



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Reducción de porcentaje de errores en conteo de fruta paletizada
en una empresa de producción y exportación de frutas exóticas

INGE – 2495

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

George Felix Cevallos Asanza

Marcos Israel Rengifo Torres

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación a quien supo ser el hombre más importante de mi vida, Enrique Cesario Asanza Fernández. El amarme como un padre a pesar de ser mi tío, sus consejos preparándome para este largo y difícil camino llamado vida, sus bromas y su cariño incondicional me hicieron el hombre que hoy en día soy. Desde el primer momento que pisé la universidad, te prometí al cielo que conseguiría este título por ti y hoy lo he logrado. Sé que estarías muy orgulloso de mí y espero que desde arriba siempre puedas ver cómo me convierto en el hombre que siempre quisiste.

George Felix Cevallos Asanza

Dedicatoria

Me gustaría dedicar el siguiente proyecto a todas aquellas personas que me han brindado una enseñanza, consejo y aportación a mi vida durante estos años de formación profesional. A pesar de que varios de ellos ya no formen parte de mi rutina diaria solo me queda agradecer por todo lo aprendido.

Marcos Israel Rengifo Torres

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme permitido llegar a este punto del camino, y bendecirme cada día. Agradezco a mi padre Felix Cevallos, por ser un excelente hombre y trabajar incansablemente para que sus hijos alcancen todas sus metas y sueños, soy muy orgulloso de ser tu hijo y llevar tú mismo nombre. A mi madre Gladys Asanza por ser el pilar fundamental de esta familia y ser incondicional en cada etapa de mi vida, por ser la madre más amorosa y comprensiva que pueda existir, por creer en mí y apoyarme en todo momento. Agradezco a mis hermanas, Brigitte y Bethsabé por ser mis mejores amigas, mis modelos a seguir y motivarme a nunca rendirme hasta alcanzar mis objetivos. Agradezco a Solange por los momentos de felicidad compartidos, por motivarme en momentos difíciles y por haber sido una gran compañera durante la mayor parte de este proceso. A mis amigos Jefferson, Edwin y Rubén por estar presentes en los buenos momentos, pero sobre todo en los malos. Esta tesis no hubiera sido posible sin ninguno de ustedes.

George Felix Cevallos Asanza

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la vida que me ha otorgado, por estar conmigo en cada momento y por saberme guiar en cada decisión que he tomado. Estaré eternamente agradecido por el esfuerzo que mi padre Marco Rengifo ha realizado por sus hijos, por cada enseñanza y valor que nos ha inculcado desde niños permitiéndonos ser personas de bien y perseverantes. No me alcanzan las palabras para expresar el inmenso agradecimiento que siento por mi madre Carmen Torres quien me ha enseñado que el amor es incondicional y que soy capaz de lograr lo que sea que me proponga. Estoy orgulloso de ser el hermano de Karen Rengifo quien ha sido mi ejemplo a seguir desde que era un niño, valoro cada enseñanza y sacrificio que has hecho por mí y por mis padres. Finalmente me gustaría agradecer a mis amigos Josué Bazurto, Odalys Ponce, Jessenia Intriago y Gabriela Munizaga por estar conmigo siempre que los necesitaba y en cada momento que llegué a dudar de mi progreso, les agradezco por demostrarme que la vida es extraordinaria.

Marcos Israel Rengifo Torres

Declaración Expresa

Nosotros George Felix Cevallos Asanza y Marcos Israel Rengifo Torres acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autores/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 21 de junio del 2024.


George Felix Cevallos
Asanza


Marcos Israel Rengifo
Torres

Evaluadores

María Laura Retamales García, M.Sc.

EVALUADOR DE PROYECTO

María Denise Rodríguez Zurita, P.hD.

TUTOR DE PROYECTO

Resumen

El presente proyecto se llevó a cabo utilizando la metodología DMAIC, con el objetivo de reducir los errores en el conteo y almacenamiento de cajas de pitahaya roja destinadas a la exportación, en una empresa exportadora de frutas exóticas ubicada en la ciudad de Guayaquil. La reducción de estos errores es crucial para mejorar tanto la eficiencia como la calidad del servicio ofrecido por la empresa, con la meta de disminuir el promedio de errores a un 1.2%.

Para alcanzar este objetivo, se aplicaron diversas metodologías orientadas a identificar las causas subyacentes de estos errores y su impacto en el cálculo del balance de masa. Tras la implementación de soluciones específicas, se logró una reducción significativa de los errores, alcanzando una disminución del 0.8%, lo que permitió cumplir con el objetivo propuesto.

