio (0,1 N) hasta obtener una coloración rosada por 30 s (AOAC 2005). Los resultados se reportaron como porcentaje de ácido cítrico.

2.2.3 ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial de la materia prima se llevó a cabo con 12 jueces semi-entrenados. Se utilizó una prueba descriptiva de calificación con escalas no estructuradas, las pruebas se realizaron entre las 11 y las 12 de la mañana (Anzaldúa, 1994, pp. 47, 59, 60; Fiszman, 2005, p. 530).

Para la preparación de las muestras se tomaron cinco pitahayas al azar, se retiró la cáscara de los frutos, se eliminaron los extremos y se utilizó la parte central. Se cortaron rodajas de aproximadamente 1 cm de espesor, cada juez recibió dos rodajas de frutos servidas en recipientes desechables. Los atributos evaluados fueron: apariencia, sabor a fruta, dulzor y presencia de sabores extraños.

El formato de evaluación utilizado para el análisis sensorial se presenta en el Anexo III.

2.2.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Los atributos considerados para evaluar la calidad visual así como la escala utilizada se presenta en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Escala de valoración para evaluar la calidad visual de pitahaya amarilla

ESCALA	ATRIBUTOS		
	Turgencia	Marchitez del pedúnculo	Presencia de patógenos – Daño físico –Manchas pardas
1	Muy secos	Extremo	>25 %
2	Secos	Severo	10-25 %
3	Medianamente secos	Moderado	5-10 %
4	Ligeramente secos	Discreto	<5 %
5	Frescos	Fresco	Ninguno

En el Anexo IV se observa la escala de turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos, daño físico y manchas pardas, utilizada para evaluar la calidad visual de pitahaya amarilla.

Se cita a continuación la fórmula descrita por Rodov, *et al.* (2000), que se utilizó para calcular el índice de calidad visual de cada atributo (p. 262):

$$I = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5}{N} \quad [2.1]$$

Donde:

I: índice de evaluación de la calidad visual

n₁-n₅: número de frutos que presentan la valoración de 1 a 5 en cada atributo

N: número total de frutos evaluados

La calificación final de la calidad visual se realizó en base a los rangos del índice de calidad visual como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Escala de valoración de la calidad visual final de pitahaya

Calificación total	Clasificación
4-5	I: Conserva características iniciales
3-4	II: Presenta deterioro, consumible
<3	III: No apto para comercialización

(Rodov, *et al.*; 2000, p. 262)

2.3 ENSAYOS DE LOS TRATAMIENTOS POSCOSECHA DE HIDROENFRIAMIENTO Y EMPAQUE CON DOS TIPOS DE PELÍCULAS POLIMÉRICAS

En la experimentación se usó un diseño factorial 2² donde las variables de proceso fueron hidrogenfriamiento y tipo de empaque, los materiales de empaque

utilizados fueron polietileno de baja densidad (LDPE) y cloruro de polivinilo (PVC), en el Anexo V se presentan las especificaciones técnicas de las láminas utilizadas. Se utilizaron 30 frutos enteros por cada tratamiento. En la Tabla 2.3 se especifican los códigos utilizados para designar cada tratamiento.

Tabla 2.3. Códigos de identificación de los diferentes tratamientos

Código	Tratamiento
A	Hidrogenfriado + lámina de PVC
B	Sin hidrogenfriar + lámina de PVC
C	Hidrogenfriado + lámina de LDPE
D	Sin hidrogenfriar + lámina de LDPE

2.3.1 HIDROENFRIAMIENTO Y EMPAQUE

Las pitahayas fueron pre-enfriadas por inmersión en agua con 100 ppm de cloro. Este proceso se realizó en gavetas plásticas previamente lavadas y desinfectadas, en las cuales se colocó agua y hielo. Lotes de 25 frutos con una temperatura inicial promedio de 17,5 °C en el centro, fueron sumergidos en agua a 10 °C. El proceso culminó cuando la temperatura interna de las pitahayas fue de 12 °C. La temperatura fue monitoreada con termocuplas, que fueron colocadas en el agua y en el centro de los frutos.

Los frutos fueron empacados en bandejas de poliestireno (PS) de 0,16 m de ancho y 0,22 m de largo y recubiertos con láminas de LDPE y PVC. Se colocaron 5 pitahayas por bandeja con un peso promedio de 0,8 kg. Las pitahayas empacadas en bandejas se almacenaron hasta 28 días a 12 °C y 85 % HR, más 5 días a temperatura ambiente (20 °C y 60 % HR) para simular el tiempo de vida en estante. En el Anexo VI se presentan fotografías del producto empacado y su almacenamiento bajo condiciones de temperatura y humedad relativa controladas.

La evaluación de la calidad del producto se realizó al inicio (día 0) y después de 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento a 12 °C más 5 días a temperatura ambiente

($\approx 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 60 % HR); estos tiempos fueron designados como primer, segundo, tercer y cuarto período de almacenamiento, respectivamente. Las variables de control fueron: pérdida de peso (%), firmeza, contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$), pH, acidez, concentración de CO_2 en el interior de empaques y evaluación de la calidad visual y análisis sensorial de los frutos.

2.3.2 PÉRDIDA DE PESO

Para determinar la pérdida de peso se determinó el peso de los frutos al inicio y al final de cada período de almacenamiento, con el método descrito en el acápite 2.2.1.1. Se utilizaron 30 frutos por tratamiento y los resultados se presentaron como porcentaje de pérdida de peso respecto al peso original.

2.3.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Para la evaluación visual se utilizaron 30 frutos por tratamiento y se determinaron los atributos descritos en el acápite 2.2.4, así como la escala de calificación allí descrita.

2.3.4 FIRMEZA

Para determinar la firmeza se utilizaron 25 frutos por tratamiento. Este parámetro fue medido según el procedimiento descrito en el acápite 2.2.1.4.

2.3.5 ANÁLISIS QUÍMICOS

Para la determinación del contenido de SST, pH y acidez titulable se utilizaron los métodos descritos en el acápite 2.2.2.

2.3.6 ANÁLISIS SENSORIAL

Para la preparación y evaluación de las muestras se utilizó el método descrito en el acápite 2.2.3; con la diferencia de que se escogieron cinco frutos al azar por tratamiento, los jueces recibieron dos rodajas de frutos procedentes de cada tratamiento servidas en recipientes desechables identificados con cuatro dígitos.

2.3.7 CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN EL INTERIOR DE EMPAQUES

Para la determinación de la concentración de CO₂ (%) en el interior de los empaques se utilizó un analizador de CO₂/O₂ Post Harvest Research, modelo VIA-510, California, USA provisto de un detector infrarrojo, como se indica en el Anexo VII. Las muestras de aire fueron tomadas por duplicado con jeringuillas de 1 mL. Se realizaron tres mediciones por semana durante los cuatro períodos de almacenamiento. Para evitar la fuga de gases del empaque se colocó cinta adhesiva sobre el lugar en el que se tomó la muestra.

2.3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el programa de estadística STATGRAPHICS Centurion XV (StatPoint, 2006).

2.4 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL HIDROENFRIAMIENTO EN LA TASA DE RESPIRACIÓN DE LA PITAHAYA AMARILLA

La tasa de respiración (TR) se determinó en función de la producción de CO₂. Se utilizó un sistema de respiración dinámico con un flujo de aire continuo, como se observa en el Anexo VIII. Se pesó aproximadamente 0,5 kg de frutos enteros que fueron colocados en una jarra de respiración y almacenados durante 7, 14, 21 y 28 días a 12 °C más 5 días a 20 °C, se realizaron tres réplicas en la

experimentación. El cálculo del flujo de aire que ingresó a las cámaras se especifica en el Anexo IX. Se tomaron muestras de aire por duplicado a la entrada y salida de las cámaras de respiración con jeringuillas de 1 mL, al inicio y cada dos días durante los cuatro períodos de almacenamiento. Para la determinación de CO₂ (%) las muestras de aire fueron examinadas en un analizador de CO₂/O₂ Post Harvest Research, modelo VIA-510, California, USA. En el Anexo VII se presentan las condiciones de operación del equipo. Estas determinaciones se realizaron en frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar.

La tasa de respiración se calculó con la ecuación descrita por Saltveit (2003), que se cita a continuación (pp. 4 y 5):

$$TR = \frac{0,6 \times f \times (L_S - L_E) \times C_{STD} \times \rho_{CO_2}}{m \times L_{STD}} \quad [2.2]$$

Donde:

TR: Tasa de respiración (mg CO₂/kg×h)

0,6: constante de transformación de unidades

f: flujo de aire de la cámara (mL/min)

L_S: medida de CO₂ del analizador a la salida de la cámara (cm)

L_E: medida de CO₂ del analizador a la salida de la cámara (cm)

C_{STD}: concentración de CO₂ en el estándar usado (%)

ρ_{CO2}: densidad de CO₂ a la presión y temperatura de trabajo (g/L)

m: masa del producto (kg)

L_{STD}: medida de CO₂ del registrador del estándar usado (cm)

2.5 DISEÑO DE UN HIDROENFRIADOR POR INMERSIÓN

Para diseñar un hidrogenfriador por inmersión con recirculación de agua, se tomó como base los kilogramos de frutos para exportación que se producen por

hectárea en cada cosecha en agrícola “PITACAVA” y se realizaron los cálculos siguientes:

- Para calcular el tiempo de hidrogenfriamiento se asumió que la pitahaya presentaba forma esférica y se determinó el número de Nusselt. Con base en este valor se calculó el número de Biot que permitió obtener el número de Fourier y determinar el tiempo. A continuación se citan las principales ecuaciones utilizadas:

$$Nu = 2 + (0,48 Re^{1/2} + 0,06 Re^{2/3}) Pr^{0,4} \left(\frac{\mu_{\infty}}{\mu_p} \right)^{1/4} \quad (\text{Incropera y De Witt, 1999, p. 395}) \quad [2.3]$$

Donde:

- Nu*: Nusselt (adimensional)
- Re*: Reynolds (adimensional)
- Pr*: Prandtl (adimensional)
- μ_{∞} : viscosidad del medio a temperatura ambiente (Pa×s)
- μ_p : viscosidad del medio a temperatura de pared (Pa×s)

$$Bi = \frac{h_{H_2O} \times D_{H_{esfera}}}{k_{H_2O}} \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 371}) \quad [2.4]$$

Donde:

- Bi*: Biot (adimensional)
- h_{H_2O} : coeficiente de convección del agua (W/m²×K)
- DH*: dimensión característica esfera (m)
- k_{H_2O} : conductividad térmica del agua (W/m×K)

$$F_0 = \frac{\alpha \times t}{D_H^2} \quad (\text{Incropera y De Witt, 1999, p. 217}) \quad [2.5]$$

Donde:

- F_0 : número de Fourier (adimensional)
 α : difusividad térmica (m²/s)
 t : tiempo (s)
 D_H : dimensión característica esfera (m)

- Las dimensiones del tanque de inmersión se fijaron en función del número de gavetas necesarias para contener los frutos y el tiempo necesario para realizar el hidrogenfriamiento.
- El calor que el agua debe remover de los frutos se calculó mediante un balance de energía.
- Se diseñó un hidrogenfriador con un intercambiador de calor para asegurar que el agua que recircula ingrese a una temperatura constante durante todo el proceso. Con base en el calor que debe remover el refrigerante del agua y con el diagrama de Mollier se calculó el flujo de refrigerante necesario y la potencia del motor del compresor.
- Se realizó el dimensionamiento de la tubería y se calculó la potencia de la bomba para recircular el agua con base en el balance de energía mecánica que se muestra a continuación:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\alpha_2} - \frac{V_1}{\alpha_1} \right) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} - \hat{W}_s + \hat{F} f = 0 \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 74}) \quad [2.6]$$

Donde:

- v : velocidad en el punto inicial (1) y final (2) de la tubería (m/s)
 α : factor de corrección (adimensional)
 z : altura con respecto a un punto de referencia en el punto inicial (1) y final (2) de la tubería (m)

- P : presión en el punto inicial (1) y final (2) de la tubería (Pa)
 ρ : densidad del fluido transportado (kg/m^3)
 W_s : trabajo mecánico realizado por la bomba (J)
 F_f : fuerzas de fricción a lo largo de la tubería (m^2/s^2)

- La cantidad de calor que se pierde al ambiente tanto en el tanque de inmersión como en la tubería se calculó mediante la transferencia de calor en pared plana y cilíndrica, respectivamente, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{e}{A \times k}} \quad (\text{Incropera y De Witt, 1999, p. 44}) \quad [2.7]$$

Donde:

- Q : calor transferido (W)
 ΔT : variación de la temperatura (K)
 e : espesor de la pared plana (m)
 k : conductividad térmica del material de construcción de la pared plana ($\text{W/m} \times \text{K}$)
 A : área (m^2)

2.6 ESTIMACIÓN DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS POSCOSECHA

La estimación del costo de implementación se realizó con base en los costos de materia prima, insumos, montaje y operación del hidrogenfriador, mano de obra y servicios que intervienen en la aplicación de los tratamientos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA PITAHAYA AMARILLA

Para la caracterización fisicoquímica de la pitahaya amarilla se utilizaron 30 frutos con pedúnculo y en grado de madurez cinco. Los parámetros físicos determinados fueron: peso, longitud, diámetro y firmeza; y los químicos fueron: pH, acidez titulable y SST. Además se realizó la evaluación de la calidad visual y el análisis sensorial de los frutos.

3.1.1 ANÁLISIS FÍSICOS

En la Tabla 3.1 se muestran los valores obtenidos en la caracterización física de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). El peso de los frutos se determinó incluido el pedúnculo, puesto que de esta forma se comercializan.

Tabla 3.1. Caracterización física de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)

Parámetro	Valor
Peso (g)	175,61 ± 30,60
Longitud (cm)	9,60 ± 0,71
Diámetro (cm)	6,52 ± 0,39
Firmeza (N)	10,62 ± 1,42

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 30)

El peso promedio de los frutos de pitahaya amarilla fue de 175,61 g, este valor correspondió al calibre 12 según la norma NTC 3554. El error de la desviación estándar para este parámetro fue de 17,43 %, este valor podría deberse a que el criterio principal de selección en el momento de la cosecha fue el grado de madurez más que el peso de los frutos. Si se dividiera a los frutos de acuerdo al peso resultaría que el 20 % pertenecerían al calibre 9 con pesos que oscilan entre 201-250 g, 50 % pertenecerían al calibre 12 con pesos entre 151-200 g y 30 %

pertenecerían al calibre 14 con pesos en un rango de 100-150 g (ICONTEC, 1996), esta distribución permite visualizar la diversidad de peso en los frutos utilizados y podría explicar el alto error de la desviación estándar que se presentó en este parámetro.

La firmeza promedio de los frutos de pitahaya amarilla fue de 10,62 N y el error de la desviación estándar fue 13,37 %. Se podría atribuir el alto valor del error de la desviación estándar al método utilizado para determinar la firmeza, pues al usar un penetrómetro manual los valores que se obtienen son relativos porque dependen de la fuerza que empleó la persona en el momento que realizó las mediciones. Gallo (1997), reportó una firmeza de 19,61 N para pitahaya amarilla en el mismo grado de madurez que la utilizada en este trabajo (p. 100), mientras que el valor que se obtuvo en la presente investigación fue alrededor de 50 % menor, sin embargo es difícil explicar a qué se debe esta diferencia ya que Gallo (1997) no precisó el método ni el equipo que utilizó para determinar la firmeza.

3.1.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

El pH de 4,83 y la acidez titulable de 0,12 % (g/100g de ácido cítrico) definen a la pitahaya amarilla como un alimento de baja acidez, de esta forma contrasta con la mayoría de los frutos que se consideran productos de alta acidez, con valores de pH generalmente inferiores a 4,60 (Alzamora, *et al.*; 2004, p. 8).

García y Robayo (2008), presentaron valores de pH y acidez titulable de 4,00 y 0,38 % (g/100 g de ácido cítrico), respectivamente, para pitahaya amarilla en grado de madurez cuatro, que corresponde a 75 % de color amarillo en la cáscara según la escala de color de la norma NTC 3554 (p. 33). Conforme continúa el proceso de maduración de los frutos la acidez disminuye debido principalmente a la degradación de los ácidos orgánicos (Arias y Toledo, 2007, p. 5). Los datos de acidez titulable presentados por García y Robayo (2008) fueron inferiores a los obtenidos en la presente investigación debido a que los frutos que se utilizaron en esta experimentación eran de un grado de madurez mayor.

El contenido promedio de sólidos solubles totales (SST) fue de 16,23 °Brix, mientras que Díaz (2005), reportó un valor de 19 °Brix para frutos con igual índice de madurez que los utilizados en la presente investigación (p. 47). Las condiciones climáticas y edafológicas influyen en la composición de los productos hortofrutícolas (Kader, 2002, pp. 50-52), así se podría explicar la diferencia en el contenido de SST entre frutos de la misma especie y con el mismo grado de madurez pero cultivados en distintos ambientes. El contenido de SST de la pitahaya amarilla es mayor que en varios frutos como: fresa, mora, manzana, banana, uva y maracuyá pero menor que en mango y piña (Gallo, 1997, pp. 97, 99 y 100; Wolfram Alpha, 2014), lo que indicaría que la pitahaya amarilla está entre los frutos considerados más dulces.

3.1.3 ANÁLISIS SENSORIAL

Los jueces determinaron que los frutos de pitahaya amarilla presentaron apariencia fresca y sabor característico, no detectaron presencia de sabores extraños. En lo que respecta al dulzor los frutos fueron considerados medianamente dulces y, según los resultados del contenido de SST, lo esperado era que fuesen calificados como frutos con un grado de dulzor de medio a alto; por lo tanto existió concordancia entre los resultados de los análisis químicos y el análisis sensorial.

3.1.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Los frutos utilizados en esta experimentación se encontraron enteros, limpios, libres de ataques de patógenos, presentaron aspecto fresco y la longitud del pedúnculo no excedía los 25 mm, por lo que según la norma NTC 3554 pertenecieron a la categoría I. En la evaluación de la calidad visual los frutos fueron turgentes, sin marchitez del pedúnculo, sin ataque de patógenos ni signos visibles de daño físico causado en la cosecha o durante el transporte.

Los frutos de pitahaya amarilla utilizados en la presente investigación eran de grado de madurez cinco, es decir frutos de color amarillo con la punta de las mamilas ligeramente verdosas, estaban dentro de la categoría 12 según la norma NTC 3554 con un peso promedio de 175,61 g, por las características de calidad visual que presentaron los frutos fueron ubicaron en la categoría I de acuerdo a la misma norma. La firmeza promedio fue de 10,62 N. El pH y la acidez titulable fueron de 4,83 y 0,12 % (g/100g de ácido cítrico), respectivamente, lo que identificó a la pitahaya amarilla como un fruto de baja acidez. El contenido promedio de SST fue de 16,23 °Brix.

3.2 HIDROENFRIAMIENTO

Para el hidrogenfriamiento los frutos de pitahaya amarilla fueron colocados en gavetas que contenían agua fría, se colocaron termocuplas en un fruto testigo y en el agua de enfriamiento para monitorear la variación de la temperatura durante el proceso.

La temperatura interna inicial de los frutos fue 17,5 °C y fueron hidrogenfriados hasta 12 °C con agua a 10 °C. La curva de enfriamiento de los frutos de pitahaya amarilla se presenta en la Figura 3.1.

Se observó que el descenso de la temperatura de los frutos fue rápido al inicio del enfriamiento pero se hizo más lento conforme el producto se acercaba a su temperatura final, esto podría explicarse debido a que la temperatura del producto es cada vez más cercana a la temperatura del medio refrigerante (agua fría) y al disminuir el gradiente de temperatura lo hace también la cantidad de calor transferido y por lo tanto el proceso cada vez toma más tiempo.

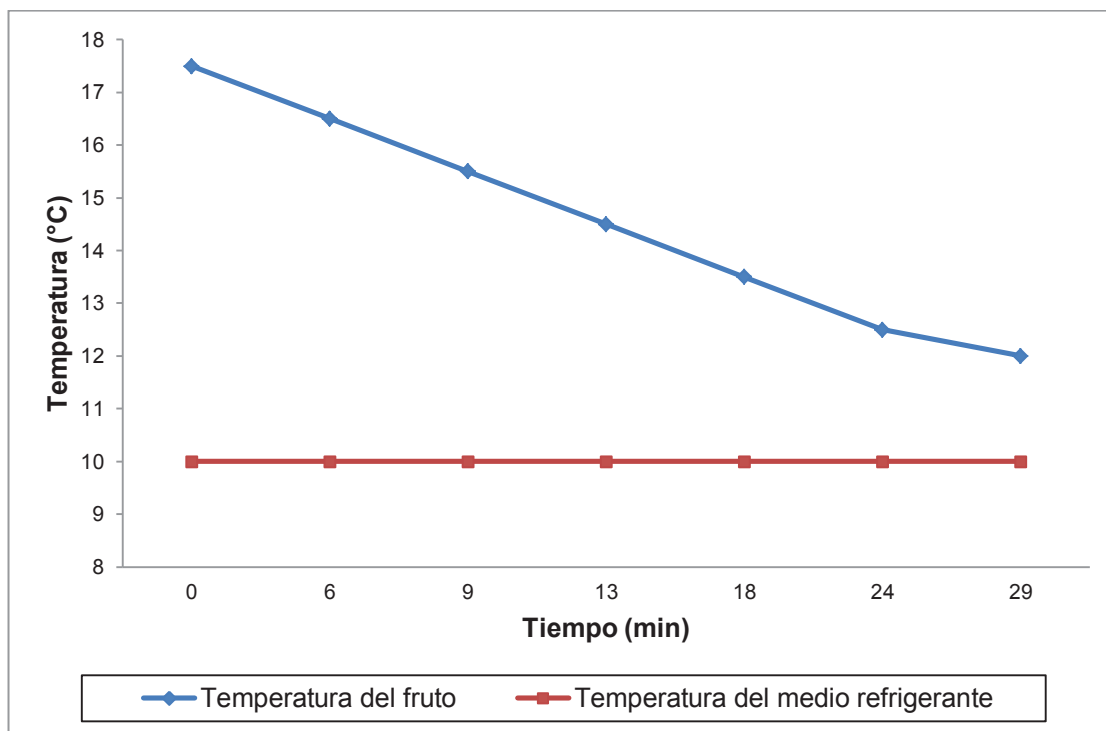


Figura 3.1. Curva de enfriamiento de los frutos de pitahaya amarilla hidrogenfriados hasta 12 °C con agua a 10 °C

El tiempo medio de enfriamiento ($t_{1/2}$), es el tiempo requerido para que la temperatura del producto descienda la mitad de la diferencia entre la temperatura inicial del producto y la temperatura del agua fría y proporciona una idea general del tiempo que podría demorar el enfriamiento (Thompson, *et al.*; 2002, p. 98). En esta experimentación el tiempo medio de enfriamiento fue de 17 min, es decir el tiempo necesario para reducir la temperatura de los frutos de pitahaya amarilla de 17,5 °C a 13,75 °C.

Las pitahayas fueron hidrogenfriadas hasta los 7/8 de la diferencia entre la temperatura de campo y la recomendada de almacenamiento, este valor correspondió a 11,88 \approx 12 °C, y se alcanzó en 29 min. El tiempo de hidrogenfriamiento hasta 7/8 suele estar dentro de un rango de 10 min a 1 h, de acuerdo al diámetro de los productos (Thompson, *et al.*; 2002, p. 103). No se ha encontrado información del hidrogenfriamiento aplicado a frutos enteros de pitahaya amarilla, sin embargo, en frutos de similares características físicas como el durazno el tiempo aproximado de hidrogenfriamiento hasta 7/8 fue de 33 min (Thompson, Gordon y Kasmire, 2002, p. 103), que es un valor similar al tiempo

que se necesitó para realizar el hidrogenfriamiento de la pitahaya amarilla en la presente investigación.

3.3 EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL HIDROENFRIAMIENTO EN LA TASA DE RESPIRACIÓN DE LA PITAHAYA AMARILLA

Para determinar la tasa de respiración (TR) de la pitahaya amarilla se utilizó un sistema de respiración dinámico con un flujo de aire continuo. La TR fue determinada en frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar.

La TR de los frutos fue determinada hasta el tercer período de almacenamiento (21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C), debido a que los frutos destinados al cuarto período (28 días a 12 °C más 5 días a 20 °C) presentaron un 10 % de presencia de patógenos y en estas condiciones la producción de CO₂ fue alterada.

En la Figura 3.2 se presenta la tasa de respiración de las pitahayas amarillas hidrogenfriadas y sin hidrogenfriar.

No existió diferencia estadísticamente significativa para la TR entre frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar. El pre-enfriamiento reduce la TR de los productos hortofrutícolas (Moretti, *et al.*, 2010, p. 1826). Según Liang, *et al.* (2013), mientras mayor sea el tiempo transcurrido entre la cosecha y el hidrogenfriamiento menor será la influencia de este tratamiento poscosecha en los procesos fisiológicos de los productos frescos (p. 1177), por esta razón el hidrogenfriamiento de los frutos de pitahaya amarilla no influyó de forma significativa en la TR debido a que este proceso no fue realizado inmediatamente después de la cosecha sino con aplazamiento de un día o que tal vez el hidrogenfriamiento no afectó la actividad respiratoria de este fruto en particular.

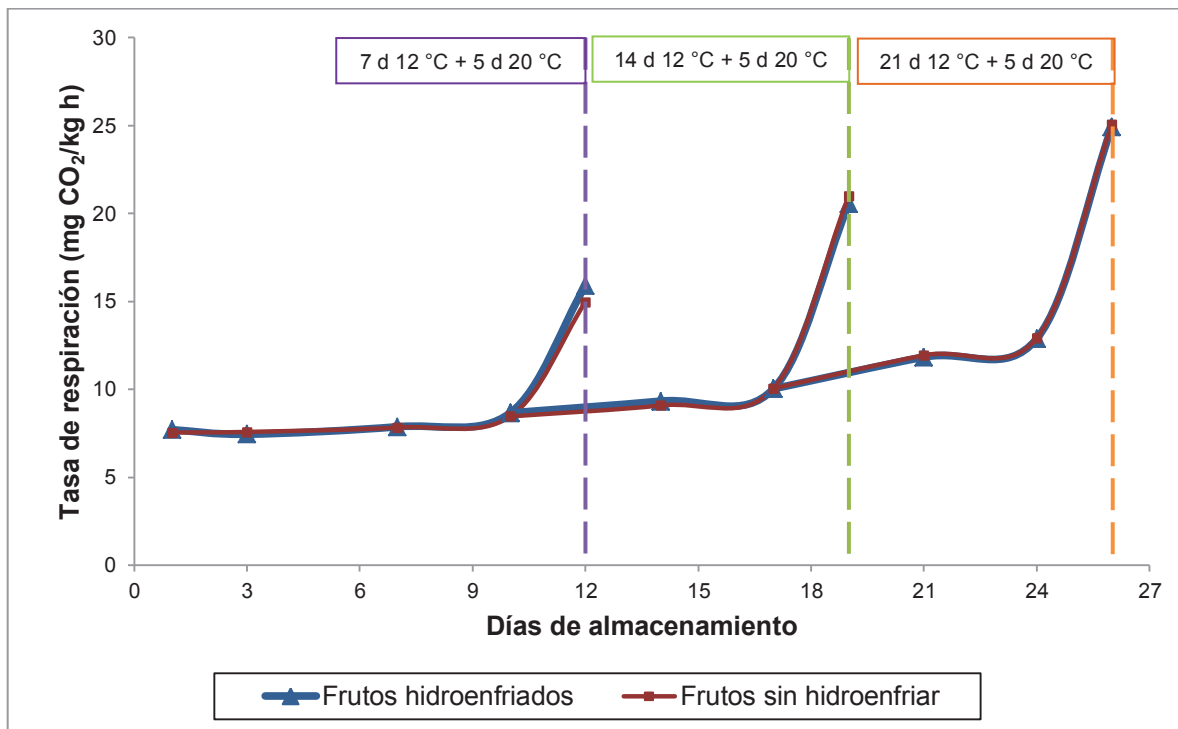


Figura 3.2. Tasa de respiración de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) hidrogenfriada y sin hidrogenfriar almacenada durante 7, 14 y 21 días a 12 °C y 85 % HR más 5 días a 20 °C y 60 % HR

La TR inicial para los frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar almacenados a 12 °C fue alrededor de 7,5 mg CO₂/kg×h y se incrementó conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento hasta alrededor de 12,9 mg CO₂/kg×h. No se presentó un pico en la producción de CO₂ durante el almacenamiento, por lo que la pitahaya amarilla se ajustó a un patrón no climatérico (Paull y Duarte, 2011, pp. 104, 105).

Existen discrepancias sobre la clasificación de la pitahaya amarilla de acuerdo a su actividad respiratoria, algunos autores como Nerd y Mizrahi (1999), señalaron a este fruto como no climatérico (p. 99) mientras que otros como Rodríguez, *et al.* (2005), clasificaron a la pitahaya amarilla dentro del grupo de frutos climatéricos (p. 2849). Los resultados obtenidos en la presente investigación concordaron con lo expuesto por Nerd y Mizrahi (1999). El pico climatérico señalado por Rodríguez, *et al.* (2005), coincidía con más de 60 % de incidencia de *Fusarium* sp. (p. 2849) y debido a que la presencia de microorganismos acelera los procesos metabólicos como la respiración (FAO, 2014) se podría haber atribuido erróneamente el

incremento en la producción de CO₂ al climaterio del fruto cuando se debía a la actividad microbiana.

La TR es influenciada por el estado de desarrollo de los productos hortofrutícolas, así, en estados de desarrollo iniciales la actividad respiratoria es alta mientras que en estados de desarrollo posteriores como la senescencia disminuye (Arias y Toledo, 2007, p. 2). Se observó además que la actividad respiratoria de los frutos aumentó prácticamente al doble en 21 días de almacenamiento a 12 °C cuando se esperaba que esta disminuyera debido a que al inicio de la experimentación los frutos se encontraban maduros y conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento estos deberían entrar en la fase de senescencia, el incremento que se presentó se podría explicar debido a que posiblemente se logró retardar la senescencia con el almacenamiento refrigerado. Otro factor que pudo haber contribuido para que se diera este incremento fue la presencia de patógenos, que aunque fue nula durante los dos primeros períodos de almacenamiento, al finalizar el tercer período fue superior al 5 %. Los microorganismos que más comúnmente causan el deterioro de frutos y hortalizas son hongos y bacterias, estos causan daño físico e incrementan la respiración de los productos frescos con la consecuente disminución de la vida útil (FAO, 2014).

Al cambiar las condiciones de almacenamiento de los frutos de 12 °C a 20 °C se incrementó su TR debido a que la temperatura tiene una influencia directa en este proceso metabólico (Arias y Toledo, 2007, pp. 1 y 2). Después del primer período de almacenamiento la actividad respiratoria se incrementó en alrededor de 45 %, después del segundo período en alrededor de 51 % y después del tercer período en alrededor de 48 %, con respecto al último día de almacenamiento en el cuarto frío a 12 °C. Estos datos corroboran que por cada 10 °C sobre la temperatura de almacenamiento óptima la TR de los frutos se incrementa de 2 a 3 veces, consecuentemente la velocidad de deterioro aumenta y la vida útil de los productos disminuye (Kader, 2002, p. 43; Rolz, 2011, p. 24).

La pitahaya amarilla presentó un patrón respiratorio no climatérico, el hidrogenofriamiento no afectó la TR de los frutos durante el almacenamiento. La TR

de los frutos de pitahaya amarilla después de 21 días de almacenamiento a 12 °C fue de alrededor de 12,9 mg CO₂/kg×h.

3.4 ENSAYOS DE LOS TRATAMIENTOS POSCOSECHA DE HIDROENFRIAMIENTO Y EMPACADO CON DOS TIPOS DE PELÍCULAS POLIMÉRICAS

Frutos de pitahaya amarilla hidrogenados y sin hidrogenar fueron empacados, por separado, con láminas de LDPE y PVC. Los frutos empacados fueron almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C y 85 % HR seguidos de 5 días a temperatura ambiente. Las variables de control fueron: pérdida de peso (%), firmeza, pH, acidez titulable, SST y concentración de CO₂ en el interior del empaque. Además se evaluó la calidad visual y sensorial de las muestras.

Los datos de los ensayos de los tratamientos de hidrogenamiento y empaque del cuarto período de almacenamiento (28 días a 12 °C más 5 días a 20 °C) no se muestran, debido a que los frutos presentaron más del 25 % de deterioro por ataque de patógenos.

3.4.1 ANÁLISIS QUÍMICOS

En la Tabla 3.2 se muestran los valores de pH, acidez titulable y SST obtenidos en esta experimentación.

El pH de los frutos de pitahaya amarilla disminuyó después del primer período de almacenamiento y se incrementó después del segundo y tercer período de almacenamiento, esto podría deberse a que la muestra con la que se realizó la caracterización no fue representativa ya que fue inferior al 10 % con respecto al total de los frutos utilizados en la experimentación, sin embargo la diferencia en el valor de pH entre la caracterización y el primer período no supera el 0,25, esta

cantidad no representa una amplia variación. Los datos de la caracterización química de los frutos se detallan en acápite 3.1.2.

Tabla 3.2. Contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable y pH en frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de madurez cinco almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C seguidos de 5 días a temperatura ambiente (20 °C)

TRATAMIENTOS	PERÍODOS DE ALMACENAMIENTO		
	7d 12 °C + 5d 20 °C ¹	14d 12 °C + 5d 20 °C ²	21d 12 °C + 5d 20 °C ³
pH			
A	4,72 ± 0,02a	4,88 ± 0,03a	4,89 ± 0,03a
B	4,69 ± 0,02a b	4,74 ± 0,01b	5,00 ± 0,02b
C	4,71 ± 0,03a b	4,86 ± 0,01a	4,90 ± 0,01a
D	4,66 ± 0,02b	4,79 ± 0,01c	5,02 ± 0,03b
Acidez titulable (g/100 g de ácido cítrico)			
A	0,10 ± 0,00	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,00a
B	0,10 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,00b
C	0,10 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,00a
D	0,11 ± 0,01	0,08 ± 0,00	0,08 ± 0,00b
Sólidos solubles totales (°Brix)			
A	15,63 ± 0,47	15,30 ± 0,43	15,23 ± 0,38
B	15,03 ± 0,31	15,05 ± 0,14	14,98 ± 0,19
C	14,95 ± 0,14	15,15 ± 0,43	14,98 ± 0,16
D	15,43 ± 0,45	14,90 ± 0,41	14,93 ± 0,19

$\bar{x} \pm \sigma$, (n=3)

Valores de pH y acidez titulable en la misma columna seguidos de letras diferentes denotan diferencia estadísticamente significativa.

1: primer período de almacenamiento

2: segundo período de almacenamiento

3: tercer período de almacenamiento

A: frutos hidrofriados empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

B: frutos sin hidrofriar empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

C: frutos hidrofriados empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

D: frutos sin hidrofriar empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

En la Figura 3.3 se presenta la media de pH de los tratamientos en la caracterización y en los tres períodos de almacenamiento y permite visualizar la disminución inicial de pH con su subsecuente incremento. Sin embargo, si solamente se hace referencia a los períodos de almacenamiento de los frutos se observa el constante incremento de pH. En cada período de almacenamiento

existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos. Los frutos hidrogenfriados presentaron valores de pH superiores a los frutos sin hidrogenfriar en el primer y segundo período de almacenamiento, mientras en el tercer período de almacenamiento fueron los frutos sin hidrogenfriar los que presentaron valores más altos de pH. El tipo de empaque utilizado no influyó en este parámetro.

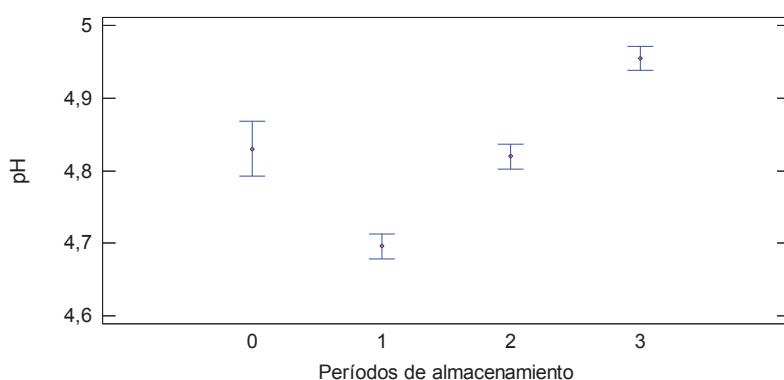


Figura 3.3. Gráfico de medias e intervalos LSD de valores de pH en la caracterización (0), en el primer (1), segundo (2) y tercer (3) período de almacenamiento

Después del primer período de almacenamiento el pH disminuyó en alrededor de 2,5 % en los frutos que recibieron hidrogenfriamiento (tratamientos A y C) y en los frutos sin hidrogenfriar (tratamientos B y D) disminuyó en alrededor de 3 %. Para los frutos hidrogenfriados el pH se incrementó en alrededor de 1 % y 1,5 % después de segundo y tercer período de almacenamiento, respectivamente. Para los frutos sin hidrogenfriar, no existió incremento de pH en el segundo período mientras que en el tercer período de almacenamiento el incremento fue de alrededor de 3,5 %. Rodríguez, Patiño, Miranda, Fischer y Galvis (2005), reportaron que el pH para frutos en estado de madurez 5 almacenados a 8 °C durante 15 días fue estable y se mantuvo en un rango de $5,05 \pm 0,5$ (p. 2842), resultados similares a los obtenidos en esta investigación en el tercer período de almacenamiento. La velocidad del proceso de maduración cambia entre especies de frutos, cultivares de la misma especie, grados de madurez del mismo cultivar y zonas de producción (FAO, 2014). La temperatura retarda procesos metabólicos y ayuda a mantener por mayor tiempo la composición química y nutricional de los productos frescos (Paull y Duarte, 2011, p. 110). Los frutos de la presente

experimentación y de la investigación desarrollada por Rodríguez, *et al.* (2005), estaban en grado de madurez 5, sin embargo presentaron diferencia en el pH posiblemente debido a los frutos provenían de zonas de cultivo distintas y a que se utilizaron temperaturas de almacenamiento diferentes.

No existieron diferencias estadísticamente significativas para la acidez titulable entre los tratamientos en el primer y segundo período de almacenamiento. Sin embargo, en el tercer período de almacenamiento existió diferencia estadística entre los frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar, así los frutos hidrogenfriados (tratamientos A y C) presentaron los valores más altos de este parámetro. La acidez titulable de los frutos de pitahaya amarilla disminuyó después del primer y segundo período de almacenamiento y se mantuvo constante después del tercer período de almacenamiento, como se observa en la Figura 3.4. Después del primer período de almacenamiento la acidez titulable disminuyó en alrededor de 15,5 % y después del segundo en torno a 30 %, en el tercer período se mantuvo constante.

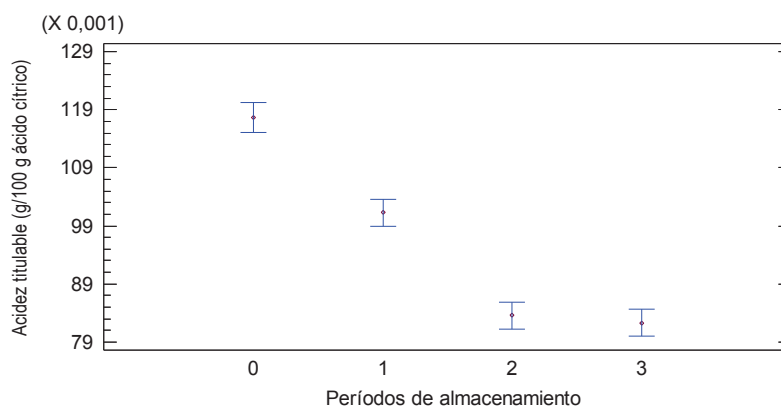


Figura 3.4. Gráfico de medias e intervalos LSD de valores de acidez titulable en la caracterización (0), en el primer (1), segundo (2) y tercer (3) período de almacenamiento

En un estudio realizado por Nerd y Mizrahi (1999), se presentó una reducción de alrededor del 50 % en la acidez titulable para frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco almacenados a 10 °C durante 4 semanas (pp. 102 y 103), este resultado es alrededor de 1,5 veces mayor al encontrado en esta investigación y al considerar que se utilizaron frutos con igual estado de madurez y que fueron almacenados a temperaturas similares se podría atribuir esta diferencia a las

condiciones medio ambientales y edafológicas en las que fueron cultivados los frutos de cada experimentación, pues estos parámetros influyen en la composición de los productos hortofrutícolas (Kader, 2002, pp. 50-52), además podría atribuirse a que los frutos de las dos investigaciones provienen de la misma especie pero distinto cultivar y fueron producidos en diferentes zonas, estos factores influyen en la velocidad y naturaleza del proceso de maduración (FAO, 2014).

No existieron diferencias estadísticamente significativas para el contenido de sólidos solubles totales (SST) entre los tratamientos durante los tres períodos de almacenamiento. Los SST disminuyeron después del primer período de almacenamiento en alrededor del 6 % y posteriormente no se presentó variación como se observa en la Figura 3.5.

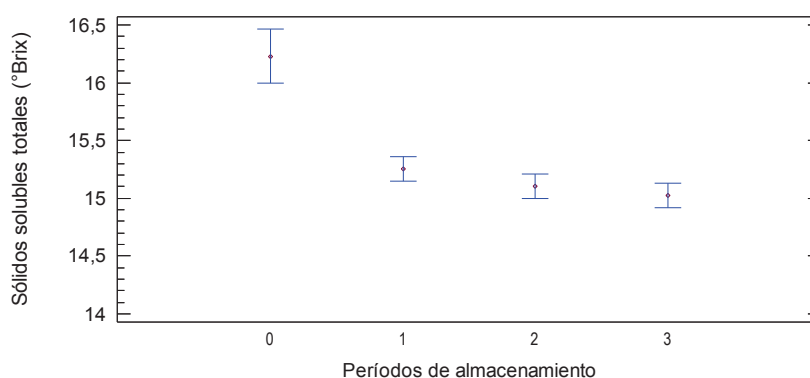


Figura 3.5. Gráfico de medias e intervalos LSD de valores de sólidos solubles totales en la caracterización (0), en el primer (1), segundo (2) y tercer (3) período de almacenamiento

Nerd y Mizhari (1999), reportaron que no existieron cambios en el contenido de SST de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco almacenadas a 10 °C durante 4 semanas (pp. 102 y 103). Sin embargo Rodríguez, *et al.* (2005), señalaron que los SST se incrementaron en alrededor de 25 % en pitahaya amarilla en grado de madurez cinco almacenada a 8 °C durante 15 días (p. 2843). Los resultados encontrados en la presente investigación son similares a los reportados por Nerd y Mizhari, ya que después del primer período de almacenamiento los SST se mantuvieron constantes.

3.4.2 PÉRDIDA DE PESO

En la Figura 3.6 se muestra la pérdida de peso (%) que presentaron los frutos de los cuatro tratamientos durante los diferentes períodos de almacenamiento.

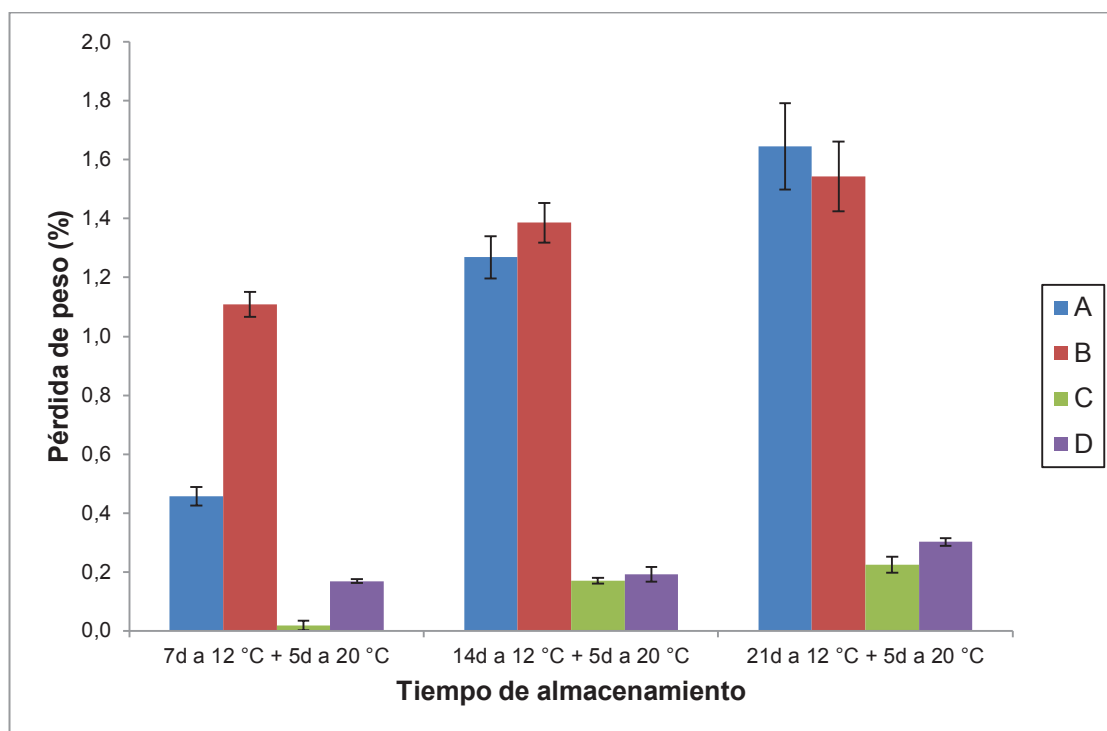


Figura 3.6. Pérdida de peso (%) de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco hidrogenfriados, empacados y almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C y 85 % HR seguidos de 5 días a 20 °C y 60 % HR

- A: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)
- B: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)
- C: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)
- D: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

La pérdida de peso se incrementó en todos los tratamientos conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento. La transpiración es la principal causa para la pérdida de peso en productos frescos (Paull y Duarte, 2011, p. 108).

Después del primer período de almacenamiento existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en la aplicación de hidrogenfriamiento y en el tipo de empaque; así los frutos hidrogenfriados perdieron menos peso que los sin hidrogenfriar y los frutos empacados en LDPE perdieron menos peso que los empacados en PVC. En este período el tratamiento que tuvo la menor pérdida de

peso fue el C (frutos hidrogenfriados empacados con láminas de LDPE) con un valor promedio inferior al 0,2 %, mientras que el tratamiento menos eficaz fue el B (frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de PVC) con un valor promedio superior al 1 %.

Después del segundo período de almacenamiento existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) solamente en el tipo de empaque, así los frutos empacados en LDPE perdieron menos peso que los empacados en PVC independientemente de si fueron hidrogenfriados o no. En el segundo período los frutos empacados con láminas de LDPE perdieron menos de 0,3 % en promedio de peso, mientras que los frutos empacados con láminas de PVC perdieron más de 1,2 % en promedio de peso.

Después del tercer período de almacenamiento existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en el tipo de empaque y dentro de los frutos empacados en PVC también existió diferencia estadísticamente significativa en la aplicación de hidrogenfriamiento. Así, los frutos empacados con láminas de LDPE perdieron menos de 0,4 % en promedio de peso y en los frutos empacados con láminas de PVC la pérdida de peso promedio superó el 1,5 %. Dentro de los frutos empacados con láminas de PVC, las pitahayas hidrogenfriadas (tratamiento C) perdieron menos peso que las pitahayas sin hidrogenfriar (tratamiento D).

En la Figura 3.7 se presenta la interacción entre el hidrogenfriamiento y el tipo de empaque, se observa que después del primer período de almacenamiento (X) los frutos hidrogenfriados y empacados con LDPE fueron los que perdieron menos peso y los frutos sin hidrogenfriar y empacados con PVC fueron los que perdieron más, mientras que en el segundo (Y) y tercer período de almacenamiento (Z) los frutos hidrogenfriados fueron los que presentaron menor pérdida de peso y los frutos sin hidrogenfriar los que presentaron mayor pérdida, en ambos casos independientemente del empaque utilizado.