Palabras Clave: DMAIC, Pitahaya, balance de masa, variabilidad.

Abstract

This project was conducted using the DMAIC methodology, with the aim of reducing errors in the counting and storage of boxes of red pitahaya destined for export, in an exotic fruit export company located in the city of Guayaquil. Reducing these errors is crucial to improve both the efficiency and the quality of the service offered by the company, with the goal of reducing the average error rate to 1.2%.

To achieve this objective, various methodologies were applied aimed at identifying the underlying causes of these errors and their impact on the calculation of mass balance. After the implementation of specific solutions, a significant reduction in errors was achieved, reaching a decrease of 0.8%, which allowed the proposed objective to be met.

Keywords: DMAIC, Pitahaya, mass balance, variability.

Índice General

Resumen.....	I
Abstract	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLA	VIII
CAPÍTULO I	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema	3
1.2.1 Definición del problema.....	4
1.2.2 Alcance del proyecto.....	5
1.2.3 Requerimientos del cliente.....	6
1.2.4 CTQ.....	7
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Marco Teórico.....	9
2 CAPÍTULO II	2
2.1 Metodología	11
2.2 Medición	11
2.2.1 Plan de recolección de datos	11
2.2.2 Confiabilidad de los datos.....	12
2.2.3 Normalidad de datos	14
2.2.4 Prueba Mann - Whitney	15
2.2.5 Análisis de capacidad.....	16
2.3 Análisis	17
2.3.1 Lluvia de ideas	18
2.3.2 Diagrama de Ishikawa.....	19
2.3.3 Matriz Causa - Efecto	20
2.3.4 Diagrama de Pareto.....	21
2.3.5 Plan de verificación de causas	22
2.3.6 Metodología 5 por qué.....	29

3	CAPITULO III.....	31
3.1	Resultados y análisis.....	31
3.1.1	Mejora.....	31
3.1.2	Resultados de las soluciones propuesta.....	35
3.1.3	Control.....	48
4	CAPITULO IV.....	31
4.1	Conclusiones y Recomendaciones.....	53
4.1.1	Conclusiones.....	53
4.1.2	Recomendaciones.....	54
	Referencias.....	55
	Apéndices.....	56

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
DMAIC	Define, Measure, Analysis, Improve and Control
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers
VOC	Voice of Customer
CTQ	Critical to Quality
PP	Process Performance
CP	Capability Process

Simbología

%	Porcentaje
°C	Grados Centígrados
\$	dólares americanos

Índice de Figuras

Figura 1.1: Análisis de brechas del porcentaje de variabilidad del balance de masas de la empresa.	4
Figura 1.2: Definición del problema mediante la metodología 3W + 2H.....	5
Figura 1.3: SIPOC de la empresa.....	6
Figura 1.4: VOC de los actores de la empresa.	7
Figura 1.5:CTQ TREE de la necesidad de la empresa.	8
Figura 2.1: Plan de recolección de datos.....	12
Figura 2.2: Prueba de normalidad del porcentaje de variabilidad.....	13
Figura 2.3: Prueba de normalidad del porcentaje de variabilidad.....	14
Figura 2.4: Análisis de capacidad del porcentaje de variabilidad.	16
Figura 2.5: Diagrama de causa y efecto.....	19
Figura 2.6: Matriz Causa - Efecto.....	21
Figura 2.7:Diagrama de Pareto de causas de variabilidad.	21
Figura 2.8: Plan de verificación de causas.....	22
Figura 2.9:Pitahaya recibida antes del proceso de empaque.....	23
Figura 2.10: Operadores colocan las frutas en los pallets.....	25
Figura 2.11: Operador realiza proceso de pesado en báscula de recepción.....	26
Figura 2.12: Operador realiza calibración de báscula.....	29
Figura 3.1: Matriz Impacto - Esfuerzo de las soluciones propuestas.....	33
Figura 3.2: Operador coloca cajas en los pallets y utiliza el clicker para llevar un registro de la cantidad exacta.	36
Figura 3.3: Operador coloca señaléticas en los pallets durante el conteo de cajas.....	37
Figura 3.4: Pallets desorganizados sin una cantidad homogénea de cajas por columna.....	38
Figura 3.5: Diagrama de flujo de la metodología de apilamiento de cajas.....	38
Figura 3.6: Pallets con cantidad homogénea de cajas por columna después de aplicar la metodología.....	39
Figura 3.7: Gráfica de barras de la variabilidad por conteo de cajas antes y después de emplear la metodología.....	41
Figura 3.8: Sistema de humidificadores instalado en las cámaras de refrigeración.....	42
Figura 3.9: Gráfica de dispersión de la humedad relativa y el porcentaje de deshidratación por lote.....	45
Figura 3.10: Gráfico de barra del porcentaje de variabilidad antes y después de implementar las soluciones.....	46
Figura 3.11: Prueba de hipótesis de los datos históricos del porcentaje de variabilidad.....	47
Figura 3.12: Prueba de hipótesis del porcentaje de variabilidad con las mejoras implementadas en 4 lotes.	47