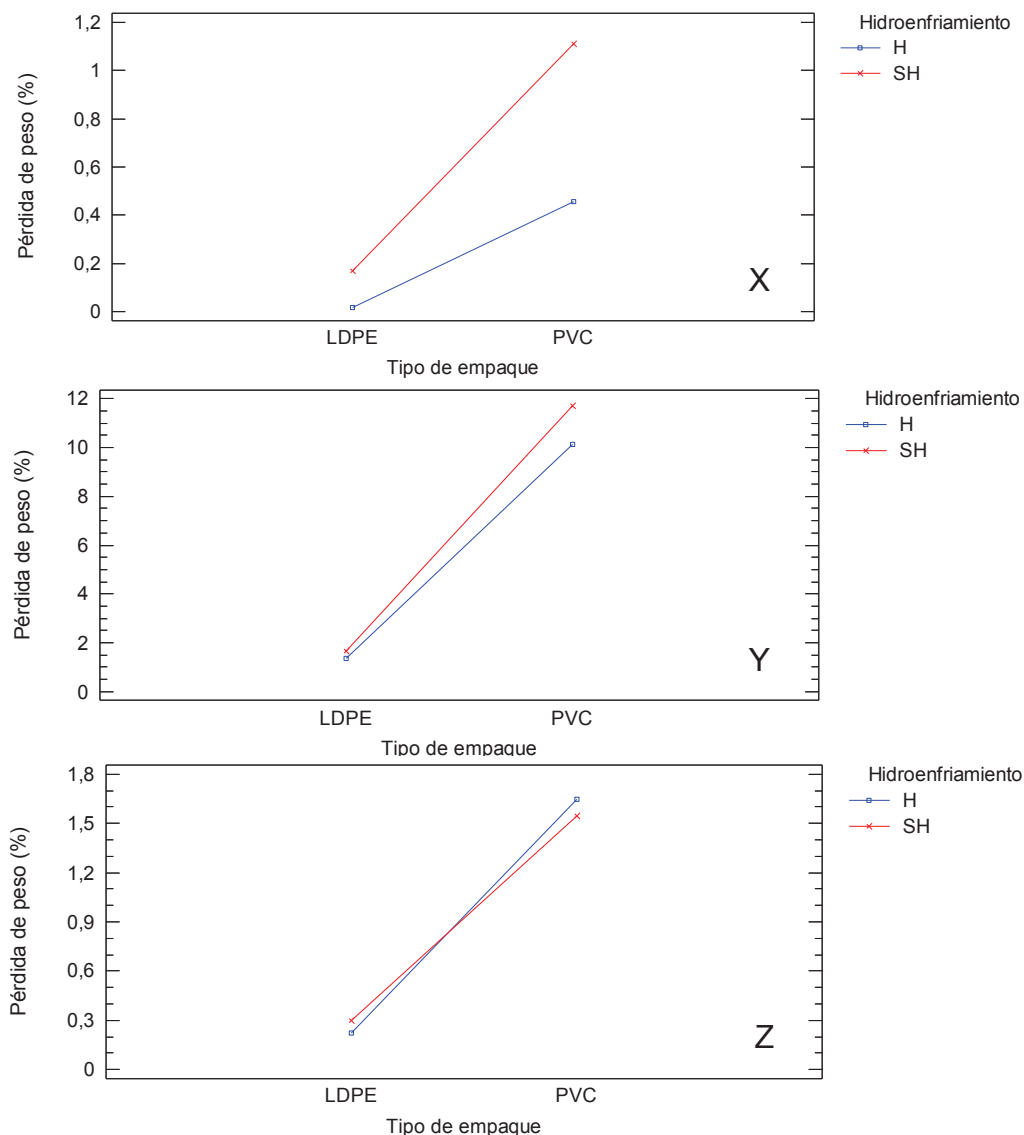


Figura 3.7. Interacción entre las variables de hidroenfriamiento (H: frutos hidroenfriados, SH: frutos sin hidroenfriar) y tipo de empaque (LDPE: polietileno de baja densidad, PVC: cloruro de polivinilo) para pérdida de peso (%) de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco durante los tres periodos de almacenamiento

X: primer período de almacenamiento (7 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

Y: segundo período de almacenamiento (14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

Z: tercer período de almacenamiento (21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

Después del primer período de almacenamiento la pérdida de peso en los frutos sin hidroenfriar y empacados con PVC (tratamiento B) fue 1,11 % mientras que en los frutos hidroenfriados y empacados con PVC (tratamiento A) fue 0,46 %, es decir hay una diferencia de más del doble. En los frutos sin hidroenfriar y empacados en LDPE (D) la pérdida de peso fue 0,17 % y en los frutos hidroenfriados y empacados en LDPE (tratamiento C) fue 0,02 %, en este caso la

diferencia es de más del triple. Después del segundo período de almacenamiento la pérdida de peso en los frutos que fueron empacados con láminas de PVC fue alrededor de 1,3 % mientras que en los frutos empacados con láminas de LDPE fue 0,15 %, la diferencia existente es de alrededor de 7 veces, y en el tercer período de almacenamiento esta diferencia fue de alrededor de 5 veces. La permeabilidad al vapor de agua a 38 °C y 90 % HR del LDPE y el PVC es de 18 y 27,5 g/m²×día, respectivamente (García *et al.*, 2006, p. 112), las láminas de LDPE evitaron de forma más eficaz la pérdida de agua de los frutos debido a que su permeabilidad al vapor de agua es alrededor de 34 % menor que la de las láminas de PVC.

Cuando la pérdida de agua en los productos hortofrutícolas es en promedio 5 % ya no es posible su comercialización (Arias y Toledo, 2007, p. 9). Los frutos no presentaron signos visibles de deshidratación en ninguno de los tratamientos durante el tiempo de almacenamiento, ya que la pérdida de agua en frutos empacados con láminas de PVC fue inferior al 1,8 % y en los frutos empacados con láminas de LDPE fue inferior al 0,4 %.

En una investigación realizada por García y Robayo (2008), se reportó que la utilización de empaques de polipropileno (PP) permitió que la pérdida de peso en frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cuatro fuese superior al 5 % al cabo de 8 días de almacenamiento a 10 °C más 5 días a 20 °C (pp. 37 y 39). Nerd y Mizrahi (1999), señalaron una pérdida de peso de alrededor del 15 % para frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco almacenados durante 4 semanas a 10 °C sin la utilización de empaques (p. 103). Los resultados de esos estudios indican que la utilización de empaque permite por sí sola la disminución de la pérdida de peso, pero la actual investigación demuestra que la aplicación de hidroenfriamiento permite mejorar dichos resultados.

Magaña, *et al.* (2004), reportaron una pérdida de peso superior al 24 % en frutos de pitahaya roja almacenados durante 21 días a 8 °C (p. 35), este resultado podría indicar que la pitahaya roja pierde peso más rápidamente que la amarilla.

3.4.3 FIRMEZA

En la Figura 3.8 se presenta la firmeza (N) de los frutos de pitahaya amarilla para cada tratamiento durante los diferentes períodos de almacenamiento.

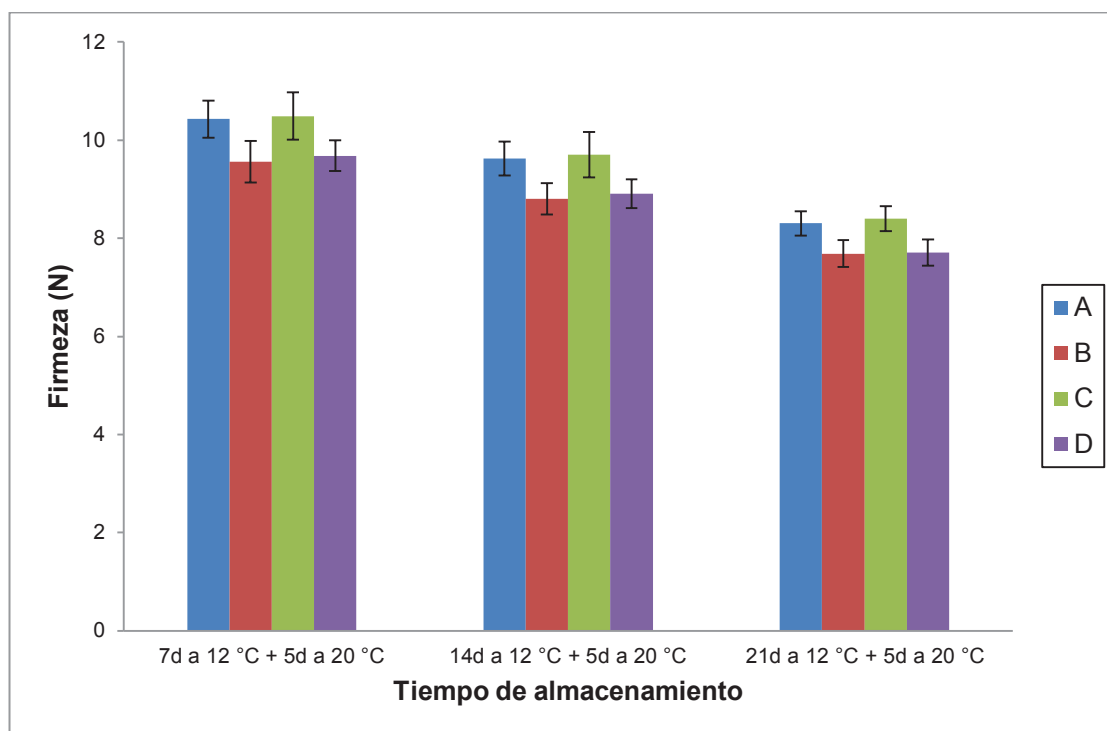


Figura 3.8. Firmeza (N) de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco hidrogenfriados, empacados y almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C y 85 % HR seguidos de 5 días a 20 °C y 60 % HR

- A: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)
- B: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)
- C: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)
- D: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

Para este parámetro existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en la aplicación de hidrogenfriamiento en los tres períodos de almacenamiento, independientemente del tipo de empaque utilizado, así los frutos que recibieron hidrogenfriamiento (tratamientos A y C) presentaron una firmeza más alta que los frutos que no recibieron hidrogenfriamiento (tratamientos B y D). En la Figura 3.9 se presenta la interacción entre el hidrogenfriamiento y el tipo de empaque durante los tres períodos de almacenamiento, donde se observa precisamente que los frutos hidrogenfriados presentan mayor firmeza que los frutos sin hidrogenfriar.

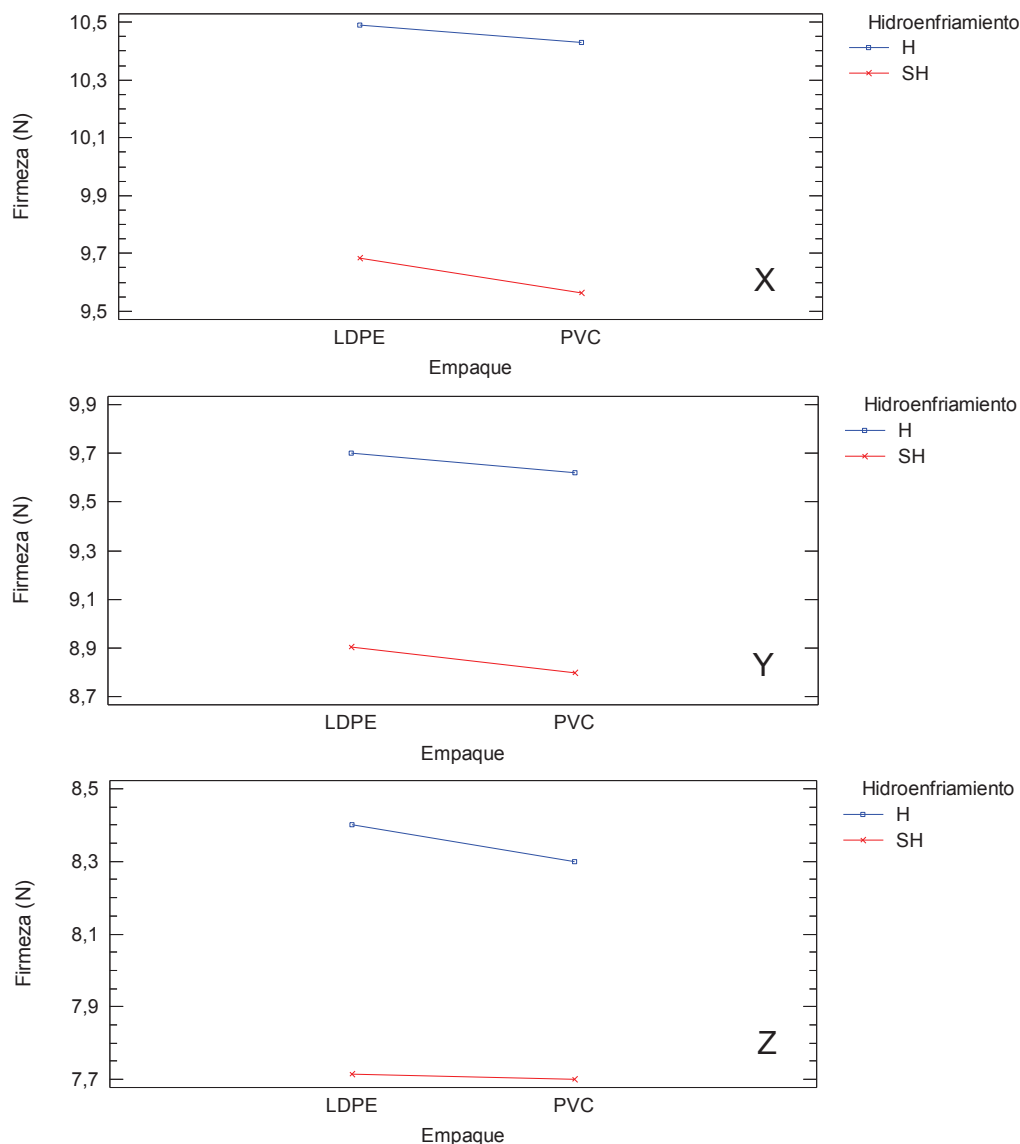


Figura 3.9. Interacción entre las variables de hidroenfriamiento (H: frutos hidroenfriados, SH: frutos sin hidroenfriar) y tipo de empaque (LDPE: polietileno de baja densidad, PVC: cloruro de polivinilo) para firmeza (N) de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco durante los tres períodos de almacenamiento

X: primer período de almacenamiento (7 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

Y: segundo período de almacenamiento (14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

Z: tercer período de almacenamiento (21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

En los procesos de maduración y senescencia de los productos hortofrutícolas se produce la hidrólisis de pectinas y hemicelulosa presentes en los frutos que genera el debilitamiento de las paredes celulares y reduce la firmeza de los mismos (Paliyath, *et al.*; 2008, p. 10). Los frutos hidroenfriados presentaron menor pérdida de firmeza que los frutos sin hidroenfriar. El pre-enfriamiento reduce la

velocidad de las reacciones enzimáticas y por esta razón ayuda a mantener la firmeza y calidad de los productos frescos (Arias y Toledo, 2007, p. 20).

La firmeza de los frutos de pitahaya amarilla disminuyó durante el almacenamiento. Después del primer período de almacenamiento la firmeza disminuyó en alrededor de 1,5 % y 9 % para frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar, respectivamente. Después del segundo período de almacenamiento la firmeza disminuyó aproximadamente 9 % en frutos hidrogenfriados y 16,5 % en frutos sin hidrogenfriar. Finalmente, después del tercer período de almacenamiento la reducción de la firmeza fue de alrededor de 21 % y 27,5 % para frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar, respectivamente. Se observó que la diferencia porcentual entre los frutos hidrogenfriados y sin hidrogenfriar fue constante durante los tres períodos de almacenamiento, lo que indicó que la influencia del hidrogenfriamiento sobre la firmeza fue permanente.

En un estudio realizado por García y Robayo (2008), se reportó que la firmeza de pitahaya amarilla en grado de madurez cuatro, fruto con cáscara de color amarillo con las puntas de mamilas de color verde, empacada en PP disminuyó en más del 50 % de su valor inicial al cabo de 20 días de almacenamiento a 10 °C (pp. 34 y 35). Este resultado es prácticamente el doble del que se obtuvo en esta investigación, esta diferencia se podría explicar debido a que la aplicación de hidrogenfriamiento ayudó a reducir la velocidad de la hidrólisis de las pectinas y la hemicelulosa presentes en las paredes celulares de los frutos y así se logró disminuir la pérdida de firmeza (Arias y Toledo, 2007, p. 20).

Tonetto y Mitcham (2012), reportaron una disminución de alrededor de 30 % en la firmeza de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*) completamente madura empacada en bolsas de LDPE y almacenada durante 20 días a 10 °C más 5 días a 20 °C (p. 1975); este resultado es similar al obtenido en esta investigación para frutos sin hidrogenfriar en un tiempo de almacenamiento y con condiciones similares, lo que podría indicar que la velocidad de pérdida de firmeza es similar en los dos géneros de pitahaya.

3.4.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL

Se evaluó la calidad visual de 30 frutos por cada tratamiento. Los parámetros valorados fueron turgencia, marchitez del pedúnculo, presencia de patógenos, daño físico y manchas pardas asociadas al daño por frío. Se utilizó una escala de 1 a 5 puntos, donde 1 correspondía a la peor característica del atributo evaluado y 5 a la mejor. En la Tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad visual de pitahaya amarilla durante el almacenamiento.

Tabla 3.3. Valores para calidad visual de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de madurez cinco almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C seguidos de 5 días a temperatura ambiente (20 °C)

ATRIBUTO	PERÍODOS DE ALMACENAMIENTO	TRATAMIENTOS			
		A	B	C	D
Turgencia	7d 12 °C + 5d 20 °C ¹	5,00±0,00	4,50±0,51	5,00±0,00	4,93±0,25
	14d 12 °C + 5d 20 °C ²	4,67±0,48	3,80±0,41	4,80±0,41	3,97±0,18
	21d 12 °C + 5d 20 °C ³	4,00±0,26	3,30±0,47	4,10±0,48	3,43±0,50
Marchitez del pedúnculo	7d 12 °C + 5d 20 °C	5,00±0,00	4,33±0,48	5,00±0,00	4,60±0,50
	14d 12 °C + 5d 20 °C	3,83±0,38	3,67±0,48	4,00±0,00	3,80±0,41
	21d 12 °C + 5d 20 °C	3,23±0,43	2,60±0,50	3,37±0,49	2,73±0,45
Presencia de patógenos	7d 12 °C + 5d 20 °C	4,93±0,25	4,83±0,38	4,93±0,25	4,97±0,18
	14d 12 °C + 5d 20 °C	3,50±0,51	3,43±0,68	3,40±0,67	3,33±0,76
	21d 12 °C + 5d 20 °C	3,07±0,74	2,97±0,76	3,00±0,74	2,83±0,87
Daño físico	7d 12 °C + 5d 20 °C	4,57±0,50	4,47±0,63	4,43±0,57	4,47±0,51
	14d 12 °C + 5d 20 °C	4,57±0,63	4,47±0,57	4,43±0,63	4,37±0,76
	21d 12 °C + 5d 20 °C	4,27±0,64	4,10±0,55	4,17±0,65	4,13±0,63
Manchas pardas	7d 12 °C + 5d 20 °C	4,90±0,31	5,00±0,00	4,97±0,18	5,00±0,00
	14d 12 °C + 5d 20 °C	4,67±0,48	4,83±0,38	4,47±0,51	4,73±0,45
	21d 12 °C + 5d 20 °C	4,20±0,71	4,50±0,51	4,33±0,55	4,47±0,51

$\bar{x} \pm \sigma$, (n=30)

1: primer período de almacenamiento

2: segundo período de almacenamiento

3: tercer período de almacenamiento

A: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

B: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

C: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

D: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

El valor inicial para el atributo de turgencia fue 5 que correspondió a frutos cuya apariencia era fresca y firme. La turgencia disminuyó durante el tiempo de almacenamiento para todos los tratamientos. Existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en la aplicación de hidrogenfriamiento en los tres períodos de almacenamiento, así, los frutos hidrogenfriados (tratamientos A y C) presentaron mayor turgencia que los frutos sin hidrogenfriar (tratamientos B y D). Además, existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en el tipo de empaque en el primer y segundo período de almacenamiento, por lo que los frutos empacados con láminas de LDPE (tratamientos C y D) conservaron mejor la turgencia que los frutos empacados con láminas de PVC (tratamientos A y B). El tratamiento que conservó de forma más efectiva la turgencia de los frutos en el primer y segundo período de almacenamiento fue el C, es decir, frutos hidrogenfriados y empacados con LDPE.

Después del primer período de almacenamiento los frutos de los cuatro tratamientos se mantuvieron frescos, mientras que después del segundo y tercer período de almacenamiento los frutos hidrogenfriados eran ligeramente secos y los frutos sin hidrogenfriar eran medianamente secos, respectivamente. La disminución progresiva de la turgencia de los frutos durante el almacenamiento concordó con la reducción en la firmeza y la pérdida de peso.

El valor inicial para la marchitez del pedúnculo fue de 5 que significó un pedúnculo completamente hidratado sin ningún signo de marchitamiento. Al igual que la turgencia, este parámetro se redujo durante el almacenamiento para todos los tratamientos. Existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en el hidrogenfriamiento en los tres períodos de almacenamiento, así, los frutos hidrogenfriados (tratamientos A y C) presentaron menor marchitez del pedúnculo frente a los frutos sin hidrogenfriar (tratamientos B y D). Existió también diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en el tipo de empaque en los dos primeros períodos de almacenamiento, se observó que los frutos empacados con láminas de LDPE (tratamientos C y D) presentaron menor marchitamiento del pedúnculo que los frutos empacados con láminas de PVC (tratamientos A y B). Los frutos hidrogenfriados y empacados con láminas de LDPE (tratamiento C)

fueron los que presentaron menor marchitez del pedúnculo en el primer y segundo período de almacenamiento. La creciente marchitez del pedúnculo de los frutos durante el almacenamiento concordó con la pérdida de peso.

En la Figura 3.10 se presenta la interacción entre el hidrogenfriamiento y el tipo de empaque para el parámetro marchitez del pedúnculo durante el almacenamiento.

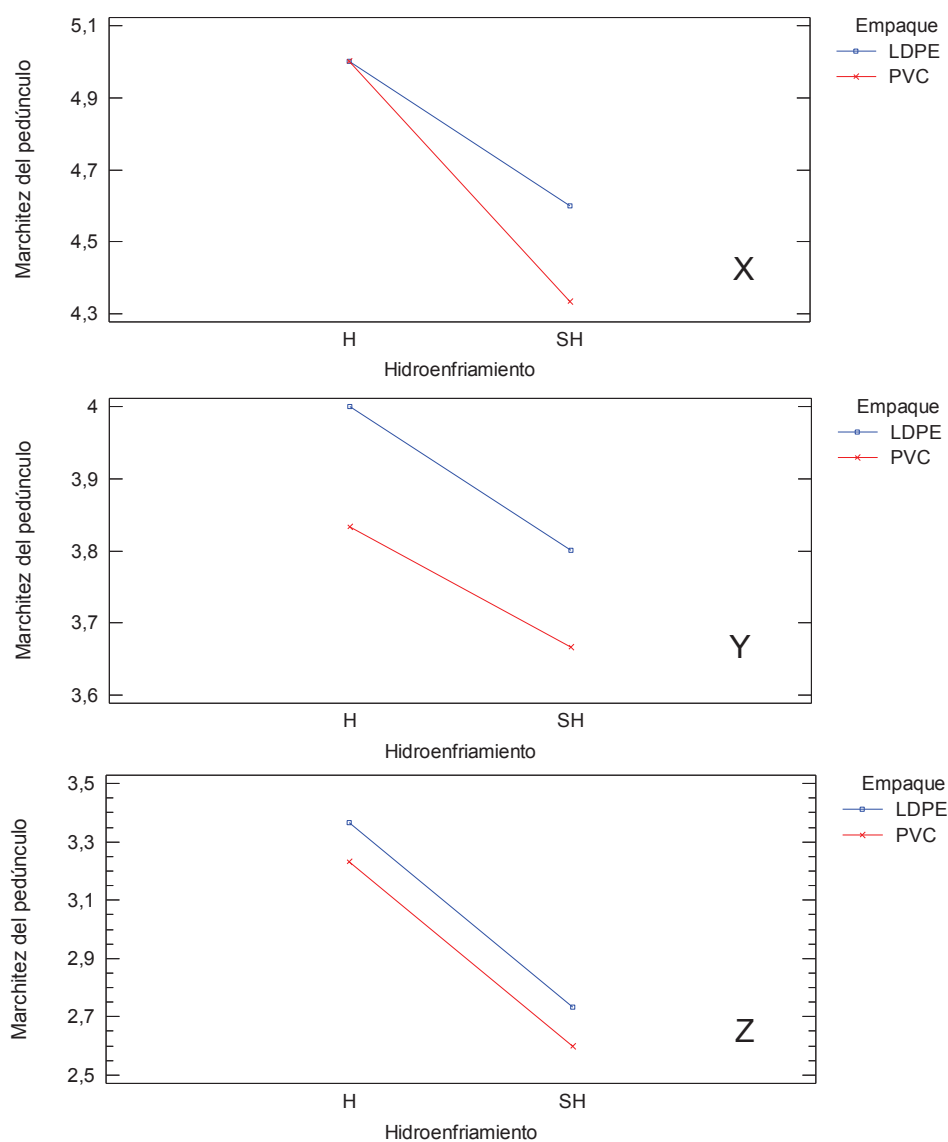


Figura 3.10. Interacción entre las variables de hidrogenfriamiento (H: frutos hidrogenfriados, SH: frutos sin hidrogenfriar) y tipo de empaque (LDPE: polietileno de baja densidad, PVC: cloruro de polivinilo) para marchitez del pedúnculo de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco durante los tres períodos de almacenamiento

X: primer período de almacenamiento (7 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

Y: segundo período de almacenamiento (14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

Z: tercer período de almacenamiento (21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

El valor inicial para la presencia visual de patógenos fue de 4,9 que indicó que existía menos del 5 % de patógenos en los frutos. La presencia de patógenos se incrementó durante el período de almacenamiento para todos los tratamientos, con la consecuente disminución del valor en la escala. No existió diferencia estadísticamente significativa en la aplicación de hidrogenofriamiento ni en el tipo de empaque utilizado para este parámetro.