Índice de tablas

Tabla 2-1: Formato para recolección de datos	13
Tabla 2-2: Estadísticas de la prueba Mann - Whitney.....	15
Tabla 2-3: Lluvia de ideas de posibles causas.....	18
Tabla 2-4: Posibles causas potenciales.....	20
Tabla 2-5: Puntuación para calificar las causas según su impacto	20
Tabla 2-6: Porcentaje de deshidratación de un lote dividido en pallets	24
Tabla 2-7: Datos recolectados del análisis de repetibilidad y reproducibilidad del operador 1	27
Tabla 2-8: Datos recolectados del análisis de repetibilidad y reproducibilidad del operador 2.....	27
Tabla 2-9: Metodología Cinco porqués.....	29
Tabla 3-1: Soluciones propuestas para cada causa raíz.....	31
Tabla 3-2: Análisis financiero de cada solución propuesta	32
Tabla 3-3: Referencia numérica para cada solución propuesta	33
Tabla 3-4: Plan de implementación para las soluciones propuestas.....	34
Tabla 3-5: pesos de cada uno de los factores de la ecuación de variabilidad antes de la implementación de la metodología.....	40
Tabla 3-6: pesos de cada uno de los factores de la ecuación de variabilidad después de la implementación de la metodología.....	41
Tabla 3-7: Pesos iniciales y finales de distintos pallets después de dos días a una humedad relativa de 77%	43
Tabla 3-8: Pesos iniciales y finales de distintos pallets después de dos días a una humedad relativa de 87%	44
Tabla 3-9: Plan de control para cada solución propuesta.....	48
Tabla 3-10: Formato de registro de humedad relativa.	49
Tabla 3-11: Formato de registro para el conteo de cajas apiladas.....	50

Capítulo I

1.1 Introducción

En los últimos años, la industria ecuatoriana exportadora de frutas exóticas ha experimentado un desarrollo significativo en el mercado internacional, con Estados Unidos, Canadá y Europa como principales destinos. Entre los productos más demandados se encuentran el mango, el aguacate y la pitahaya.

Nuestro caso de estudio se centra en una empresa familiar fundada en 1991 que se especializa en la producción, empaquetado y exportación de estas frutas. La empresa mantiene un estricto control de calidad en todas las etapas del proceso, desde el cultivo en las plantaciones hasta el despacho al mercado internacional. De hecho, fue la primera en Ecuador en utilizar tratamiento hidrotermal para el procesamiento de mangos con el objetivo de exportar a Estados Unidos.

Para una correcta gestión de recursos, costos e ingresos, el pesaje en las etapas de recepción y despacho de la fruta es de vital importancia, ya que el principal objetivo es minimizar la variabilidad entre ambos pesos. Un equilibrio adecuado garantiza un mayor control de las operaciones y genera confianza entre productores, colaboradores y clientes.

Este proyecto se propone disminuir la variabilidad entre los pesos de recepción y despacho, identificar las principales causas del desbalance de masa y proponer soluciones mediante la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar).

La implementación de estas mejoras permite a la empresa optimizar sus procesos, reduciendo pérdidas y mejorando la satisfacción de sus clientes internacionales. Al identificar y abordar las causas del desbalance de masa, la empresa no solo se asegura de

cumplir con las expectativas del mercado, sino que también establece un modelo de gestión eficiente que podría ser replicado en otras áreas de la industria.