Después del primer período de almacenamiento la presencia de patógenos se mantuvo constante, es decir, continuó por debajo del 5 % en todos los tratamientos. Después del segundo y tercer período de almacenamiento los patógenos se incrementaron hasta 10 y 25 %, respectivamente. En la Figura 3.11 se presenta los cambios experimentados en la escala para presencia de patógenos durante el almacenamiento, así se puede observar que después del primer período de almacenamiento la presencia de patógenos se mantiene constante, mientras que en segundo y tercer período de almacenamiento se incrementa progresivamente.

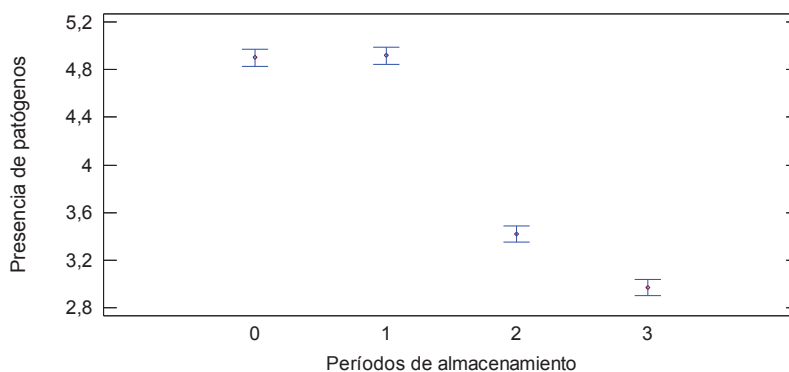


Figura 3.11. Gráfico de medias e intervalos LSD de valores de presencia de patógenos en la caracterización (0), en el primer (1), segundo (2) y tercer (3) período de almacenamiento

Se observó que en el primer período de almacenamiento no existió presencia de patógenos en ninguno de los frutos mientras permanecieron a 12 °C, pero cuando los frutos fueron almacenados a 20 °C para simular el tiempo de vida en estante la presencia de patógenos se incrementó pero fue inferior al 5 %. En el segundo período, los frutos almacenados a 12 °C presentaron menos del 5 % de patógenos pero cuando fueron trasladados a 20 °C la presencia de patógenos se

incrementó a 10 %. En el tercer período, la presencia de patógenos en los frutos conservados en refrigeración (12 °C) fue de 10 % y cuando fueron almacenados a temperatura ambiente (20 °C) se incrementó a 25 %. Estos resultados corroboran que la temperatura influye directamente en el crecimiento de los microorganismos (Kader, 2002, p. 42).

En primer período de almacenamiento se observó presencia mínima de hongos en las mamilas de algunos frutos en los cuatro tratamientos. En el segundo período de almacenamiento se observaron hongos y zonas acuosas de color marrón y de pequeño tamaño alrededor de mamilas en varios frutos en todos los tratamientos, además existió presencia de hongos en los pedúnculos de todos los frutos pero sin pudrición. En el tercer período de almacenamiento se observó también la presencia de hongos y zonas acuosas de color marrón y de tamaño medio alrededor de mamilas, existió presencia de hongos en todos los pedúnculos pero sin pudrición y además se observaron hongos en la corona de algunos frutos en los cuatro tratamientos. Los hongos observados en mamilas y pedúnculos tenían hifas de color gris, mientras que las hifas de los hongos observados en la corona de los frutos eran de color blanco.

García y Robayo (2008), reportaron un daño biológico del 15 % para pitahaya amarilla en estado de madurez tres almacenada a 10 °C durante 21 días (p. 34), este valor es superior al que presentaron los frutos almacenados durante 21 días a 12 °C, antes de ser trasladados a temperatura ambiente, lo que podría deberse a que la desinfección que se realizó en la presente experimentación ayudó a reducir el porcentaje inicial de carga microbiana en los frutos.

El valor inicial para el daño físico fue de 5 que indicó que los frutos no presentaron ningún tipo de golpe, corte o cualquier otro tipo de daño mecánico. No existió diferencia estadísticamente significativa en la aplicación de hidrogenofriamiento y el tipo de empaque utilizado para este parámetro. Después del primer período de almacenamiento el daño físico se incrementó, sin embargo fue inferior al 5 %. En el segundo y tercer período el daño físico se mantuvo constante.

El principal daño físico que se presentó en los frutos fueron puntos rojos sobre la cáscara, se atribuyó este tipo de lesión a espinas que no fueron removidas adecuadamente durante la cosecha y/o lavado y que en el momento del transporte causaron que unos frutos pincharan a otros. Se observó además que mientras los frutos permanecieron almacenados a 12 °C no existía la presencia de puntos rojos, pero una vez que los frutos eran almacenados a 20 °C se evidenciaba este daño, lo que podría explicarse porque al incrementarse la temperatura lo hace también la velocidad de las reacciones enzimáticas y metabólicas y consecuentemente los productos hortofrutícolas se deterioran con mayor facilidad (Arias y Toledo, 2007, p. 20).

El valor inicial para la presencia de manchas pardas relacionadas con el daño por frío fue 5 que significó que los frutos presentaron una apariencia libre de cualquier tipo de mancha y tenían un color amarillo brillante característico. Existió diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en la aplicación de hidrogenfriamiento en los tres períodos de almacenamiento, los frutos hidrogenfriados (tratamientos A y C) presentaron mayor incidencia de manchas pardas que los frutos sin hidrogenfriar (tratamientos B y D).

En la Figura 3.12 se presenta la interacción entre el hidrogenfriamiento y el tipo de empaque para el parámetro presencia de machas pardas relacionadas con el daño por frío en los tres períodos de almacenamiento, donde se observa que los frutos hidrogenfriados presentan mayor presencia de manchas pardas que los frutos sin hidrogenfriar.

Después del primer período de almacenamiento no existió presencia de manchas pardas en los frutos sin hidrogenfriar, mientras que en los frutos hidrogenfriados la presencia de manchas pardas fue inferior al 5 %. En el segundo período este parámetro se incrementó en los frutos sin hidrogenfriar a menos de 5 % y se mantuvo constante en los frutos hidrogenfriados. En el tercer período la presencia de machas pardas se mantuvo constante.

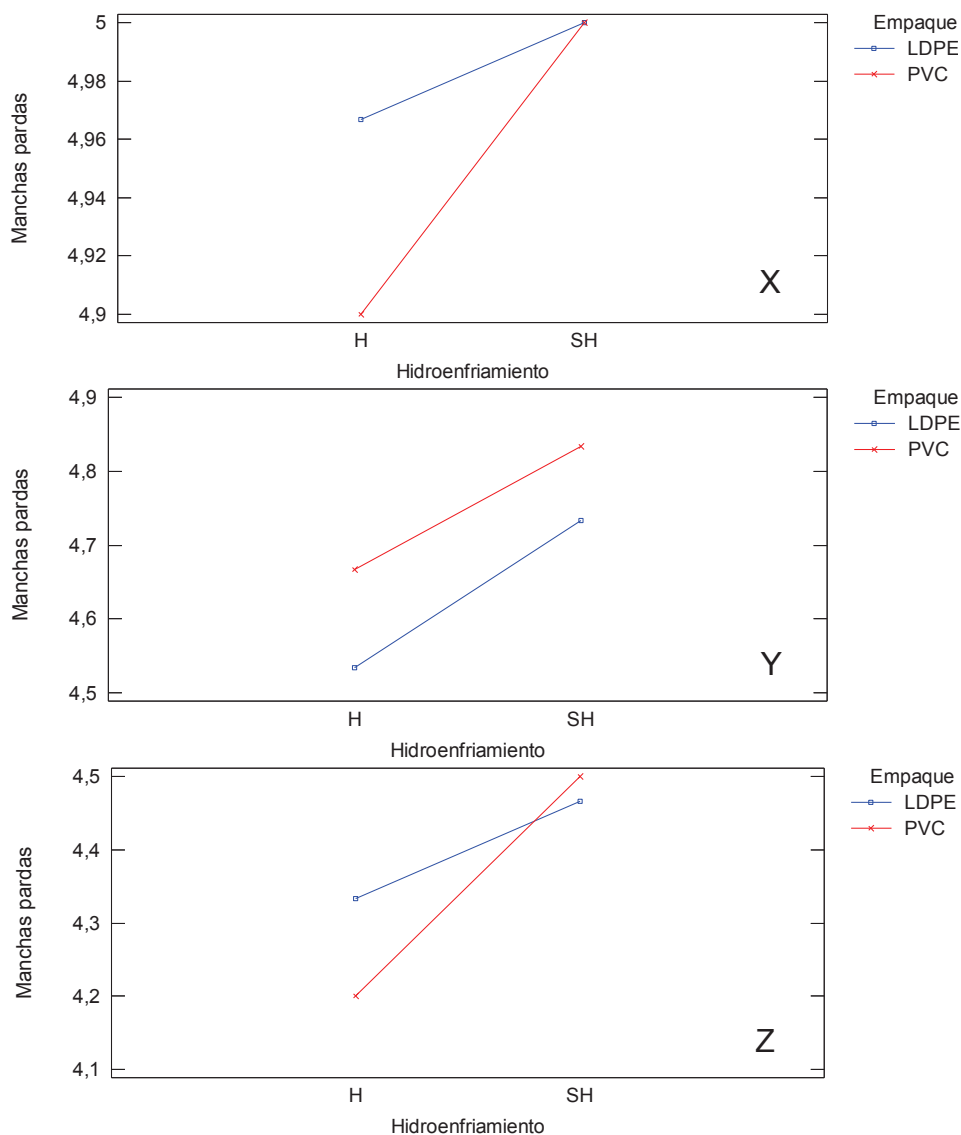


Figura 3.12. Interacción entre las variables de hidroenfriamiento (H: frutos hidroenfriados, SH: frutos sin hidroenfriar) y tipo de empaque (LDPE: polietileno de baja densidad, PVC: cloruro de polivinilo) para manchas pardas de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco durante los tres períodos de almacenamiento

X: primer período de almacenamiento (7 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

Y: segundo período de almacenamiento (14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

Z: tercer período de almacenamiento (21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C)

En la Tabla 3.4 se presenta la evaluación final de la calidad visual de los tratamientos después de cada período de almacenamiento.

Tabla 3.4. Índice general de evaluación de la calidad visual de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de madurez cinco durante 7, 14 y 21 días a 12 °C seguidos de 5 días a temperatura ambiente (20 °C)

PERÍODOS DE ALMACENAMIENTO	TRATAMIENTOS			
	A	B	C	D
7d 12 °C + 5d 20 °C ¹	I	I	I	I
14d 12 °C + 5d 20 °C ²	I	I	I	I
21d 12 °C + 5d 20 °C ³	II	II	II	II

I = 4-5, II = 3-4, III ≤ 3

I: mantiene características iniciales

II: presenta deterioro pero se puede consumir

III: no apto para comercialización

1: primer período de almacenamiento

2: segundo período de almacenamiento

3: tercer período de almacenamiento

A: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

B: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

C: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

D: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

En general, después del primer y segundo período de almacenamiento las pitahayas de los cuatro tratamientos conservaron sus características iniciales (categoría I), es decir, eran frutos firmes, cuya presencia de patógenos era nula o imperceptible y sin algún tipo de daño mecánico sobresaliente. Después del tercer período de almacenamiento los frutos de los cuatro tratamientos presentaron deterioro (categoría II); la pérdida en la firmeza, la presencia de patógenos y el daño físico fueron evidentes. Los frutos de los cuatro tratamientos podían ser comercializados después del tercer período de almacenamiento.

En una investigación realizada por García y Robayo (2008), se logró conservar pitahaya amarilla en grado de madurez cuatro empacada con PP y almacenada a 10 °C durante 21 días con un deterioro superior al 10 % (pp. 32 y 34), valor que ubicaría a dichos frutos en la categoría II de la escala de calificación utilizada en la presente investigación.

Fotografías de los frutos de los cuatro tratamientos durante el almacenamiento se presentan en el Anexo X.

3.4.5 ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial de los frutos se realizó con la ayuda de 12 jueces semi-entrenados; se seleccionó una bandeja al azar de cada tratamiento, las pitahayas se pelaron y cortaron, se colocaron dos rodajas de frutos procedentes de cada tratamiento en recipientes identificados con cuatro dígitos. Se utilizó una prueba descriptiva de calificación con escalas no estructuradas.

En la Tabla 3.5 se presentan los resultados para el análisis sensorial de frutos de pitahaya amarilla en los tres períodos de almacenamiento.

Tabla 3.5. Evaluación sensorial de frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en grado de madurez cinco almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C seguidos de 5 días a temperatura ambiente (20 °C)

ATRIBUTO	PERÍODOS DE ALMACENAMIENTO	TRATAMIENTOS			
		A	B	C	D
Apariencia	7d a 12 °C + 5d a 20 °C ¹	8,67 ± 1,22	8,56 ± 1,26	8,71 ± 1,01	8,93 ± 0,78
	14d a 12 °C + 5d a 20 °C ²	8,54 ± 1,35	8,01 ± 1,25	8,58 ± 1,36	7,92 ± 1,25
	21d a 12 °C + 5d a 20 °C ³	7,67 ± 1,63	7,46 ± 1,78	7,98 ± 1,86	8,22 ± 1,36
Sabor a fruta	7d a 12 °C + 5d a 20 °C	8,07 ± 1,37	7,40 ± 0,94	7,90 ± 1,20	7,62 ± 1,01
	14d a 12 °C + 5d a 20 °C	7,34 ± 1,45	7,68 ± 1,40	7,78 ± 1,17	7,70 ± 1,24
	21d a 12 °C + 5d a 20 °C	7,43 ± 1,45	7,80 ± 1,62	7,82 ± 1,22	7,73 ± 1,50
Dulzor	7d a 12 °C + 5d a 20 °C	7,82 ± 1,45	8,15 ± 1,38	7,67 ± 1,24	7,05 ± 0,70
	14d a 12 °C + 5d a 20 °C	7,74 ± 0,94	6,81 ± 1,20	7,83 ± 1,32	7,05 ± 1,37
	21d a 12 °C + 5d a 20 °C	5,95 ± 1,67	5,99 ± 1,50	6,31 ± 1,77	6,14 ± 2,07
Sabores extraños	7d a 12 °C + 5d a 20 °C	0,24 ± 0,18	0,21 ± 0,20	0,28 ± 0,18	0,22 ± 0,18
	14d a 12 °C + 5d a 20 °C	0,29 ± 0,23	0,25 ± 0,19	0,31 ± 0,24	0,30 ± 0,28
	21d a 12 °C + 5d a 20 °C	0,36 ± 0,25	0,29 ± 0,13	0,39 ± 0,20	0,33 ± 0,25

$\bar{x} \pm \sigma$ (n=12)

1: primer período de almacenamiento

2: segundo período de almacenamiento

3: tercer período de almacenamiento

A: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

B: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

C: frutos hidrogenfriados empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

D: frutos sin hidrogenfriar empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

No existió diferencia estadísticamente significativa en la aplicación de hidrogenfriamiento ni en el tipo de empaque utilizado en los cuatro tratamientos durante los tres períodos de almacenamiento para ninguno de los atributos evaluados en el análisis sensorial.

Según la apreciación de los jueces, la apariencia de los frutos de los cuatro tratamientos se mantuvo fresca durante los tres períodos de almacenamiento, con valores en promedio superiores a 7 en la escala de evaluación, lo que concuerda con la mínima pérdida de peso que experimentaron las pitahayas durante el almacenamiento.

El sabor a fruta y el dulzor se mantuvieron según la percepción de los jueces, esto concuerda con el hecho de que no existió variación en el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) en los análisis químicos que se realizaron a los frutos de cada tratamiento. En promedio el sabor a fruta se mantuvo con valores superiores a 7 y el dulzor con valores superiores a 5 en la escala de evaluación, lo que calificó a los frutos con un sabor intenso característico y un dulzor medio.

Los resultados de la presente experimentación coinciden con los obtenidos por García y Robayo (2008), en donde el sabor y el aroma de pitahaya amarilla en grado de madurez tres almacenada a 10 °C durante 15 días no sufrieron cambios (p. 36). Los frutos de las dos investigaciones conservaron el atributo de sabor posiblemente debido a que las bajas temperaturas permiten mantener la textura, composición nutricional, aroma y sabor (Paull y Duarte, 2010, p. 110).

La presencia de sabores extraños fue inferior a 1 en la escala de evaluación en los frutos de los cuatro tratamientos durante el almacenamiento, lo que indicó que no se presentaron sabores extraños. Sin embargo, algunos jueces detectaron un ligero olor a humedad en las muestras.

3.4.6 CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN EL INTERIOR DE EMPAQUES

Para determinar la concentración de CO₂ se tomó una muestra por duplicado del aire en el interior de los empaques y se analizó con la ayuda de un analizador rápido de CO₂/O₂.

En la Figura 3.13 se presenta la evolución de la concentración de CO₂ acumulado en el interior de los empaques en los cuatro tratamientos durante los tres períodos de almacenamiento.

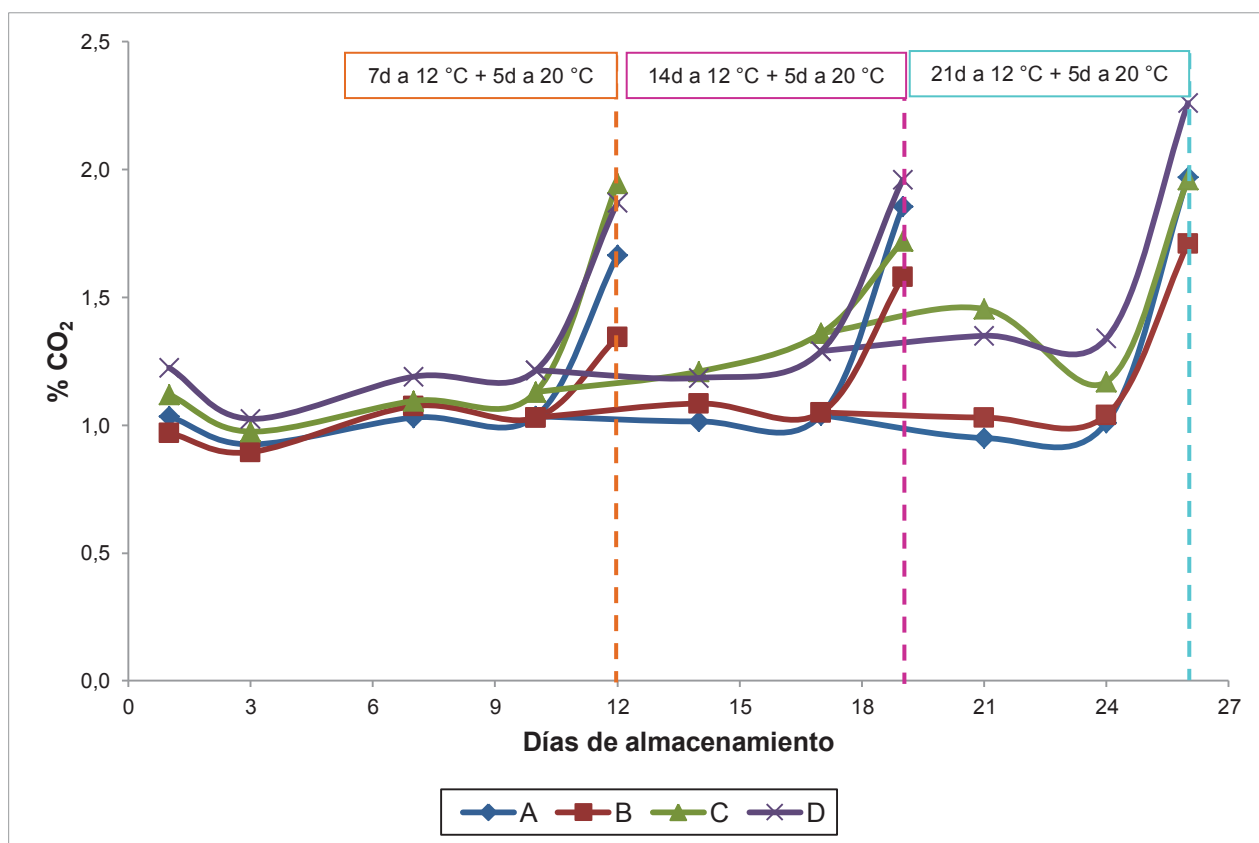


Figura 3.13. Concentración de CO₂ en el interior de empaques de frutos de pitahaya amarilla en grado de madurez cinco hidrofriados, empacados y almacenados durante 7, 14 y 21 días a 12 °C y 85 % HR seguidos de 5 días a 20 °C y 60 % HR

- A: frutos hidrofriados empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)
- B: frutos sin hidrofriar empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)
- C: frutos hidrofriados empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)
- D: frutos sin hidrofriar empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

No existió diferencia estadísticamente significativa en la aplicación de hidrofriamiento ni en el tipo de empaque utilizado durante el almacenamiento.

Mientras los frutos permanecieron almacenados a 12 °C la concentración de CO₂ en el interior de los empaques se mantuvo constante con un valor promedio de 1,15 %, se esperaba que la concentración de CO₂ no variara de forma significativa pues se utilizó una atmósfera modificada por vía pasiva en la cual se genera un equilibrio entre la intensidad respiratoria del producto y la velocidad de transferencia de O₂ y CO₂ a través de la película polimérica (Guillaume, Guillard y Gontard, 2011, p. 257). Sin embargo, al modificarse las condiciones de almacenamiento de las muestras de 12 °C a temperatura ambiente (20 °C) se observó un punto de inflexión y la concentración de CO₂ se incrementó rápidamente, en alrededor de 60,5 %, 61,5 % y 77,5 % después del primer, segundo y tercer período de almacenamiento, respectivamente.

El incremento en la concentración de CO₂ en el interior de empaques cuando se modificaron las condiciones de almacenamiento concordó con el incremento que este mismo cambio generó en la actividad respiratoria de los frutos, debido a que por cada 10 °C que se incremente la temperatura la tasa de respiración aumenta de 2 a 3 veces (Kader, 2002, p. 43). Se observó además que este incremento fue cada vez mayor conforme transcurrieron los períodos de almacenamiento, sobre todo después del tercer período, lo que podría explicarse debido a la presencia de patógenos que aceleran la actividad respiratoria y por ende el ritmo de deterioro de los productos frescos (Cantos, 2003, p. 11).

La concentración de CO₂ en la atmósfera interna no superó el 2,5 % y por lo tanto no ayudó a evitar el desarrollo de patógenos en los frutos, debido a que se necesitan concentraciones de CO₂ entre 10-15 % para inhibir el crecimiento de microorganismos (García, 2006, p.9).