1.2 Descripción del problema

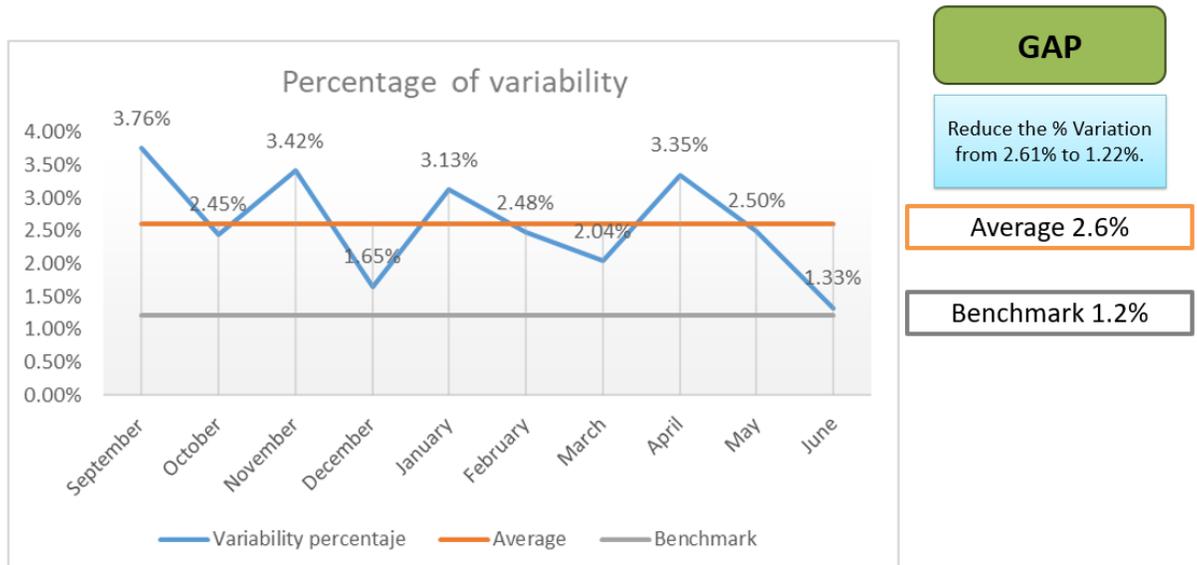
El proceso de empaquetado de frutas para exportación comienza con la recepción de la fruta desde las fincas productoras. Esta fruta se coloca en gavetas plásticas en su lugar de origen y luego se transporta a las instalaciones de DUREXPORTA. Allí, las gavetas se disponen en pallets, cada uno conteniendo 21 gavetas. Se registra el peso de cada pallet considerando la tara del pallet y las gavetas. La suma de todos los pallets determina el peso neto de recepción del lote.

Posteriormente, la fruta se somete a un proceso de lavado y desinfección en equipos especializados. Luego es limpiada, secada y clasificada en cajas de cartón según su tamaño por los operadores. Estas cajas son dispuestas en pallets de madera, pesadas y almacenadas en cámaras frigoríficas hasta el día de despacho, donde se vuelve a pesar. En este último pesaje, se considera la tara del pallet y las cajas de cartón para obtener el peso neto de despacho del lote.

La discrepancia entre el peso neto de recepción y el peso neto de despacho del lote representa la problemática central. Esta variabilidad dificulta el cumplimiento preciso de las cantidades requeridas por los clientes en el extranjero y afecta las operaciones de asignación de pesos a los lotes. En la Figura 1.1 se muestra la variabilidad de los pesos netos de recepción y despacho de pitahayas en los últimos 10 meses. La línea naranja

indica el promedio de variabilidad y la línea gris representa el porcentaje objetivo a alcanzar.

Figura 1.1: *Análisis de brechas del porcentaje de variabilidad del balance de masas de la empresa.*



1.2.1 Definición del problema

A través de la herramienta 3W2H, se definió el problema de la siguiente manera:

Durante el año 2023, en las áreas de recepción, procesamiento y despacho de Durexporta, se ha observado que el 60% de los lotes presentan una desigualdad significativa entre los pesos en kilogramos de frutas recibidas y despachadas para exportación, esta diferencia representa un problema cuando el porcentaje de variabilidad entre el peso neto de entrada y salida excede el 1.2%

La Figura 1.2 muestra la tabla utilizada en la aplicación de la herramienta antes mencionada.

Figura 1.2: Definición del problema mediante la metodología 3W + 2H.

¿What?	¿Where?	¿When?	¿How much?	¿How do we know?
Porcentaje de variabilidad entre pesos de recepción y despacho de lotes de fruta	Áreas de recepción, procesamiento y despacho en Durexporta	Septiembre 2023 – actualidad	El 60% de los lotes superan el porcentaje de variabilidad tolerable de 1.2% entre los pesos de recepción y despacho.	Cuando la variabilidad entre los pesos de recepción y expedición supera el 122%
Definición del problema				
Durante el año 2023, en las áreas de recepción, procesamiento y despacho de Durexporta, se ha observado que el 60% de los lotes presentan una desigualdad significativa entre los pesos en kilogramos de frutas recibidas y despachadas para exportación, esta diferencia representa un problema cuando se excede. 1,2% en comparación entre el peso neto de entrada y salida.				

1.2.2 Alcance del proyecto

Dada la temporada en la que se desarrolla este proyecto, el mismo se centrará en la pitahaya, ya que es la fruta disponible. El mango y la pitahaya se procesan desde septiembre hasta febrero. Es importante destacar que el proyecto se enfocará exclusivamente en los procedimientos realizados en las instalaciones de DUREXPORTA S.A.

La Figura 1.3 muestra la utilización de la herramienta SIPOC, a través de la cual se identificaron los elementos clave de análisis en el estudio de la variabilidad entre el peso de recepción y el peso de despacho. Esta herramienta permitirá una visión clara de los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes involucrados, facilitando la identificación de las causas de la variabilidad y las posibles áreas de mejora.

Figura 1.3: SIPOC de la empresa



1.2.3 *Requerimientos del cliente*

Para identificar las posibles causas de la variabilidad entre los pesos de recepción y despacho, es crucial considerar la opinión de los principales involucrados en los procesos. Para ello, se utilizó la herramienta Voz del Cliente (VOC), que consiste en identificar a las personas clave y, a través de sus experiencias, concretar opciones que ayuden a identificar las causas subyacentes de la variabilidad.

Las personas seleccionadas fueron:

- Supervisor de calidad
- Jefe de desarrollo
- Supervisor de empaque

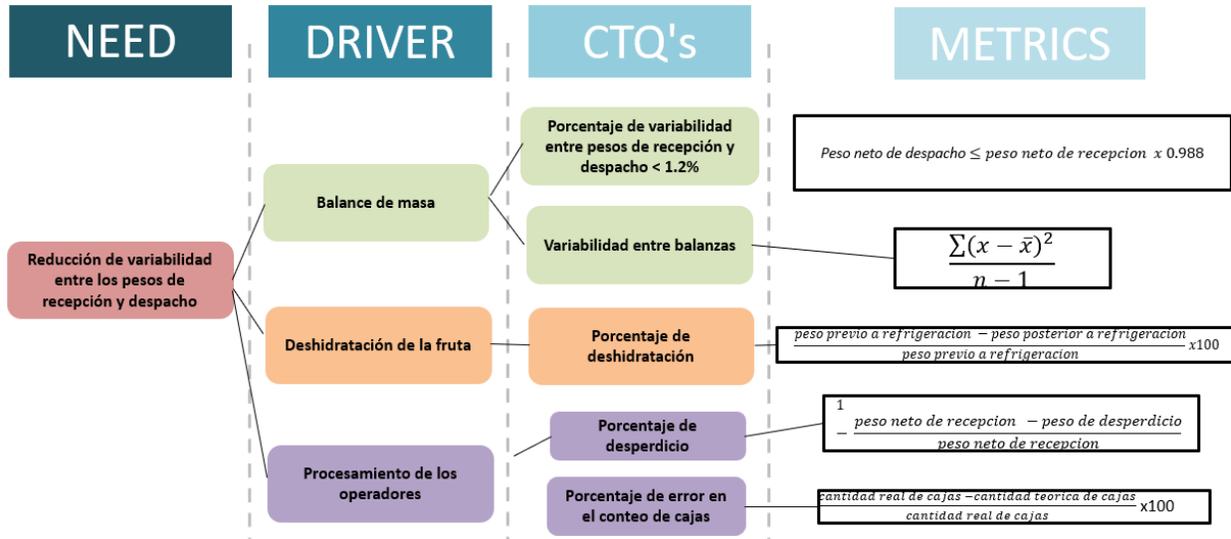
Figura 1.4: *VOC de los actores de la empresa.*



1.2.4 CTQ

Una vez recopiladas las opiniones y experiencias de los involucrados mediante la herramienta VOC, se procedió a utilizar el árbol de Características Críticas para la Calidad (CTQ Tree). Esta herramienta ayuda a desglosar las necesidades y expectativas del cliente en requisitos específicos y medibles. El CTQ Tree permitirá identificar criterios claves que requieren especial enfoque y establecer criterios de calidad que aseguren la eficiencia del proceso.