La concentración de CO₂ en el interior de los empaques fue baja, por lo tanto no existieron condiciones anaerobias que contribuyan al desarrollo de un proceso fermentativo en los frutos, esto se respalda con el análisis sensorial realizado en el cual ningún juez manifestó la presencia del sabor característico a fermentado en las muestras.

En general el pH de los frutos de pitahaya amarilla se incrementó, la acidez titulable disminuyó y los SST se mantuvieron constantes. La pérdida de peso fue influenciada por el hidrogenfriamiento en el primer período de almacenamiento y por el tipo de empaque en los tres períodos, al finalizar el almacenamiento la pérdida de peso en frutos empacados con LDPE fue inferior al 0,4 % y en frutos empacados con PVC fue superior al 1,5 %. La firmeza fue afectada por el hidrogenfriamiento en los tres períodos de almacenamiento, disminuyó alrededor de 21 % en frutos hidrogenfriados y 27,5 % en frutos sin hidrogenfriar. La turgencia y la marchitez del pedúnculo fueron influenciados por el hidrogenfriamiento en el primer y segundo período de almacenamiento, al finalizar el almacenamiento los frutos hidrogenfriados estaban ligeramente secos y los frutos sin hidrogenfriar medianamente secos. La presencia de patógenos se incrementó hasta 25 % durante el almacenamiento. El principal daño físico que se observó fueron puntos de color rojo, sin embargo no superaron el 5 %. La presencia de manchas pardas relacionadas con el daño por frío fue inferior al 5 %. No se detectaron sabores extraños en los frutos pero sí la presencia de un ligero olor a humedad. Los frutos mantuvieron sus características iniciales de calidad visual hasta el primer período de almacenamiento, posteriormente la calidad disminuyó pero los frutos aún eran comerciables. La concentración de CO₂ en el interior de empaques se mantuvo constante durante el almacenamiento a 12 °C y fue en promedio 1,15 % y después del tercer período de almacenamiento fue inferior al 2,5 %.

3.5 DISEÑO DE UN HIDROENFRIADOR POR INMERSIÓN

La base para el diseño del hidrogenfriador por inmersión fueron 1 000 kg de frutos de pitahaya amarilla que se producen por hectárea en cada cosecha en la finca agrícola "PITACAVA". Sin embargo, por el tamaño que representaba un equipo con tal capacidad se decidió dividir la carga de producto y diseñar un hidrogenfriador con capacidad para 250 kg de frutos de pitahaya amarilla con un peso promedio de 0,18 kg/fruto.

En el Anexo XI se especifican los datos utilizados y se detallan los cálculos realizados para el diseño del hidrogenfriador por inmersión con recirculación de agua.

Se necesitaron 24 gavetas para contener los 250 kg de frutos, las dimensiones del tanque del hidrogenfriador serían 1,51 m de ancho × 1,60 m de largo × 0,84 m de alto y el material de construcción sería acero inoxidable AISI 304. La disposición de gavetas dentro del equipo se muestra en la Figura 3.14.

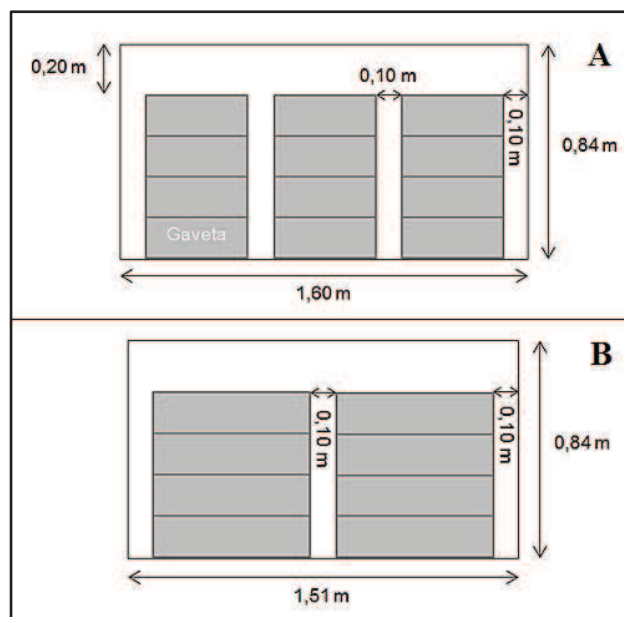


Figura 3.14. Esquema de distribución de las gavetas dentro del hidrogenfriador con sus respectivas dimensiones: vista frontal (A), vista lateral (B)

Para el cálculo del tiempo de hidrogenfriamiento se asumió que la pitahaya tenía forma esférica y se utilizaron relaciones matemáticas en función de los números de Nusselt (Nu), Biot (Bi) y Fourier (F_0). El tiempo se determinó con la siguiente ecuación definida en el acápite 2.5:

$$F_0 = \frac{\alpha \times t}{D_H^2}$$

El proceso de hidrogenfriamiento de los 250 kg de frutos hasta 12 °C tardaría 62 min (1,04 h) y se necesitarían 163 min (2,71 h) adicionales para disminuir la

temperatura del agua hasta 10 °C. Por lo tanto, el hidrogenfriador podría ser encendido a las 7:00 am, hasta las 9:43 am el agua se enfriaría y hasta las 14:31 pm las pitahayas serían hidrogenfriadas, al considerar que el equipo se carga y descarga cuatro veces y que se necesitarían de 10 min cada vez que se realicen estas operaciones. El tiempo que demora el hidrogenfriamiento de los frutos en cada carga del equipo podría permitir que aquellos que ya fueron tratados sean secados, empaçados y almacenados, así, hasta las 15:33 pm los 1 000 kg de frutos estarían procesados.

El refrigerante seleccionado fue el R-134a, se asumió un flujo de circulación de 5 kg/min para que el tiempo de enfriamiento inicial del agua de 25 a 10 °C sea manejable y no retarde el proceso de hidrogenfriamiento de los frutos. Además, con el diagrama de Mollier se determinó la potencia del motor del compresor que sería de 2 HP.

Las dimensiones del evaporador serían 1,51 m de ancho × 1,60 m de largo × 0,20 m de alto y el material de construcción sería acero inoxidable AISI 304, el serpentín sería de cobre tipo “K”.

La cantidad diaria de agua necesaria para la operación del hidrogenfriador sería de 2 100 L. Se diseñó un hidrogenfriador con recirculación de agua para evitar el desperdicio de este recurso, la altura de la bomba se calculó con la siguiente ecuación definida en el acápite 2.5:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\alpha_2} - \frac{V_1}{\alpha_1} \right) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} - \hat{W}_s + \hat{F} f = 0$$

Con la altura y con el diagrama de operación de la bomba se determinó el tipo y la potencia de bomba requerida para recircular el agua, y resultó que se necesitaría de una bomba centrífuga de 2,1 HP. En la Figura 3.15 se presenta un esquema del hidrogenfriador con la tubería y la bomba para recirculación del agua.

La temperatura promedio en Pedro Vicente Maldonado es de 25 °C y la temperatura del agua de hidrogenfriamiento fue 10 °C, debido a esta diferencia el agua en el tanque de inmersión y en la tubería podría calentarse a pesar de ser recirculada constantemente a través de un serpentín y el hidrogenfriamiento no sería adecuado. El incremento que eventualmente podría sufrir el agua de hidrogenfriamiento fue denominado como pérdidas de calor al ambiente.

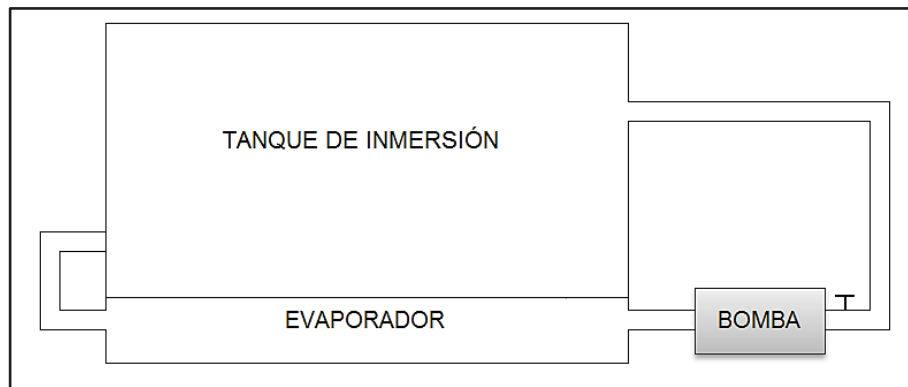


Figura 3.15. Diagrama esquemático del hidrogenfriador por inmersión con recirculación de agua

Para calcular las pérdidas de calor al ambiente se utilizó la siguiente fórmula detallada en el acápite 2.5:

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{e}{A \times k}}$$

En el tanque de inmersión las pérdidas de calor al ambiente serían de 55,34 W, lo que en porcentaje equivaldría al 1,89 %, mientras que en la tubería de recirculación de agua las pérdidas de calor al ambiente serían de 88,97 W, lo que en porcentaje equivaldría al 3,05 %. Las pérdidas de calor del tanque de inmersión y de la tubería al ambiente no superarían el 4,5 % por lo que no sería necesario utilizar un material aislante, en su lugar se usarían láminas y tubería de acero inoxidable con acabado mate.

En la Tabla 3.6 se recopilan las principales características y condiciones de operación del equipo diseñado.

Tabla 3.6. Especificaciones del hidrogenfriador por inmersión con recirculación de agua diseñado

Parámetros	Valor	Unidades
Dimensiones del tanque de inmersión	Largo: 1,60 Ancho: 1,51 Alto: 0,84	m
Dimensiones del evaporador	Largo: 1,60 Ancho: 1,51 Alto: 0,20	m
Capacidad	250	kg
Temperatura de trabajo del agua	10	°C
Tiempo de hidrogenfriamiento de frutos	62	min
Diámetros tubería recirculación de agua	$\Phi_{\text{interno}} = 30,10$ $\Phi_{\text{externo}} = 33,40$	mm
Potencia bomba para recirculación de agua	2,1	HP
Potencia compresor	2	HP
Material	Acero inoxidable AISI 304	

3.6 ESTIMACIÓN DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS POSCOSECHA

Los tratamientos poscosecha aplicados para los frutos de pitahaya amarilla fueron hidrogenfriamiento y empaque con dos tipos de láminas plásticas: polietileno de baja densidad (LDPE) y cloruro de polivinilo (PVC). El producto final que se obtuvo fue pitahaya amarilla empacada en bandeja de poliestireno (PS) cuyas dimensiones fueron 0,16 m de ancho \times 0,22 m de largo y que contenía 5 frutos con un peso total promedio de 0,9 kg. La estimación de los costos para la aplicación de los tratamientos poscosecha se realizó para 1 000 kg de pitahaya amarilla, que es la cantidad de frutos para exportación que se producen por hectárea en cada cosecha en la finca agrícola "PITACAVA".

Los datos para obtener la cantidad de frutos de pitahaya amarilla a procesar se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Datos de rendimiento en el cultivo de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) en finca agrícola “PITACAVA”

Rendimiento total anual	9 000	kg/ha/año
Rendimiento total anual (frutos para exportación)	3 000	kg/ha/año
Número de cosechas	3	cosechas/año
Rendimiento por cosecha (frutos para exportación)	1 000	kg/ha/cosecha

Se diseñó un hidrogenfriador por inmersión con recirculación de agua con capacidad para 250 kg de frutos de pitahaya amarilla con un peso promedio de 0,18 kg.

Los costos de los implementos y el montaje del equipo diseñado se muestran en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Costo total del hidrogenfriador diseñado desglosado en el costo de sus componentes y el costo de ensamblaje

Concepto	Costo (USD)
Tanque de inmersión: 2,03 m ³ (1,60×1,51×0,84 m) láminas de acero inoxidable AISI 304 (e=1,9 mm) ⁽¹⁾	195,02
Unidad condensadora: ventilador, incluye presostado, visor de líquido con indicador de humedad, filtro secador hermético con núcleo sólido, válvulas de bola, contactores, regulador de velocidad de ventiladores ⁽²⁾	2 899
Compresor 2 HP ⁽²⁾	911,56
Válvula de expansión termostática ⁽²⁾	63,16
Válvula solenoide ⁽²⁾	120,51
Evaporador: 0,48 m ³ (1,60×1,51×0,20 m) láminas de acero inoxidable AISI 304 (e=1,9 mm) ⁽¹⁾ , tubería de cobre 3/8” tipo K ⁽³⁾	452,03
Tanque refrigerante 134a ⁽²⁾	85
Sistema de recirculación de agua: tubería de acero inoxidable AISI 304 1” ⁽⁴⁾ , bomba centrífuga 0,25 HP ⁽⁵⁾	270,02
Sistema de control automático de temperatura ⁽⁶⁾	1 275
SUBTOTAL	6 271,30
Montaje e instalación ⁽⁷⁾	1 567,83
TOTAL	7 839,13

(1) DIPAC: productos de acero, (2) DANFOSS: refrigeración industrial, (3) NACOBRE S.A., (4) PROACERO: proveedores de acero inoxidable, (5) IMPEX ECUATORIANA, C. A., (6) SOPORTEC Cía. Ltda., (7) 25 % extra al precio neto de los materiales y componentes del equipo.

Los costos de los tratamientos poscosecha aplicados se obtuvieron en función de los costos de materia prima e insumos, mano de obra, costos de agua y energía eléctrica y mantenimiento y depreciación del hidrogenfriador.

En la Figura 3.16 se observa el proceso que se siguió para la aplicación de los tratamientos poscosecha, con base en este diagrama se determinó la mano de obra, los servicios e insumos que se requieren para empacar 1 000 kg de pitahaya amarilla hidrogenfriada.

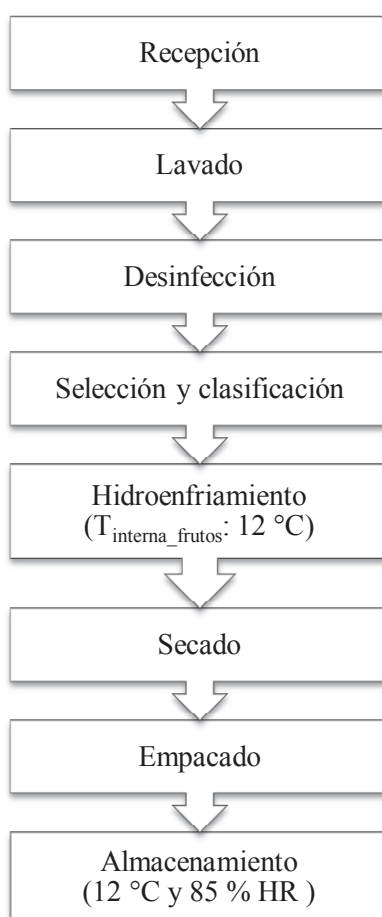


Figura 3.16. Flujograma de la aplicación de los tratamientos poscosecha de hidrogenfriamiento y empaque en pitahaya amarilla

Para el lavado, desinfección, selección y clasificación de los frutos se necesitaron de 2 trabajadores. Para realizar el hidrogenfriamiento de los frutos el número de trabajadores necesarios se definió en 2 y para el empaque y almacenamiento en 4. Como las funciones de los trabajadores que operan el hidrogenfriador se limitan

básicamente a cargar y descargar el equipo, ayudarían a los trabajadores de empaque el tiempo que demore el hidrogenfriamiento. El número total de trabajadores necesarios para los frutos que recibieron los tratamientos poscosecha fue de 8. Además se necesitarían de dos ingenieros para monitorear procesos y para control de calidad del producto final.

Para determinar el costo de la energía eléctrica se consideró el tiempo que el hidrogenfriador permanecerá encendido y el consumo de energía de la bomba para recirculación de agua y el compresor del evaporador. El equipo permanecería encendido durante 7 h: 31 min, de las cuales 2 h: 43 min se destinarían al enfriamiento del agua y las 4 h: 48 min restantes serían utilizadas para el hidrogenfriamiento de los frutos.

El costo del agua se estimó con base en la cantidad que se ocuparía en el lavado, desinfección e hidrogenfriamiento de los frutos.

El costo de mantenimiento del hidrogenfriador se estimó como el 5 % del costo total del equipo, para determinar la depreciación se consideró un tiempo de 10 años.

El costo total de la aplicación de los tratamientos poscosecha de hidrogenfriamiento y empaque con láminas de LDPE en frutos de pitahaya amarilla fue de 4 982,70 USD y para el empaque con láminas de PVC fue de 5 009,51 USD.

En la Tabla 3.9 se detallan los costos de materia prima, insumos, mano de obra, suministros, mantenimiento y depreciación del hidrogenfriador que permitieron estimar los costos de los tratamientos poscosecha utilizados.

Tabla 3.9. Costo total de la aplicación de los tratamientos poscosecha de hidrogenfriamiento y empaque con dos tipos de láminas plásticas en frutos de pitahaya amarilla (*Senelicerus megalanthus*)

Materia prima	Costo/unidad (USD)	Dimensión	Cantidad	Tratamiento A	Tratamiento C
				Costo total (USD)	
Pitahaya amarilla	4,50	kg	1 000	4 500	4 500
Insumos					
Amistar 50 WG	0,27	g	200	54	54
Bandejas de poliestireno (PS)	0,09	unidad	1 111	100	100
Láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)	0,10	m ²	200	20	20
Láminas de cloruro de polivinilo (PVC)	0,23	m ²	200	47	47
Mano de obra directa					
Trabajadores	17,00	hombre/día	8	136	136
Mano de obra indirecta					
Ingeniero de producción	60,00	hombre/día	1	60	60
Ingeniero de control de calidad	60,00	hombre/día	1	60	60
Suministros					
Agua	0,72	m ³	3,30	2,38	2,38
Energía eléctrica	0,09	kW/h	11,07	1,00	1,00
Mantenimiento					
Hidrogenfriador	7 839,13	unidad	1	1,07	1,07
Depreciación (10 años)					
Hidrogenfriador	7 839,13	unidad	1	1,93	1,93
Imprevistos					
1 % de costos de materia prima, empaque, suministros y mantenimiento del equipo	-	-	-	46,51	46,25
TOTAL				5 009,51	4 982,70

Tratamiento A: Frutos hidrogenfriados y empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

Tratamiento C: Frutos hidrogenfriados y empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

El costo/bandeja de los frutos de pitahaya amarilla hidrogenfriados y empacados con láminas de LDPE fue de 4,48 USD y el precio de los frutos empacados con láminas de PVC fue de 4,51 USD, la diferencia de precios entre los dos tipos de

empaque fue de 0,03 USD. Se estimó además el precio de venta al público, con una utilidad del 25 %, que fue de 5,61 USD y 5,64 USD para los frutos empacados con LDPE y PVC, respectivamente.

En la Tabla 3.10 se presenta el costo del producto final y su precio de venta al público.

Tabla 3.10. Costo y precio de venta al público de frutos de pitahaya amarilla (*Senelicerus megalanthus*) hidrogenfriados y empacados con dos tipos de láminas plásticas

Tratamiento	Costo USD/ 1 000 kg	Costo USD/kg	Precio (25% de utilidad) USD/kg
A	5 009,51	5,01 (4,51)*	6,26 (5,64)
C	4 982,70	4,98 (4,48)	6,23 (5,61)

A: Frutos hidrogenfriados y empacados con láminas de cloruro de polivinilo (PVC)

C: Frutos hidrogenfriados y empacados con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE)

* Valores en paréntesis representan el costo-precio por bandeja

El precio de 1 kg de pitahaya amarilla es de 1 USD en el mercado mayorista, 3,25 USD en supermercados y 8 USD en el mercado internacional (Banco Central del Ecuador, 2013; Agrícola "PITACAVA").

El precio de venta de 1 kg de pitahaya amarilla hidrogenfriada y empacada es alrededor de 85 % mayor que en el mercado mayorista, 30 % mayor que en los supermercados pero 20 % menor que en el mercado internacional. Con base en estas relaciones se establece que la pitahaya amarilla hidrogenfriada y empacada no sería competitiva en el mercado nacional, sin embargo, el producto podría resultar atractivo en el mercado internacional debido a que mantiene la calidad por 21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El peso promedio de los frutos los caracterizó dentro del calibre 12 según la norma técnica colombiana NTC 3554, con pesos comprendidos entre 151 a 200 g, además, por características de calidad visual los frutos se ubicaron en la categoría I descrita en la misma norma.
- Los valores de pH y acidez titulable caracterizaron a la pitahaya amarilla como un fruto de baja acidez y el contenido de sólidos solubles totales la identificó como un fruto con dulzor alto.
- No existió diferencia estadísticamente significativa para la tasa de respiración entre frutos de pitahaya amarilla hidrogenfriados y sin hidrogenfriar, el patrón de respiración se ajustó al de productos no climatéricos.
- El pH de los frutos de pitahaya amarilla se incrementó, la acidez titulable disminuyó y el contenido de sólidos solubles totales (SST) fue constante durante el almacenamiento.
- La aplicación de hidrogenfriamiento ayudó a reducir la pérdida de peso y firmeza de los frutos de pitahaya amarilla.
- Después de 21 días de almacenamiento a 12 °C más 5 días a 20 °C el empaque de polietileno de baja densidad (LDPE) redujo la pérdida de peso de los frutos en alrededor de 5 veces más que el empaque de cloruro de polivinilo (PVC). Los frutos hidrogenfriados y empacados con láminas de LDPE presentaron una pérdida de peso inferior al 0,4 %, mientras que en los frutos hidrogenfriados y empacados con láminas de PVC fue inferior al 1,8 %.

- Después de 21 días de almacenamiento a 12 °C más 5 días a 20 °C la firmeza disminuyó en alrededor de 21 % para los frutos hidrogenfriados y en alrededor de 27,5 % para los frutos sin hidrogenfriar.
- La calidad visual de los frutos de pitahaya amarilla se mantuvo con características iniciales durante 14 días a 12 °C más 5 días a 20 °C. Posteriormente la calidad visual disminuyó pero los frutos aún se podían comercializar. Los frutos de pitahaya amarilla no presentaron sabores extraños. Sin embargo, algunos jueces detectaron un ligero olor a humedad.
- No existió diferencia estadísticamente significativa para la concentración de CO₂ en el interior de empaques en los cuatro tratamientos. Al finalizar el tercer período de almacenamiento (21 días a 12 °C más 5 días a 20 °C) la concentración de CO₂ en la atmósfera interna fue inferior al 2,5 %.
- La capacidad del hidrogenfriador por inmersión diseñado fue de 250 kg de frutos de pitahaya amarilla, el tiempo necesario para enfriar los frutos hasta 12 °C fue 62 min, las dimensiones del tanque de inmersión fueron 1,60×1,51×0,84 m, la potencia de la bomba para recirculación de agua fue de 2,1 HP y la potencia del compresor fue de 2 HP.
- El costo de 1 kg de frutos de pitahaya amarilla hidrogenfriados y empacados con LDPE fue de 4,98 USD y el precio de venta al público fue de 6,23 USD. El costo y precio para frutos empacados con PVC fueron de 5,01 USD y 6,26 USD, respectivamente. El precio del producto resulta competitivo a nivel internacional.

4.2 RECOMENDACIONES

- Desarrollar un nuevo empaque para facilitar el manejo e incrementar la protección a los frutos y así suplir las deficiencias del empaque utilizado en la presente investigación.
- Realizar el análisis financiero de pitahaya amarilla hidrogenada y empacada con láminas de polietileno de baja densidad (LDPE), para determinar la viabilidad económica y comercial de este producto.
- Realizar investigaciones con otros tratamientos poscosecha como irradiación y/o aplicación de recubrimientos comestibles combinados con temperaturas de almacenamiento inferiores a la de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alanís, M., García, C., Reyes, M. y Meza, J. (2013). Aplicación de hidrogenfriamiento y una cubierta de HPMC-Parafina para aumentar la vida de anaquel de melón Cantaloupe. *Universidad y Ciencia*, 29(2), 179-190.
2. Alzamora, S., Guerrero, S., Nieto, A. y Vidales, S. (2004). *Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas*. (1ra. ed.) Roma, Italia: FAO.
3. Anzaldúa, A. (1994). *La evaluación de la calidad sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. (1ra. ed.). España: Acribia.
4. A.O.A.C. (2005). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. (18ava. ed.). Arlington, USA: A.O.A.C International.
5. Arias, C. y Toledo, J. (2007). *Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano y cítricos)*. (1ra. ed.). Roma, Italia: FAO
6. Banco Central del Ecuador. (2013). *Consulta de totales por nandina - país*. Recuperado de http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/seguridad/ComercioExteriorEst.jsp (Julio, 2013)
7. Barreiro, J. y Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. (1ra. ed.). Venezuela: Equinoccio.
8. Betancourt, B., Toro J., Mosquera H., Castellanos J., Martínez R., Aguilera A., Perdomo L. y Franco A. (2010). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la pitaya amarilla en fresco en el valle del Cauca*. (1ra. ed.). Bogotá, Colombia: Giro editores.
9. Blylund, G. (2003). *Manual de industrias lácteas*. (1ra. ed.). Madrid, España: A. Madrid Vicente Ediciones/ Mundi-Prensa.

10. Boyce, M. (2001). Transporte y almacenamiento de fluidos. En Perry, R. y Green, D. (Ed.). *Manual del ingeniero químico*, (Cap. 10), (pp. 1-190) (Vol. 2). Madrid, España: McGraw-Hill/ Interamericana de España S.A.
11. Brosnan, T. y Sun, D.-W. (2001). Precooling techniques and applications for horticultural products – a review. *International journal of refrigeration*, 24, 154-170.
12. Cano, R., Salas, O. y Pérez, F. (2000). *Manejo postcosecha de frutas y hortalizas*. (1ra. ed.). Granada, Colombia: FEMPAG.
13. Cantos, S. (2003). Cosecha y poscosecha de hortalizas. Recuperado de <http://faa.unse.edu.ar/apuntes/hortic/hortic11.pdf> (Noviembre, 2013)
14. Castillo, R. (2006). Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemáticas. *Caos Conciencia*, 1(1), 18-24.
15. Coronel, J. (2009). *Colección de tablas, gráficas y ecuaciones de transmisión de calor*. (3ra. ed.). España: Universidad de Sevilla.
16. Day, B. (2005). Modified atmosphere packaging (MAP) and the safety and quality of fresh fruit and vegetables. En Jongen, W. (Ed.). *Improving the safety of fresh fruit and vegetables*, (pp. 493-512). Cornwall, Inglaterra: Woodhead Publishing Limited.
17. Dembitsky, V., Poovarodom, S., Leontowicz, H., Leontowicz, M., Vearasilp, S., Trakhtenberg, S. y Gorinstein, S. (2011). The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. *Food Research International*, 44, 1671-1701.
18. Díaz, J. (2005). Biología y manejo postcosecha de pitahaya roja y amarilla (*Hylocereus spp.* y *Selenicereus spp.*). *La Calera*, 5(10), 44-49.

19. Esquivel, P. y Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 114-129.
20. FAO. (2014). Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s02.htm> (Abril, 2014)
21. Fiszman, S. (2005). Análisis sensorial aplicado a la evaluación de las frutas y hortalizas cortadas. En González-Aguilar, G., Gardea, A. y Cuamea-Navarro, F. (Ed.). *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*, (pp. 523-538). Guadalajara, México: Logiprint Digital.
22. Gallo, F. (1997). *Manual de fisiología, patología post-cosecha y control de la calidad de frutas y hortalizas*. (2 da. ed.). Colombia: KINESIS.
23. García, M. (2003). *Pitaya: cosecha y poscosecha*. (1ra. ed.). Colombia: CORPOICA.
24. García, M. (2006). *Tecnologías de envasado en atmósferas protectoras y su calidad microbiológica*. Recuperado de http://www.aesan.msc.es/AESAN/docs/docs/evaluacion_riesgos/otras_actividades/UIMP_seg_alimentaria_nutricion/Maria_Luisa_Garcia_Lopez.pdf (Julio, 2013)
25. García, M., Gago, L. y Fernández, J. (2006). *Tecnologías de envasado en atmósfera protectora*. (1ra. ed.). Madrid, España: CEIM
26. García, M. y Robayo, P. (2008). Evaluación del uso de atmósferas modificadas pasivas y temperaturas bajas en la conservación de pitaya amarilla (*Selinicereus megalanthus* Shuman). *CORPOICA*, 9(1), 30-39.

27. Geankoplis, C. (2002). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. (3ra. ed.). México: Prentice-Hall, Inc.
28. Gonzáles, R., Allende, A., Ruíz, S. y Luo, Y. (2005). Sanitizantes utilizados. En González-Aguilar, G., Gardea, A. y Cuamea-Navarro, F. (Ed.). *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*, (pp. 523-238). Guadalajara, México: Logiprint Digital.
29. Guillaume, C., Guillard, V. y Gontard, N. (2011). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. En Martín, O. y Soliva, R. (Ed.). *Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing*, (pp. 255-284). USA: Taylor and Francis Group.
30. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R. y Meybeck, A. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo*. (1ra. ed.). Roma, Italia: FAO.
31. Hidrostal S.A. (2012). *Bomba centrífuga ISO 2858*. Recuperado de http://www.hidrostal.com.pe/images_proyectos/ejelibre2858.pdf (Septiembre, 2013)
32. Incropera, F. y De Witt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. (4ta. ed.). México: Prentice-Hall, Inc.
33. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC. (1996). *Norma técnica colombiana NTC 3554. Frutas frescas: pitahaya amarilla*. (1ra. ed.). Colombia: ICONTEC.
34. Instituto Nacional de Estadística y Censo-INEC. (2000). *III Censo Nacional Agropecuario. Sistemas Estadístico Agropecuario Nacional. Encuesta de superficie producción por muestreo de áreas*. Recuperado de http://www.inec.gob.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=111&Itemid=126 (Febrero, 2013)

35. Jaramillo, J. (2010). *Protocolo técnico y logístico: frutas*. (1ra. ed.). Colombia: Natura Visión.
36. Kader, A. (2002). Postharvest biology and technology: An overview. En Kader, A. (Ed.) *Postharvest technology of horticultural crops*, (pp. 39-48). Oakland, California, USA: University of California.
37. Kondo, T., Imbachi, K., Quintero, E., Delgado, A., Manrique, M., Murillas, M. y Vélez, C. (2011). *Biología y hábitos de la Mosca del botón floral de la Pitaya Amarilla, Dasiops saltans (Townsend), en el Valle del Cauca, Colombia*. (1ra. ed.). Colombia: CORPOICA.
38. León, J. (2000). *Botánica de cultivos tropicales*. (3ra. ed.). San José, Costa Rica: IICA.
39. Lezama, A., Tapia, A., Muñoz, G. y Zepeda, V. (2000). *El cultivo de pitahaya*. (1ra. ed.). México: SAGARPA.
40. Liang, Y., Wongmetha, O., Wu, P. y Ke, L. (2013). Influence of hydrocooling on browning and quality of litchi cultivar Feizixiao during storage. *International journal of refrigeration*, 36, 1173-1179.
41. López, A. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: del campo al mercado*. (1ra. ed.). Roma, Italia: FAO.
42. Magaña, W., Balbín, M., Corrales, J., Rodríguez, A., Saucedo, C., Cañizares, E. y Sauri, E. (2004). Efecto de la frigoconservación en el comportamiento fisiológico de frutas de pitahaya (*Hylocereus undatus Haworth*). *Revista Cultivos tropicales*, 25(4), 33-39.
43. Manganaris, G., Ilias, I., Vasilakakis, M. y Mignanis, I. (2007). The effect of the hydrocooling on ripening related quality attributes and cell wall

physicochemical properties of sweet cherry fruit (*Prunus avium* L.). *International journal of refrigeration*, 30, 1386-1392.

44. Martínez, M., Cardozo, C. y Medina, J. (2013). Podas en pitaya amarilla. En Kondo, I., Martínez, M., Medina, J., Rebolledo, A. y Cardozo, C. (Ed.). *Tecnología para el manejo de pitaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Morán en Colombia*, (pp. 55-63). Palmira, Colombia: CORPOICA.
45. Martínez, M., Medina, J. y Muñoz, D. (2013). Cosecha. En Kondo, I., Martínez, M., Medina, J., Rebolledo, A. y Cardozo, C. (Ed.). *Tecnología para el manejo de pitaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Morán en Colombia*, (pp. 88-91). Palmira, Colombia: CORPOICA.
46. Matheus, H. (2005). *La mosca de la fruta*. (1ra. ed.). Bogotá, Colombia: ICA.
47. Mondino, M. y Ferrato, J. (2006). Poscosecha de frutas y hortalizas. En Ferrato, J. (Ed.). *Sector frutihortícola regional, aspectos que contribuyen a su desarrollo*, (pp. 95-102). Argentina: UNR Editora.
48. Mora, D. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de pitahaya*. (1ra. ed.). Bogotá, Colombia: ICA.
49. Moretti, C., Mattos, L., Calbo, A. y Sargent, S. (2010). Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Research International*, 43, 1824-1832.
50. Naranjo, V. (2011). Pitahaya un fruto que tiene mucha proyección. *Revista de Agronegocios El huerto*, 30, 20 y 21.
51. Nerd, A. y Mizrahi, Y. (1999). The effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow pitaya. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 99-105.

52. Organismo Internacional regional de Sanidad Agropecuaria-OIRSA. (2000). *Manual técnico: buenas prácticas de cultivo en pitahaya*. (1ra. ed.). Nicaragua: OIRSA.
53. Ospina, S. y Cartagena, J. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112-123.
54. Paliyath, G., Murr, D., Ilandan, A. y Lurie, S. (2008). *Postharvest Biology and Technology of Fruits, Vegetables, and Flowers*. (1ra. ed.). USA: Wiley-Blackwell.
55. Paull, R. y Duarte, O. (2011). *Tropical Fruits*. (2da. ed.). USA: CABI Publishing.
56. Pha, Ch. (1987). Temperature: Effects on metabolism. En Weichmann, J. (Ed.). *Postharvest physiology of vegetables*, (pp. 173-180). USA: Marcel Dekker, Inc.
57. Ramos, J. y Remírez, R. (2009). *Cuaderno de fórmulas, tablas, figuras y problemas de transferencia de calor*. (1ra. ed.). España: Universidad de Navarra.
58. Real Academia Española-RAE. (2001). *Clorofila, epicarpio, esqueje, ovario ínfero*. Recuperado de <http://www.rae.es/> (Junio, 2013)
59. Rebolledo, M., Del Ángel, A., Becerra, E., Rosas, X. y Zetina, R. (2009). *Frutales tropicales no tradicionales para Veracruz*. (1ra. ed.). Veracruz, México: INIFAP.
60. Ricalde, M. y Andrade, J. (2009). Pitahaya, una delicia tropical. *Revista Ciencia*, 60(3), 36-43.

61. Robertson, G. (1993). *Food packaging. Principles and practice*. (1ra. ed.). USA: Marcel Dekker, Inc.
62. Rodov, V., Copel, A., Aharoni, N., Wiseblum, A., Horev, B. y Vinokur, Y. (2000). Nested modified-atmosphere packages maintain quality of trimmed sweet corn during cold storage and the self-life period. *Postharvest Biology and Technology*, 18(3), 259-266.
63. Rodríguez, A., García, J., González, M., Pallares, L., Ramírez, V., Rosas, L., Rueda, R., Trejo, E., Velazco, S. y Zárate, E. (1993). *El cultivo de pitahaya en Yucatán*. Recuperado de <http://www.crupyuach.org.mx/img/biblioteca/doc/47f37f0d62841fc3895f03ac3f6e3c21.pdf> (Mayo, 2013)
64. Rodríguez, D., Patiño, M., Miranda, D., Fischer, G. y Galvis, J. (2005). Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(2), 2837-2857.
65. Rojas, A., Rebolledo, A., Takumasa, D., Toro, J. y Orozco, M. (2008). *Cultivo, enfermedades y plagas de la pitaya amarilla (Selenicereus megalanthus)*. Recuperado de <http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/56250/56250.pdf> (Mayo, 2013)
66. Rolz, C. (2011). Fisiología post cosecha de frutas. Compendio de características de calidad, condiciones de almacenamiento, sensibilidad al frío, maduración y desórdenes fisiológicos. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 23, 23-34.
67. Saltveit, M. (2003). *Measuring respiration*. Recuperado de <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-20.pdf> (Octubre, 2013)

68. SALVAT Diccionario. (1978). *Abscisión, antocianinas, carotenoides, ovario unilocular*. (Tomos 1, 3 y 9). (SALVAT Diccionario, 1978): SALVAT Editores.
69. Sánchez, M. (2004). *Procesos de conservación de productos vegetales*. (1ra. ed.). España: A. Madrid Vicente Ediciones.
70. Sánchez, R., Ochoa, R., Rodríguez, F., Roque, J., Ortega, C., Palacios, H. y Carrillo, L. (2000). Producción y comercialización de pitahayas en México. *Revista Claridades agropecuarias*, 89, 1-22.
71. Santacruz, C., Santacruz, V. y Huerta, V. (2009). *Agroindustrialización de pitaya*. (1ra. ed.). La Habana, Cuba: Editorial Universitaria.
72. StatPoint, Inc. (2006). Statgraphics Centurion VX (Versión 15.2.11).
73. Thompson, J., Gordon, F. y Kasmire, R. (2002). Cooling horticultural commodities. En Kader, A. *Postharvest technology of horticultural crops*, (pp. 96-114). Oakland, California, USA: University of California.
74. Thompson, J., Gordon, F., Rumsey, T., Kasmire, R. y Crisosto, C. (1998). *Commercial cooling of fruits, vegetables and flowers*. (1ra. ed.). Oakland, California, USA: University of California.
75. Thompson, K. (1998). *Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas*. (1ra. ed.). Reino Unido: SENA.
76. Tonetto, S. y Mitcham, E. (2012). *Quality of pitaya fruit (Hylocereus undatus) as influenced by storage temperature and packaging*. En Vigésimo segundo congreso de fruticultura, Bento Gonçalves, Brasil. Recuperado de <http://ainfo.cnpqia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69395/1/Tonetto.pdf> (Diciembre, 2013)

77. Welti-Chanes, J., Vergara, F., Guerrero, J., García, R. y Villa, R. (2005). *Métodos, criterios y modelación para la selección de películas plásticas en atmósferas modificadas*. En Segundo simposio internacional de innovación y desarrollo de alimentos, Montevideo, Uruguay. Recuperado de <http://www.innovaui.info/docs/.../2005DOCJorgeWelti-Metodos.pdf> (Julio, 2013)
78. Wolfram Alpha LLC-A. (2014). *Wolfram Alpha: Apple, banana, grape*. Recuperado de <http://www.wolframalpha.com> (Enero, 2014)
79. WordReference. (2005). *Flor hermafrodita, flor indehiscente*. Recuperado de <http://www.wordreference.com/definicion/significado> (Agosto, 2013)

ANEXOS

ANEXO I

TABLA DE COLOR DE PITAHAYA AMARILLA



Figura AI.1. Tabla de color de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)
(Norma técnica colombiana NTC 3554, 1996)

Tabla AI.1. Descripción de la tabla de color de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)

COLOR	DESCRIPCIÓN
0	Fruto bien desarrollo de color verde, con aristas notoriamente marcadas en las mamilas.
1	Fruto de color verde, con un ligero viso amarillo en la zona basal. Permanece la forma de las aristas.
2	Fruto de color verde con visos amarillos en toda la superficie.
3	Fruto de color verde-amarillo. Inicia el llenado de las mamilas y la separación entre ellas.
4	Fruto de color amarillo, con la punta de las mamilas de color verde y aumenta la separación entre las mismas.
5	Fruto de color amarillo, con la punta de las mamilas ligeramente verdosas.
6	Fruto totalmente amarillo.

(Norma técnica colombiana NTC 3554, 1996)

ANEXO II

COSECHA Y DESINFECCIÓN DE PITAHAYA AMARILLA



Figura AII.1. Remoción de espinas y corte de pedúnculo durante la cosecha (A),
desinfección de los frutos (B)

ANEXO III

FORMULARIO PARA EVALUACIÓN SENSORIAL DE PITAHAYA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA
EVALUACIÓN DE ANÁLISIS SENSORIAL

Nombre:..... Fecha:.....

Usted ha recibido cuatro muestras para evaluar. La prueba consiste en valorar cada una de las muestras en relación a atributos de: apariencia, sabor a fruta, dulzor y sabores extraños; para lo cual se debe ubicar a la izquierda el código de la muestra y en la escala una señal vertical.

ATRIBUTO**APARIENCIA:**

Muestra	Muy Seco	Muy Fresco				
_____	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>					

SABOR A FRUTA:

Muestra	Insípido	Intenso				
_____	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>					

DULZOR:

Muestra	Débil	Fuerte				
_____	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>					

SABORES EXTRAÑOS:

Muestra	Ausencia	Presencia Intensa				
_____	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>					

OBSERVACIONES:

.....
.....

Gracias por su colaboración.
K.P., S.V.

ANEXO IV

ESCALA PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA AMARILLA

En la siguiente figura se observa la escala elaborada en la presente investigación para evaluar la pérdida de turgencia en pitahaya amarilla.


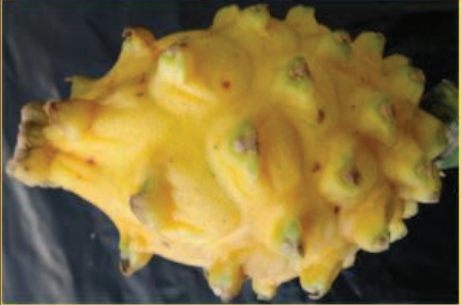
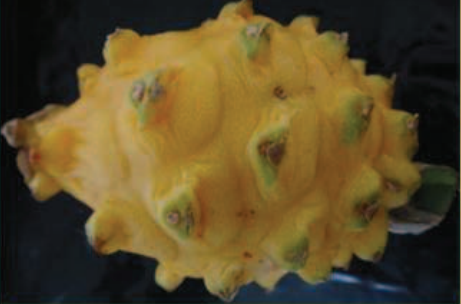
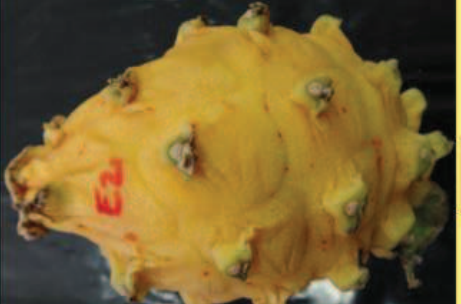
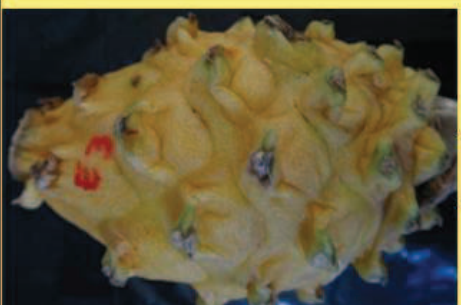
TURGENCIA				
				
5	4	3	2	1
Frescos	Ligeramente secos	Medianamente secos	Secos	Muy secos

Figura AIV.1. Escala de turgencia

ANEXO IV

ESCALA PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA AMARILLA

En la siguiente figura se observa la escala elaborada en la presente investigación para evaluar marchitez del pedúnculo en pitahaya amarilla.






MARCHITEZ DEL PEDÚNCULO				
				
5	4	3	2	1
Fresco	Discreto	Moderado	Severo	Extremo

Figura AIV.2. Escala de marchitez del pedúnculo

ANEXO IV

ESCALA PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA AMARILLA

En la siguiente figura se observa la escala elaborada en la presente investigación para evaluar la presencia visual de hongos en pitahaya amarilla.


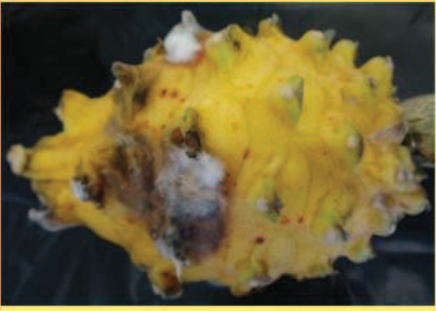
PRESENCIA DE PATÓGENOS				
				
5	4	3	2	1
Ninguno	<5 %	5-10 %	10-25 %	>25 %

Figura AIV.3. Escala de presencia de patógenos

ANEXO IV

ESCALA PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA AMARILLA

En la siguiente figura se observa la escala elaborada en la presente investigación para evaluar el daño físico causado por espinas en pitahaya amarilla.


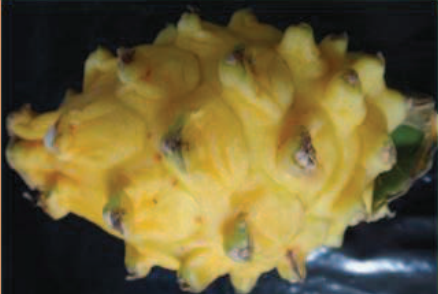
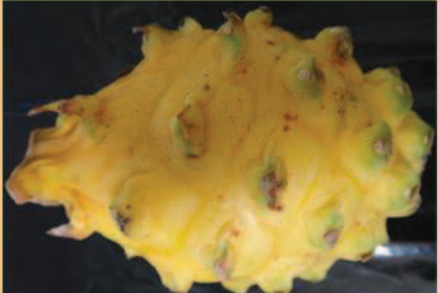
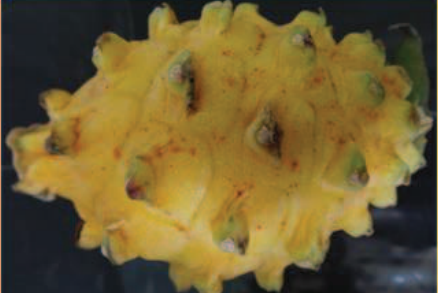
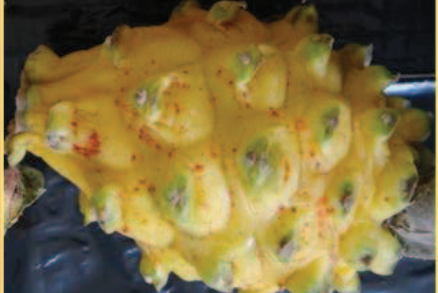
DAÑO FÍSICO				
				
5	4	3	2	1
Ninguno	<5 %	5-10 %	10-25 %	>25 %

Figura AIV.4. Escala de daño físico

ANEXO IV

ESCALA PARA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD VISUAL DE PITAHAYA AMARILLA

En la siguiente figura se observa la escala elaborada en la presente investigación para evaluar la presencia de manchas pardas relacionada con el daño por frío en pitahaya amarilla.




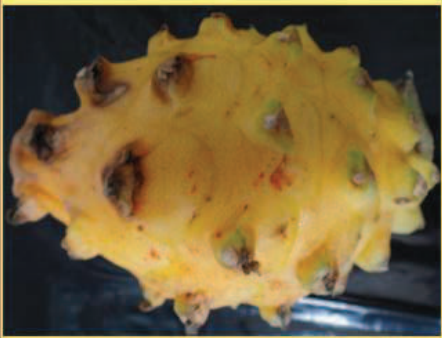

PRESENCIA DE MANCHAS PARDAS				
				
5	4	3	2	1
Ninguno	<5 %	5-10 %	10-25 %	>25 %

Figura AIV.5. Escala de presencia de manchas pardas

ANEXO V

**INFORMACIÓN TÉCNICA DE LAS PELÍCULAS PLÁSTICAS
UTILIZADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN**

LÁMINA DE PVC**Tabla AV.1.** Descripción y características del film de PVC alimentario

Parámetro		Valor	Unidades
Tamaño		0,3 × 300	m
Espesor		10	μm
Densidad		0,0916 – 0,0919	g/cm ³
Resistencia al impacto		63	g
Esfuerzo inicial	MD	9	N/mm ²
	TD	8	N mm ²
Carga rotura	MD	23	N/mm ²
	TD	16	N/mm ²
Elongación a la rotura	MD	163	%
	TD	208	%
Pre-estiro garantizado		65	%
Pre-estiro máximo		80	%
Adhesividad		140	g

(PACKALL S.R.L.)

LÁMINA DE LDPE BIODEGRADABLE

“Este producto es oxo biodegradable y se degradará según los requerimientos de la norma ASTM D6954. Una vez desechado se desintegrará con la presencia de oxígeno, calor y luz, típicamente en 12 a 24 meses dependiendo de las condiciones exactas de desecho. Los fragmentos desintegrados pasarán a biodegradación generando dióxido de carbono, agua y biomasa residual.”

Tabla AV.2. Descripción y características del film LDPE biodegradable

Parámetro		Valor	Unidades
Tamaño		0,3 × 90	m
Espesor		14	mm
Densidad		0,920	g/cm ³
Resistencia al impacto		95	g
Esfuerzo inicial	MD	24	MPa
	TD	19	MPa
Carga rotura	MD	193	MPa
	TD	214	MPa
Elongación a la rotura	MD	300	%
	TD	500	%

(POLIPACK Cía. Ltda.)

ANEXO VI

ALMACENAMIENTO DE PITAHAYA AMARILLA



Figura AVI.1. Frutos de pitahaya empacados en bandejas de poliestireno recubiertas con láminas de PVC (A), frutos de pitahaya empacados en bandejas de poliestireno recubiertas con láminas de LDPE (B)



Figura AVI.2. Almacenamiento de frutos de pitahaya empacados en el cuarto frío (A), almacenamiento de frutos de pitahaya empacados a temperatura ambiente (B)

ANEXO VII

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL ANALIZADOR RÁPIDO DE CO₂-O₂ POST HARVEST RESEARCH

Volumen de muestra:	1mL
Gas portador:	Nitrógeno
Presión:	15 psi
➤ Para analizar atmósfera en el interior de empaques	
Estándar de CO ₂ :	3 %
Rango del detector de CO ₂ :	0,8 %
Rango del registrador:	10 v
➤ Para determinar tasa de respiración	
Estándar de CO ₂ :	0,2 %
Rango del detector de CO ₂ :	0,2 %
Rango del registrador:	1 v



Figura AVII.1. Fotografía del analizador rápido de CO₂-O₂ y sus partes principales

ANEXO VIII

SISTEMA DINÁMICO DE RESPIRACIÓN PARA PITAHAYA
AMARILLA



Figura AVIII.1. Fotografía del tablero de mezcla del sistema de respiración



Figura AVIII.2. Tableros de flujo, humidificadores y cámaras de respiración almacenadas en el cuarto frío (A) y a temperatura ambiente (B)

ANEXO IX

CÁLCULO DEL FLUJO DE AIRE QUE DEBE INGRESAR A LAS CÁMARAS DE RESPIRACIÓN

Para determinar la tasa de respiración de los frutos de pitahaya a las dos temperaturas de almacenamiento se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{10} = \left(\frac{TR_2}{TR_1} \right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}} \quad [AIX.1]$$

Donde:

Q_{10} : tasa de deterioro a una determinada temperatura

T: temperatura (°C)

TR: tasa de respiración del fruto a una determinada temperatura
(mg CO₂/kg×h)

Datos:

$$Q_{10} = 2$$

$$TR_{21\text{ °C}} = 50 \text{ mg CO}_2/\text{kg} \times \text{h}$$

Como las temperaturas de almacenamiento serán de 12 °C y 20 °C (temperatura ambiente) se obtienen los siguientes resultados:

$$TR_{12\text{ °C}} = 26,79 \text{ mg CO}_2/\text{kg} \times \text{h}$$

$$TR_{20\text{ °C}} = 46,65 \text{ mg CO}_2/\text{kg} \times \text{h}$$

Para calcular el flujo de aire que debe ingresar a las cámaras de respiración se utiliza la siguiente ecuación:

$$F = \frac{TR \times 100 \times W}{\%CO_2} \quad [AIX.2]$$

Donde:

F: flujo de aire (mL CO₂/min)

TR: tasa de respiración del fruto a una determinada temperatura
(mL CO₂/kg × min)

W: peso de los frutos que se colocan dentro de la cámara (kg)

Datos:

% CO₂ = 0,2

δCO₂ = 1,31mg/mL

Se obtienen los siguientes flujos:

F_{12 °C} = 85,22 mL CO₂/min

F_{20 °C} = 148,38 mL CO₂/min

ANEXO X

FOTOGRAFÍAS DE FRUTOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO

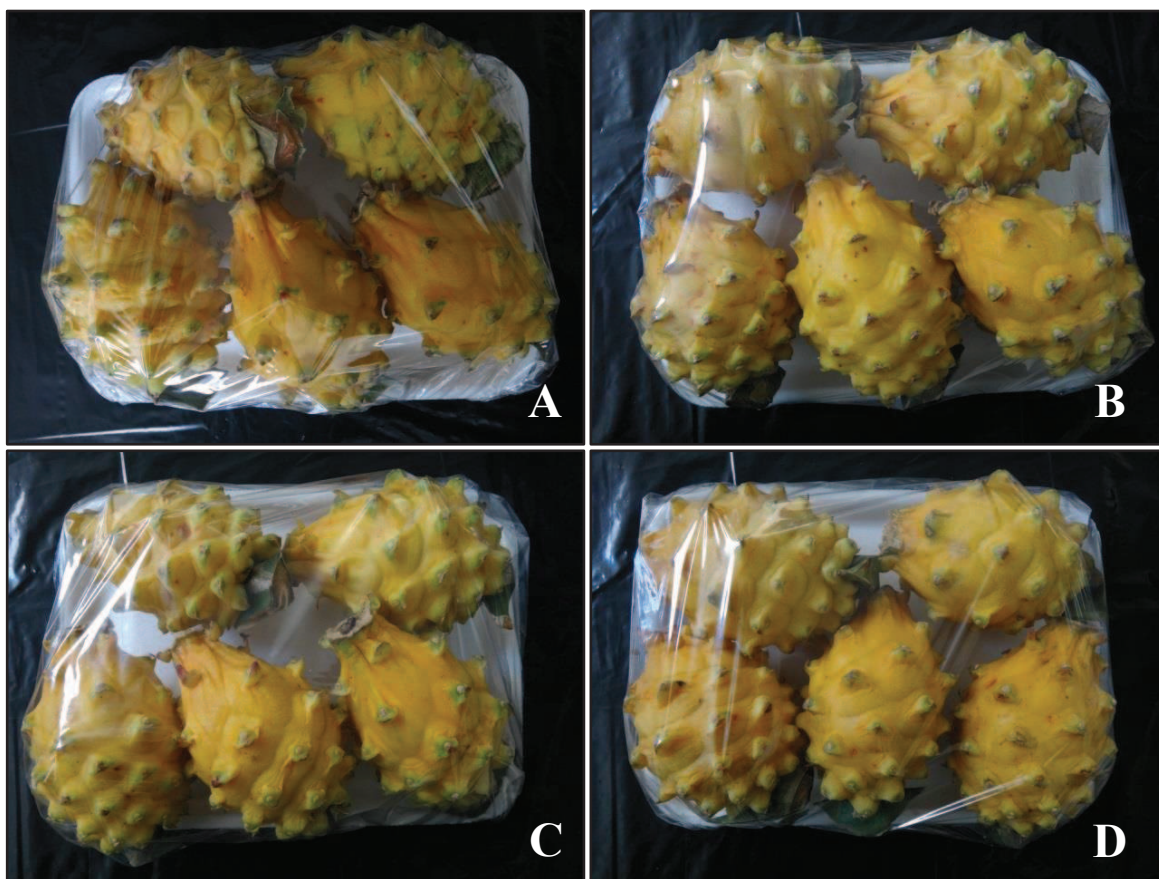


Figura AX.1. Fotografías de frutos hidrogenfriados y empacados con PVC (A), sin hidrogenfriar y empacados con PVC (B), hidrogenfriados y empacados con LDPE (C) y sin hidrogenfriar y empacados con LDPE (D) almacenados durante 7 días a 12 °C y 85 % HR más 5 días a 20 °C y 60 % HR

ANEXO X

FOTOGRAFÍAS DE FRUTOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO



Figura AX.2. Fotografías de frutos hidrogenfriados y empacados con PVC (A), sin hidrogenfriar y empacados con PVC (B), hidrogenfriados y empacados con LDPE (C) y sin hidrogenfriar y empacados con LDPE (D) almacenados durante 14 días a 12 °C y 85 % HR más 5 días a 20 °C y 60 % HR

ANEXO X

FOTOGRAFÍAS DE FRUTOS DURANTE EL ALMACENAMIENTO

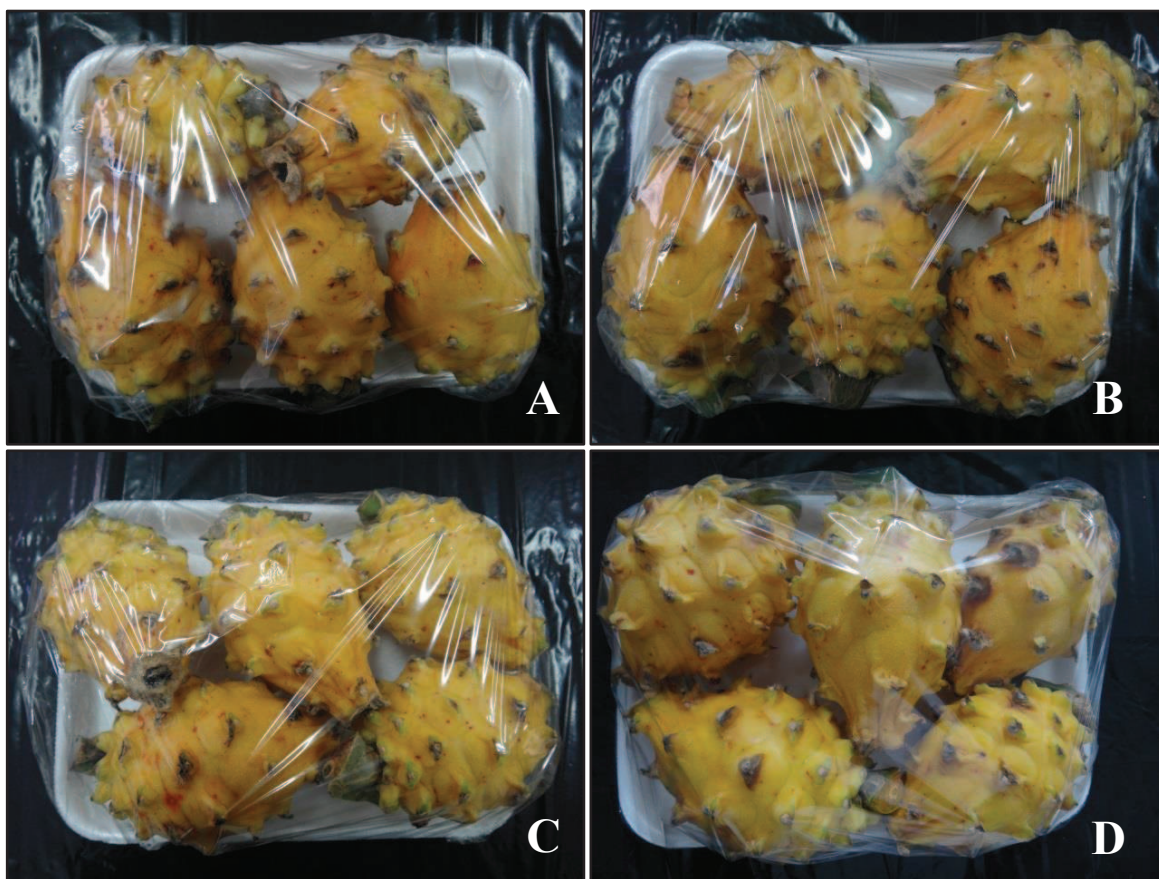


Figura AX.3. Fotografías de frutos hidrogenfriados y empacados con PVC (A), sin hidrogenfriar y empacados con PVC (B), hidrogenfriados y empacados con LDPE (C) y sin hidrogenfriar y empacados con LDPE (D) almacenados durante 21 días a 12 °C y 85 % HR más 5 días a 20 °C y 60 % HR

ANEXO XI

CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE UN HIDROENFRIADOR POR INMERSIÓN

➤ Dimensionamiento tanque

Datos:

Base para cálculo: 250 kg frutos

Peso promedio fruto: 0,18 kg

Frutos/gaveta: 60

Dimensiones gaveta: 0,40×0,605×0,16 m (a×l×h)

$$Total_{gavetas} = \frac{total\ frutos}{frutos/gaveta} = \frac{250\ kg}{0,18\ kg} = 23,15 \approx 24$$

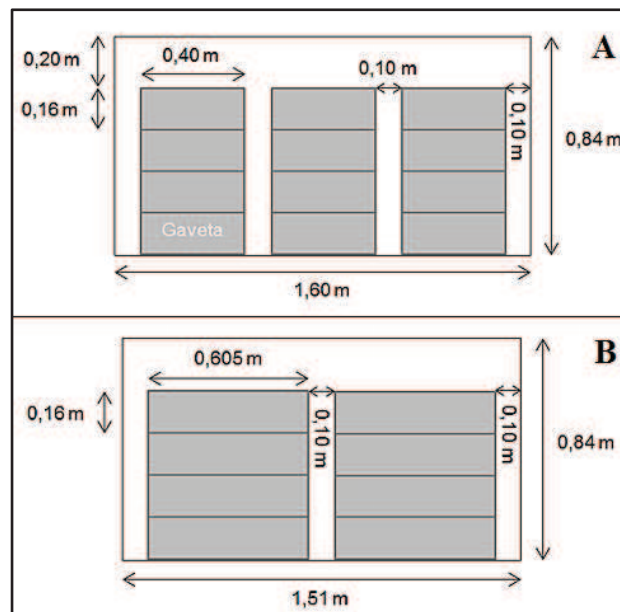


Figura AXI.1. Esquema de distribución de las gavetas dentro del hidrogenfriador con sus respectivas dimensiones: vista frontal (A), vista lateral (B)

Dimensiones tanque:

Acho=1,51 m

Largo= 1,60 m

Alto= 0,84 m

➤ Cálculo del tiempo de hidrogenfriamiento

Correlación convección forzada, flujo externo, esfera:

$$Nu = 2 + (0,48 Re^{1/2} + 0,06 Re^{2/3}) Pr^{0,4} \left(\frac{\mu_{\infty}}{\mu_p} \right)^{1/4} \quad (\text{Incropera y De Witt, 1999, p. 395}) \quad [AXI.1]$$

Donde:

Nu : Nusselt (adimensional)

Re : Reynolds (adimensional)

Pr : Prandtl (adimensional)

μ_{∞} : viscosidad del medio a temperatura ambiente (Pa×s)

μ_p : viscosidad del medio a temperatura de pared (Pa×s)

Tabla AXI.1. Propiedades del agua líquida a 10 °C

Propiedades	Unidades	Valor
Densidad (ρ)	kg/m ³	1 003
Viscosidad (μ)	Pa.s	1 307×10 ⁻⁶ 890×10 ⁻⁶ (25 °C)
Pr	-	9,35
Conductividad (k)	W/m×K	0,58
Capacidad calorífica (cp)	kJ/kg×K	4,19

(Coronel, 2005, p. 15)

$$Re = \frac{\rho \times v \times \phi}{\mu} \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 57}) \quad [AXI.2]$$

Donde:

Re : Reynolds (adimensional)

ρ : densidad (Kg/m³)

- v : velocidad (m/s)
 Φ : diámetro (m)
 μ : viscosidad (Pa×s)

$$\Phi = D_H$$

$$D_H = \frac{4Ac}{P} \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 371}) \quad [AXI.3]$$

Donde:

- D_H : dimensión característica paralelepípedo (m)
 Ac : área sección transversal (m²)
 P : perímetro sección transversal (m)

$$D_H = \frac{4 \times (1,51 \times 0,84)}{(2 \times 1,51) + (2 \times 0,84)} = 1,08 \text{ m}$$

$v = 0,076$ m/s (Hidrogenoenfriamiento duraznos – Thompson *et al.*; 1998, p. 20)

$$Re = \frac{1\,003 \times 0,076 \times 1,08}{1\,30 \times 10^{-6}} = 62\,958,93$$

Reemplazando el valor de Re en AXI.1 se obtiene el número de Nusselt (Nu):

$$Nu = 2 + \left(0,48 \times 62\,958,93^{1/2} + 0,06 \times 62\,958,93^{2/3}\right) 9,35^{0,4} \left(\frac{1\,307 \times 10^{-6}}{890 \times 10^{-6}}\right)^{1/4} = 581,74$$

$$Nu = \frac{h_{H_2O} \times D_H}{k_{H_2O}} \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 267}) \quad [AXI.4]$$

Donde:

Nu : Nusselt (adimensional)

h_{H_2O} : coeficiente de convección del agua ($W/m^2 \times K$)

D_H : dimensión característica paralelepípedo (m)

k_{H_2O} : conductividad térmica del agua ($W/m^2 \times K$)

$$h_{H_2O} = \frac{581,74 \times 0,58}{1,08} = 314,18 \frac{W}{m^2 K}$$

$$Bi = \frac{h_{H_2O} \times D_{H_{esfera}}}{k_{H_2O}} \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 371}) \quad [AXI.5]$$

Donde:

Bi : Biot (adimensional)

h_{H_2O} : coeficiente de convección del agua ($W/m^2 \times K$)

D_H : dimensión característica esfera (m)

k_{H_2O} : conductividad térmica del agua ($W/m \times K$)

Radio promedio pitahaya= 0,04 m

$$D_H = \frac{r}{3} \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 371}) \quad [AXI.6]$$

Donde:

D_H : dimensión característica esfera

r : radio

$$D_H = \frac{0,04}{4} = 0,027 \text{ m}$$

$$Bi = \frac{314,18 \times 0,027}{0,58} = 7,19$$

$Bi > 0,1 \rightarrow D_{H_{esfera}} = r = 0,04 \text{ m}$

$$Bi = \frac{314,18 \times 0,04}{0,58} = 21,56$$

Solución analítica aproximada con el primer término de la distribución de temperaturas en una esfera de radio r_0 sometida a convección:

$$\theta = \frac{T_\infty - T}{T_\infty - T_0} = C_1 e^{-\lambda_1^2 F_0} \quad (\text{Incropera y De Witt, 1999, p. 217}) \quad [AXI.7]$$

Donde:

θ : relación entre las temperaturas del medio y de la esfera en el eje central (adimensional)

T_∞ : temperatura del medio (K)

T : temperatura final en el centro de la esfera (K)

T_0 : temperatura inicial en el centro de la esfera (K)

F_0 : número de Fourier (adimensional)

C_1 y λ_1 : constantes en función del número de Biot (adimensionales)

Para obtener la temperatura hasta la que debe hidrogenfriar el producto se utiliza la fórmula siguiente:

$$T = T_0 - \frac{7}{8}(T_0 - T_{\text{medio_refrigerante}}) \quad (\text{Thompson, et al., 1998, p.10}) \quad [AXI.8]$$

$$T = 25 - \frac{7}{8}(25 - 10) = 11,88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\theta = \frac{10 - 11,88}{10 - 25} = 0,13$$

Tabla AXI.2. Coeficientes de la aproximación de un término de las soluciones de conducción transitoria unidimensional

	Esfera	
Bi	$\lambda 1$	C1
20	2,9857	1,9781
30	3,0372	1,9898

(Ramos y Remírez, 2009, p. 34)

Reemplazando θ en AXI.7 se tiene:

$$0,13 = 1,9799 e^{-2,9937^2 F_0}$$

$$F_0 = 0,31$$

Finalmente para determinar el tiempo necesario para realizar el hidrogenfriamiento se utiliza la fórmula siguiente:

$$F_0 = \frac{\alpha \times t}{D_H^2} \quad (\text{Incropera y De Witt, 1999, p. 217}) \quad [AXI.9]$$

Donde:

F_0 : número de Fourier (adimensional)

α : difusividad térmica (m^2/s)

t : tiempo (s)

D_H : dimensión característica esfera (m)

$$\alpha = \frac{k}{\rho \times cp} \quad (\text{Incropera y De Witt, 1999, p. 50}) \quad [AXI.10]$$

Donde:

α : difusividad térmica (m^2/s)

- k : conductividad térmica (W/m×K)
 ρ : densidad (kg/m³)
 cp : capacidad calorífica (kJ/kg×K)

Datos con base en la composición de la pitahaya amarilla:

$$\rho_{\text{pitahaya}} = 1\,108,03 \text{ kg/m}^3$$

$$k_{\text{pitahaya}} = 0,54 \text{ W/m} \times \text{K}$$

$$cp_{\text{pitahaya}} = 3,68 \text{ kJ/kg} \times \text{K}$$

$$\alpha = \frac{0,54}{1\,108,03 \times 3,68} = 1,31 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Reemplazando en AXI.9 se tiene:

$$0,31 = \frac{1,31 \times 10^{-7} \times t}{0,04^2}$$

$$t = 3\,741,54 \text{ s} = 1,04 \text{ h}$$

- Cálculo del flujo de refrigerante y la capacidad del motor del compresor.

Cantidad de calor que debe remover el agua para disminuir la temperatura de los frutos:

$$Q = m \times cp \times \Delta T \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 67}) \quad [\text{AXI.11}]$$

Donde:

- Q : variación de energía o calor del sistema en un tiempo definido (kJ)
 m : masa (kg)
 cp : calor específico (KJ/kg×K)
 ΔT : variación de la temperatura (K)

$$Q = 250 \times 3,68 \times (25 - 11,88) = 10\,930,84 \text{ kJ}$$

Cantidad de calor que el refrigerante debe remover del agua para disminuir su temperatura inicialmente:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O_Tanque} + V_{H_2O_Evaporador} \quad [AXI.12]$$

Donde:

- V_{H_2O} : volumen total de agua (m^3)
 $V_{H_2O_Tanque}$: volumen de agua en el tanque (m^3)
 $V_{H_2O_Evaporador}$: volumen de agua en el evaporador (m^3)

Para determinar el volumen de agua en el tanque:

$$V_{H_2O_Tanque} = V_T - V_{gf} \quad [AXI.13]$$

Donde:

- $V_{H_2O_Tanque}$: volumen de agua en el tanque (m^3)
 V_T : volumen del tanque (m^3)
 V_{gf} : volumen de las gavetas y los frutos (m^3)

$$V_{H_2O_Tanque} = (l \times a \times h) - (Tg \times \%V_g \times V_g) \quad [AXI.13.1]$$

Donde:

- $V_{H_2O_Tanque}$: volumen de agua en el tanque (m^3)
 l : largo del tanque (m)
 a : ancho del tanque (m)
 h : alto del tanque (m)
 Tg : número total de gavetas (unidades)

$\% V_g$: porcentaje de volumen ocupado por una gaveta llena de frutos
 V_g : volumen de la gaveta (m^3)

$$\%V_g = \frac{\frac{1}{6} \phi^3 \pi \times \frac{f}{g}}{l \times a \times h} \times 100 \quad [AXI.14]$$

Donde:

$\%V_g$: porcentaje de volumen ocupado por una gaveta llena de frutos
 Φ : diámetro promedio de la pitahaya (m)
 f/g : número de frutos que alcanzan en una gaveta (unidades)
 l : largo de la gaveta (m)
 a : ancho de la gaveta (m)
 h : alto de la gaveta (m)

$$\%V_g = \frac{\frac{1}{6} (0,08)^3 \pi \times 60}{0,605 \times 0,40 \times 0,16} \times 100 = 41,52 \approx 42$$

Reemplazando en AXI.13.1 se tiene:

$$V_{H_2O \text{ Tanque}} = (1,60 \times 1,51 \times 0,84) - [24 \times 0,42 \times (0,605 \times 0,40 \times 0,16)] = 1,64 \text{ m}^3$$

Para determinar el volumen de agua en el evaporador:

$$V_{H_2O_Evaporador} = V_E - V_t \quad [AXI.15]$$

Donde:

$V_{H_2O_Evaporador}$: volumen de agua en el evaporador (m^3)
 V_E : volumen del evaporador (m^3)
 V_t : volumen ocupado por los tubos (m^3)

$$V_{H_2O_Evaporador} = (l \times a \times h) + \left[Tt \times \left(\frac{\phi^2 \pi}{4} h \right) \right] \quad [AXI.15.1]$$

Donde:

$V_{H_2O_Evaporador}$: volumen de agua en el evaporador (m³)

l : largo del evaporador (m)

a : ancho del evaporador (m)

h : alto del evaporador (m)

Tt : número total de tubos que componen el serpentín (unidades)

Φ : diámetro del tubo (m)

h : largo del tubo (m)

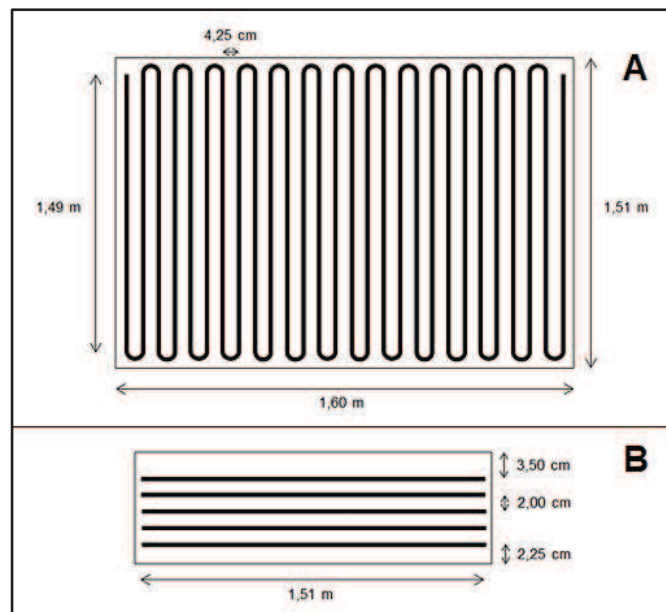


Figura AXI.2. Esquema de distribución de los tubos del serpentín dentro del evaporador con sus respectivas dimensiones: vista frontal (A), vista lateral (B)

Tabla AXI.3. Dimensiones tubería de cobre tipo “K”

Φ nominal	Φ externo (mm)	Φ interno (mm)	Espesor (mm)
3/8”	12,70	10,92	0,89

(NACOBRE, 2013, p. 4)

$$h_{\text{evaporador}} = (DT \times ET) + (\#T \times \phi_e) + DS + DI \quad [AXI.15.1.1]$$

Donde:

$h_{\text{evaporador}}$: alto del evaporador (m)

DT : distancia entre tubos (m)

ET : número de espacios entre tubos (unidades)

$\#T$: número de tubos (unidades)

ϕ_e : diámetro externo tubos (m)

DS : distancia entre tubos y parte superior del evaporador (m)

DI : distancia entre tubos y parte inferior del evaporador (m)

$$h_{\text{evaporador}} = [(2 \times 4) + (5 \times 1,27)] + 3,5 + 2,25 = 20,10 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Tubos} = \frac{160 - 2}{4,15 + 1,27} = 28,62 \approx 28$$

$$\text{Total_tubos} = 28 \times 5 = 140$$

Reemplazando en AXI.15.1 se tiene:

$$V_{H_2O_Evaporador} = (1,60 \times 1,51 \times 0,84) + \left[140 \times \left(\frac{0,0127^2 \pi}{4} \times 1,49 \right) \right] = 0,46 \text{ m}^3$$

De AXI.12 se tiene:

$$V_{H_2O} = 1,64 + 0,46 = 2,10 \text{ m}^3$$

$$m_{H_2O} = \rho_{H_2O} \times V_{H_2O}$$

$$m_{H_2O} = 1\,003 \times 2,10 = 2\,102,21 \text{ kg}$$

Al resolver AXI.11 se tiene:

$$Q_2 = 2\,102,21 \times 4,19 \times (25 - 10) = 132\,155,14 \text{ kJ}$$

El refrigerante a utilizarse será el R-134a. Para determinar el flujo de refrigerante se utiliza el diagrama de Mollier.

$$T_{\text{evaporación}} = 10 - 5 = 5^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{condensación}} = 25 + 5 = 30^\circ\text{C}$$

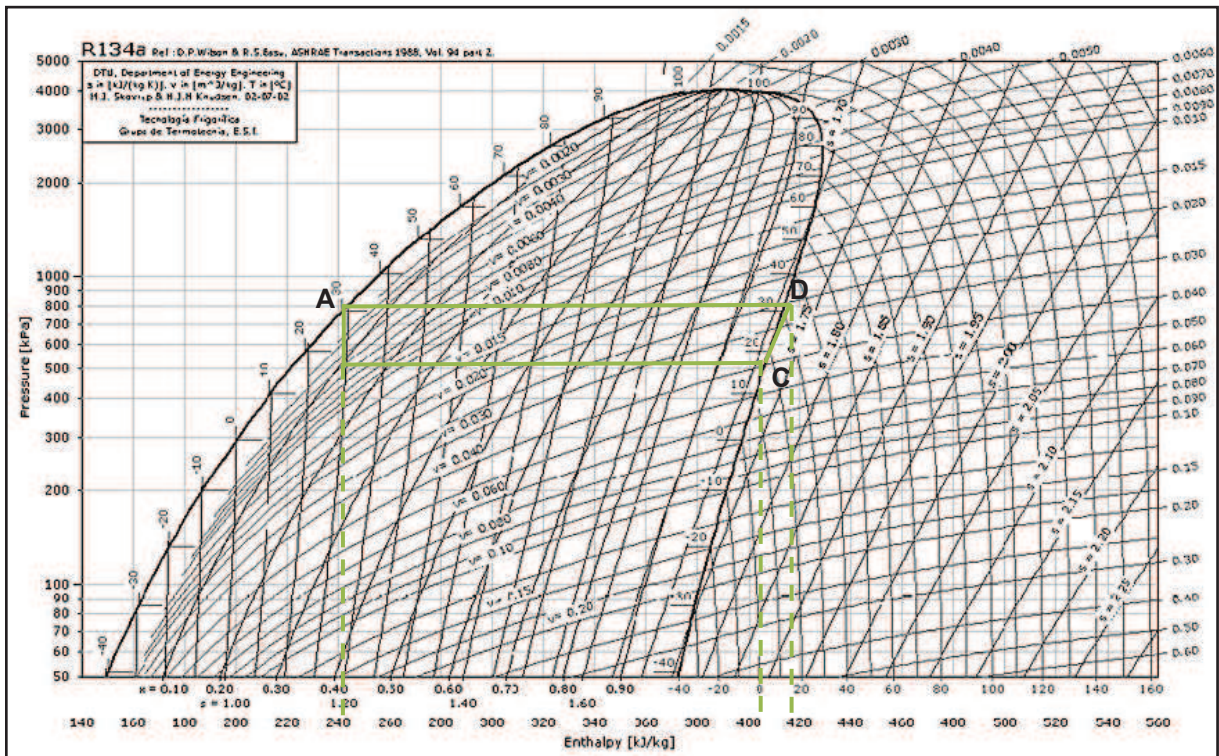


Figura AXI.3. Diagrama de Mollier para el refrigerante R-134a

$$H_A = 240,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$H_C = 402,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$H_D = 417,5 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{removido} = H_C - H_A = 402,5 - 240,0 = 162,5 \frac{kJ}{kg}$$

Para el flujo de refrigerante durante el hidrogenamiento se tiene:

$$m_{refrigerante} = \frac{Q_1}{Q_{removido}} = \frac{10\,930,84}{162,5} = 67,27 \text{ kg}$$

$$\dot{m}_{refrigerante} = \frac{m_{refrigerante}}{t_{hidrogenamiento}} = \frac{67,27}{1,04} = 64,72 \frac{kg}{h} = 1,08 \frac{kg}{min}$$

Para determinar el tiempo necesario para el enfriamiento inicial del agua se asume un flujo de refrigerante:

$$\dot{m}_{refrigerante} = 300 \frac{kg}{h} = 5,00 \frac{kg}{min}$$

$$m_{refrigerante} = \frac{Q_2}{Q_{removido}} = \frac{132\,155,14}{162,5} = 813,26 \text{ kg}$$

$$t_{enfriamiento} = \frac{m_{refrigerante}}{\dot{m}_{refrigerante}} = \frac{813,26}{300} = 2,71 \text{ h}$$

Para la potencia del motor se tiene:

$$Q_{compresor} = H_D - H_C = 417,5 - 402,5 = 15 \frac{kJ}{kg}$$

$$P = 15 \frac{kJ}{kg} \times 300 \frac{kg}{h} \times (3,73 \times 10^{-4}) \frac{HP \cdot h}{kJ} = 1,68 \text{ HP} \approx 2 \text{ HP}$$

- Dimensionamiento de la tubería y cálculo de la potencia de la bomba para recirculación de agua.

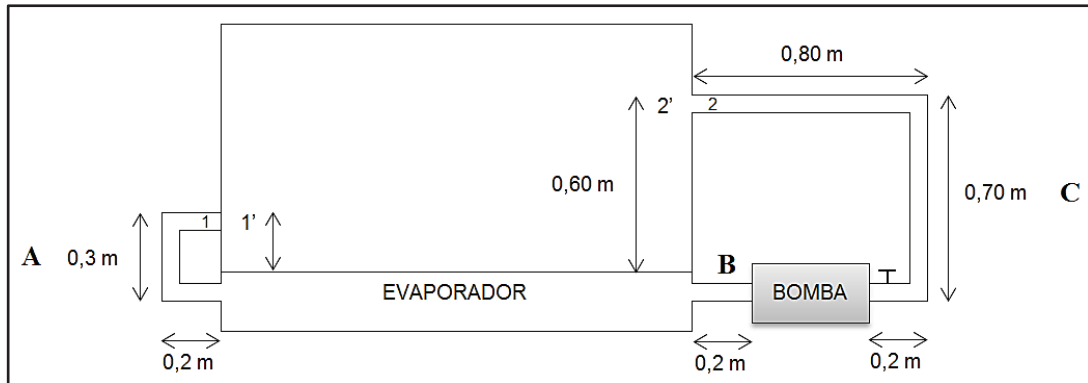


Figura AXI.4. Diagrama esquemático del hidrogenfriador por inmersión con las longitudes de tubería para recirculación de agua

$$\frac{1}{2} \left(\frac{V_2}{\alpha_2} - \frac{V_1}{\alpha_1} \right) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} - \hat{W}_s + \hat{F} f = 0 \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 74}) \quad [AXI.16]$$

Donde:

- v : velocidad en el punto inicial (1) y final (2) de la tubería (m/s)
 α : factor de corrección (adimensional)
 z : altura con respecto a un punto de referencia en el punto inicial (1) y final (2) de la tubería (m)
 P : presión en el punto inicial (1) y final (2) de la tubería (Pa)
 ρ : densidad del fluido transportado (kg/m^3)
 W_s : trabajo mecánico realizado por la bomba (J)
 F_f : fuerzas de fricción a lo largo de la tubería (m^2/s^2)

Al no existir cambio de diámetro en la tubería de recirculación de agua la velocidad y la presión se mantienen constantes y simplificando de AX.16 se tiene:

$$H_B = \frac{\hat{W}_s}{g} = \frac{\hat{F} f}{g} + (z_2 - z_1) \quad [AX.16.1]$$

Donde:

HB : altura de la bomba (m)

z : altura con respecto a un punto de referencia en el punto inicial (1) y final (2) de la tubería (m)

F_f/g : fuerzas de fricción a lo largo de la tubería (m)

$$F_f = 4f \frac{\Delta L}{\phi} \frac{v^2}{2} \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 99}) \quad [AXI.17]$$

Donde:

F_f : fuerzas de fricción a lo largo de la tubería (m^2/s^2)

f : factor de fricción de Fanning (adimensional)

ΔL : largo de la tubería (m)

Φ : diámetro de la tubería (m)

v : velocidad del fluido al interior de la tubería (m/s)

$$h_f = \frac{Le}{\phi} \frac{v^2}{2} \quad (\text{Geankoplis, 2002, p. 107}) \quad [AXI.17.1]$$

Donde:

h_f : pérdidas por fricción en accesorios (m^2/s^2)

Le : longitud equivalente de la tubería recta que tiene la misma pérdida por fricción que el accesorio (m)

Φ : diámetro de la tubería (m)

v : velocidad del fluido al interior de la tubería (m/s)

Se dividió la tubería en tres segmentos, como se observa en la Figura AX1.4, para facilitar los cálculos de las pérdidas de fricción.

$$\frac{Ff}{g} = \frac{Ff_A}{g} + \frac{Ff_B}{g} + \frac{Ff_C}{g} \quad [AXI.17.2]$$

$$\frac{Ff}{g} = 2 \frac{V^2}{\alpha g} + 2,5 \left(\frac{Leq_{Acodos90} + Leq_{1v\u00e1lvulag1boabierta}}{\phi} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) + f \left(\frac{L_A + L_B + L_C}{\phi} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad [AXI.17.3]$$

$$\dot{Q} = \frac{V_{H_2O}}{t_h} \quad [AXI.18]$$

Donde:

\dot{Q} : caudal (m³/h)

V_{H_2O} : volumen total de agua (m³)

t_h : tiempo de hidrogenfriamiento (h)

$$\dot{Q} = \frac{2,10}{1,04} = 2,01 \frac{m^3}{h} = 0,56 \frac{L}{s}$$

$$\dot{Q} = v \times A \quad [AXI.18.1]$$

Donde:

\dot{Q} : caudal (m³/h)

v : velocidad (m/h)

A : \u00e1rea (m²)

En Geankoplis (2002), se recomienda una velocidad de 3 ft/s (3276 m/h) en la entrada a bomba para l\u00edquido no viscoso (p. 115).

Despejando de AXI.18.1 se tiene:

$$r = \sqrt{\frac{\dot{Q}}{v \times \pi}} = \sqrt{\frac{2,01}{3276 \times \pi}} = 0,03 \text{ m}$$

Tabla AXI.4. Dimensiones tubería de acero inoxidable AISI 304

Φ nominal	Φ externo (mm)	Φ interno (mm)	Espesor (mm)
1"	33,44	30,10	1,65

(PROVINDUS, 2013, p. 1)

$$Re_{H_2O_{10^\circ C}} = \frac{\rho \times v \times \phi}{\mu} = \frac{1\,003 \times 0,91 \times 0,031}{1\,307 \times 10^{-6}} = 21\,121,66$$

Re > 4 000: Flujo turbulento: $\alpha=1$ (Geankoplis, 2002, p.58)

Del diagrama de Moody: $f=0,0255$ (Geankoplis, 2002, p. 102)

Tabla AXI.5. Pérdidas por fricción, longitud equivalente de tubería recta en diámetros de tubería (Le/Φ)

Tipo de accesorio o válvula	Le/Φ
Codo 90°	35
Válvula de globo abierta	300

(Geankoplis, 2002, p. 107)

Reemplazando en AXI.17.1 se tiene:

$$\frac{F_f}{g} = 2 \frac{0,91^2}{1 \times 9,8} + 2,5[(4 \times 35) + (1 \times 300)] \left(\frac{0,91^2}{2 \times 9,8} \right) + 0,0255 \left(\frac{0,70+0,20+1,70}{0,0301} \right) \left(\frac{0,91^2}{2 \times 9,8} \right) = 1,46 \text{ m}$$

Reemplazando en AXI.16.1 se tiene:

$$H_B = 1,46 + (0,6 - 0,2) = 1,86 \text{ m}$$

Tipo de bomba seleccionada: centrífuga

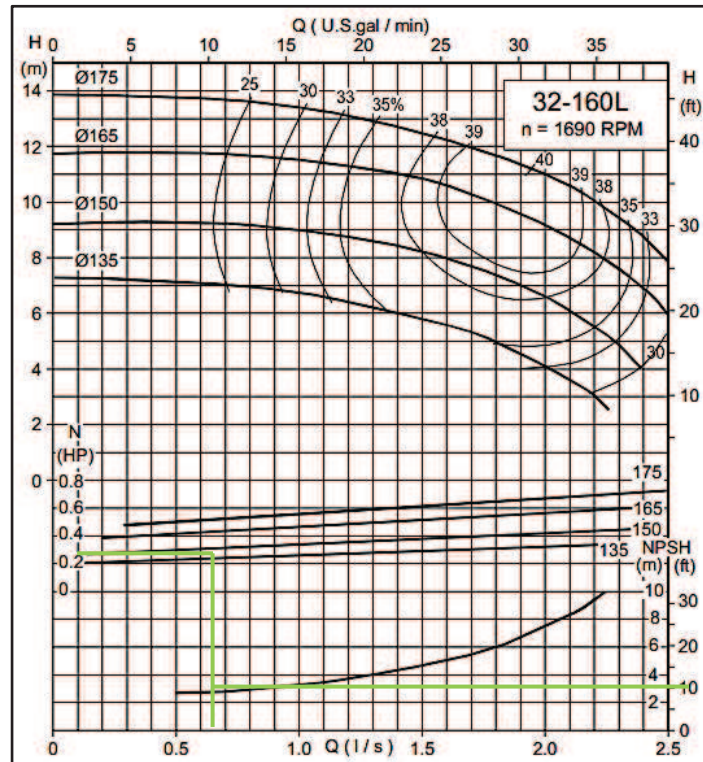


Figura AXI.5. Curvas de operación de la bomba centrífuga ISO 2858 (HIDROSTAL, 2012, p.6)

Potencia de la bomba: 0,21 HP

$NPSH_R$: 3 m

Para que no exista cavitación en la bomba $NPSH_D \geq NPSH_R$, donde:

$$NPSH_D = \frac{P - P_{VH_2O}}{\rho \times g} + h - \frac{\hat{F} f}{g} \quad (\text{Boyce, 2001, p. 31}) \quad [AXI.19]$$

Donde:

$NPSH_D$: cabeza de succión neta positiva disponible (m)

P : presión atmosférica (Pa)

P_{VH_2O} : presión de vapor de agua a una determinada temperatura (Pa)

ρ : densidad del líquido a transportar (kg/m^3)

g : gravedad (m/s^2)

h : altura a la que se encuentra ubicada la bomba (m)

Ff/g : fuerzas de fricción en la tubería en la zona de succión (m)

$$P_{atm} = P_{Pedro_Vicente_Maldonado} = 88\,530,475 \text{ Pa}$$

$$P_{VH20_10\text{ }^\circ\text{C}} = 1\,227,77 \text{ Pa}$$

$$\frac{Ff}{g} = 2 \frac{V^2}{\alpha g} + 2,5 \left(\frac{Leq_{2codos90}}{\phi} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) + f \left(\frac{L_A + L_B}{\phi} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$$\frac{Ff}{g} = 2 \frac{0,91^2}{1 \times 9,8} + 2,5(2 \times 35) \left(\frac{0,91^2}{2 \times 9,8} \right) + 0,0255 \left(\frac{0,70 + 0,20}{0,0301} \right) \left(\frac{0,91^2}{2 \times 9,8} \right) = 0,40 \text{ m}$$

Reemplazando en AXI.19 se tiene:

$$NPSH_D = \frac{88\,530,48 - 1\,227,77}{1\,003 \times 9,8} + 0 - 0,40 = 8,49 \text{ m}$$

➤ Cálculo de la cantidad de calor que se pierde al ambiente

Cantidad de calor que se pierde al ambiente en el tanque (pared plana):

$$Q = \frac{\Delta T}{T_{CV_{H_2O}} + T_C + T_{CV_\infty}} \quad [AXI.20]$$

Donde:

Q: calor transferido (W)

ΔT : variación de la temperatura (K - °C)

T_C : transferencia de calor por conducción en la pared plana (W/K)

$T_{CV_{H_2O}}$: transferencia de calor por convección en el agua (W/K)

T_{CV_∞} : transferencia de calor por convección en el ambiente (W/K)

$$Q = \frac{T_{H_2O} - T_\infty}{\frac{1}{A \times h_{H_2O}} + \frac{e}{A \times k} + \frac{1}{A \times h_\infty}} \quad [AXI.20.1]$$

Donde:

Q : calor transferido (W)

T_{H_2O} : temperatura del agua (K - °C)

T_{∞} : temperatura ambiente (K - °C)

h_{H_2O} : coeficiente de convección del agua ($W/m^2 \times K$)

h_{∞} : coeficiente de convección del aire ($W/m^2 \times K$)

A : área de transferencia (m^2)

e : espesor del material de la pared plana (m)

k : conductividad del material de la pared plana ($W/m \times K$)

Se considera los 5 lados del tanque para la transferencia de calor:

$$Q = \frac{T_{H_2O} - T_{\infty}}{\frac{1}{A_S h_{\infty}} + \frac{2}{A_{L1} \left(\frac{1}{h_{H_2O}} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_{\infty}} \right)} + \frac{2}{A_{L2} \left(\frac{1}{h_{H_2O}} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_{\infty}} \right)} + \frac{1}{A_I \left(\frac{1}{h_{H_2O}} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_{\infty}} \right)}} \quad [AXI.20.2]$$

$T_{\infty} = 25 \text{ °C}$ (Dato)

$T_{H_2O} = 10 \text{ °C}$ (Dato)

$h_{\infty} = 15 \text{ W/m}^2 \times K$ (Incropera, 1999, p. 8)

$h_{H_2O} = 314,18 \text{ W/m}^2 \times K$ (Valor calculado)

$e_{\text{acero_inox.}} = 1,65 \times 10^{-3} \text{ m}$

$k_{\text{acero_inox.}} = 14,90 \text{ W/m} \times K$

$$A_S = A_I = 1,51 \times 1,60 = 2,42 \text{ m}^2$$

$$A_{L1} = 1,60 \times 0,84 = 1,34 \text{ m}^2$$

$$A_{L2} = 1,51 \times 0,84 = 1,27 \text{ m}^2$$

$$Q = 55,34 \text{ W} = Q_A$$

$$\% Q_{perdido} = \frac{Q_A}{Q_1} \times 100 = \frac{55,34 \text{ W}}{\left(\frac{10\,930,84 \times 1\,000}{3\,741,54} \text{ W}\right)} \times 100 = 1,89 \%$$

Cantidad de calor que se pierde al ambiente en la tubería (pared cilíndrica):

$$Q = \frac{\Delta T}{T_{CV_{H_2O}} + T_C + T_{CV_{\infty}}} \quad [AXI.21]$$

Donde:

Q: calor transferido (W)

ΔT : variación de la temperatura (K - °C)

T_C : transferencia de calor por conducción en la pared cilíndrica (W/K)

$T_{CV_{H_2O}}$: transferencia de calor por convección en el agua (W/K)

$T_{CV_{\infty}}$: transferencia de calor por convección en el ambiente (W/K)

$$Q = \frac{T_{H_2O} - T_{\infty}}{\frac{1}{A_i h_{H_2O}} + \frac{e}{A_{med.log.} \times k} + \frac{1}{A_e h_{\infty}}} \quad [AXI.21.1]$$

Donde:

Q: calor transferido (W)

T_{H_2O} : temperatura del agua (K - °C)

T_{∞} : temperatura ambiente (K - °C)

h_{H_2O} : coeficiente de convección del agua (W/m² × K)

h_{∞} : coeficiente de convección del aire (W/m² × K)

A: área de transferencia interna (i) y externa (e) (m²)

e: espesor del material de la pared plana (m)

$A_{med.log.}$: área media logarítmica (m²)

$$A_i = 2\pi r_i^2 \times L = 2\pi \times 0,0301^2 \times 1,9 = 0,36 \text{ m}^2$$

$$A_e = 2\pi r_e^2 \times L = 2\pi \times 0,0334^2 \times 1,9 = 0,40 \text{ m}^2$$

$$A_{mlog} = \frac{A_i - A_e}{\ln\left(\frac{r_i}{r_e}\right)} = \frac{0,36 - 0,40}{\ln\left(\frac{0,0301}{0,0334}\right)} = 0,38 \text{ m}^2$$

Para determinar el h_{H_2O} que circula por la tubería se utiliza la siguiente correlación para convección forzada, flujo interno, conducto circular:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3} \quad (\text{Coronel, 2005, p.26}) \quad [AXI.22]$$

$$Re_{H_2O_{10^\circ C}} = \frac{\rho \times v \times \emptyset}{\mu} = \frac{1\,003 \times 0,91 \times 0,0301}{1\,307 \times 10^{-6}} = 21\,121,66$$

$$Nu_{H_2O_{10^\circ C}} = 0,023 \times 21\,121,66^{0,8} \times 9,35^{0,3} = 129,64$$

$$h_{H_2O_{10^\circ C}} = \frac{Nu \times k}{D_H} = \frac{129,64 \times 0,58}{0,0301} = 2\,510,89 \frac{W}{m^2K}$$

Al resolver AXI.21.1 se tiene:

$$Q = \frac{10 - 25}{\frac{1}{0,36 \times 2\,510,89} + \frac{1,65 \times 10^{-3}}{0,38 \times 14,90} + \frac{1}{0,40 \times 15}} = 88,97 \text{ W} = Q_B$$

$$\% Q_{perdido} = \frac{Q_B}{Q_1} \times 100 = \frac{88,97 \text{ W}}{\left(\frac{10\,930,84 \times 1\,000}{3\,741,54} \text{ W}\right)} \times 100 = 3,05 \%$$

Como las pérdidas de calor en el tanque de inmersión y en la tubería no superan el 4,5 % no se utilizará aislante, sino láminas y tubería de acero inoxidable con acabado mate.