Figura 1.5: CTQ TREE de la necesidad de la empresa.



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Reducción del porcentaje de variabilidad entre los pesos de recepción y despacho de lotes de pitahaya a 1.2%

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar las posibles causas de la variabilidad entre los pesos de recepción y despacho en lotes de pitahaya utilizando herramientas estadísticas.

Proponer mejoras a los procesos de empaque y procesamiento para el control de la variabilidad de los pesos.

Implementar mejoras a los procesos de empaque y procesamiento para el control de la variabilidad de los pesos.

1.4 Marco Teórico

La metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) es una herramienta estructurada utilizada para mejorar procesos y resolver problemas a nivel industrial. Cada fase descrita a continuación es importante en la identificación y solución de problemas:

Definir: Esta fase establece claramente el problema, los objetivos del proyecto y las expectativas del cliente. Es fundamental para alinear todos los esfuerzos hacia un objetivo común (Pande, Newman, & R., 2000)

Medir: Se recopilan datos relevantes para cuantificar el problema y establecer una línea base. Esto proporciona una visión objetiva del problema y su magnitud (Eckes, 2001)

Analizar: Los datos recopilados se analizan para identificar las causas raíz del problema. Herramientas estadísticas como análisis de Pareto y diagramas de causa y efecto ayudan en este proceso (George, 2003)

Mejorar: Se desarrollan e implementan soluciones para abordar las causas raíz identificadas. Esto implica la generación de ideas y la selección de las mejores soluciones posibles (Pyzdek & Keller, 2009)

Controlar: Se establecen controles para mantener las mejoras implementadas y prevenir la recurrencia del problema. Los planes de control y los monitoreos continuos son clave en esta fase (Harry & Schroeder, 2000)

2 Capítulo II

2.1 Metodología

La implementación del DMAIC en la empresa exportadora de fruta se centra en mejorar la consistencia de los pesos en el proceso de recepción y despacho de pitahaya. A través de herramientas estadísticas como las gráficas de control y análisis de capacidad, se prevé identificar áreas específicas que causan variabilidad en los pesos. Las soluciones desarrolladas se enfocan en abordar estas causas raíz, procurando obtener una mayor precisión y uniformidad en los pesos de los lotes de pitahaya.

2.2 Medición

2.2.1 Plan de recolección de datos

El plan de recolección de datos mostrado en la Figura 2.1 se enfocó en recopilar información sobre ciertos aspectos fundamentales en el empaquetado de la pitahaya. Esto incluye la variabilidad entre los pesos de recepción y despacho, el porcentaje de deshidratación de la pitahaya, la cantidad de desperdicio por lote, el porcentaje de variabilidad entre las balanzas utilizadas, y el peso promedio por caja. Algunos de estos datos se obtuvieron mediante el historial de registros de la empresa, mientras que otros fueron recolectados mediante mediciones directas en el proceso actual de producción.

Figura 2.1: *Plan de recolección de datos.*

¿Que?	Tipo de data	¿Dónde?	¿Cuándo?	Método de recolección	Definición operacional	Factor de estratificación	Muestra	Razón
Porcentaje de variabilidad entre los pesos de recepción y despacho	cuantitativa	Líneas de procesamiento	octubre 2023 – actualidad	Historial de datos	No aplica	Tipo de fruta	No aplica	Conocer el desbalance de masa
Porcentaje de deshidratación	cuantitativa	Cámaras de refrigeración	junio 2024 – agosto 2024	Registros diarios	No aplica	tipo de fruta	No aplica	Conocer el porcentaje de deshidratación diario
Porcentaje de desperdicio por lote	cuantitativa	Líneas de procesamiento	junio 2024 – agosto 2024	Registros diarios	No aplica	tipos de proveedores	No aplica	Conocer el porcentaje de desperdicio no considerado
Porcentaje de variabilidad entre las balanzas	cuantitativa	Líneas de procesamiento	junio 2024 – agosto 2024	Registros diarios	No aplica	sectores de planta	No aplica	Identificar posibles desequilibrios en las balanzas
Peso promedio por caja	cuantitativa	Líneas de procesamiento	junio 2024 – agosto 2024	Registros diarios	No aplica	tipos de calibre de fruta	No aplica	Conocer el peso promedio por caja de cada lote

2.2.2 *Confiabilidad de los datos*

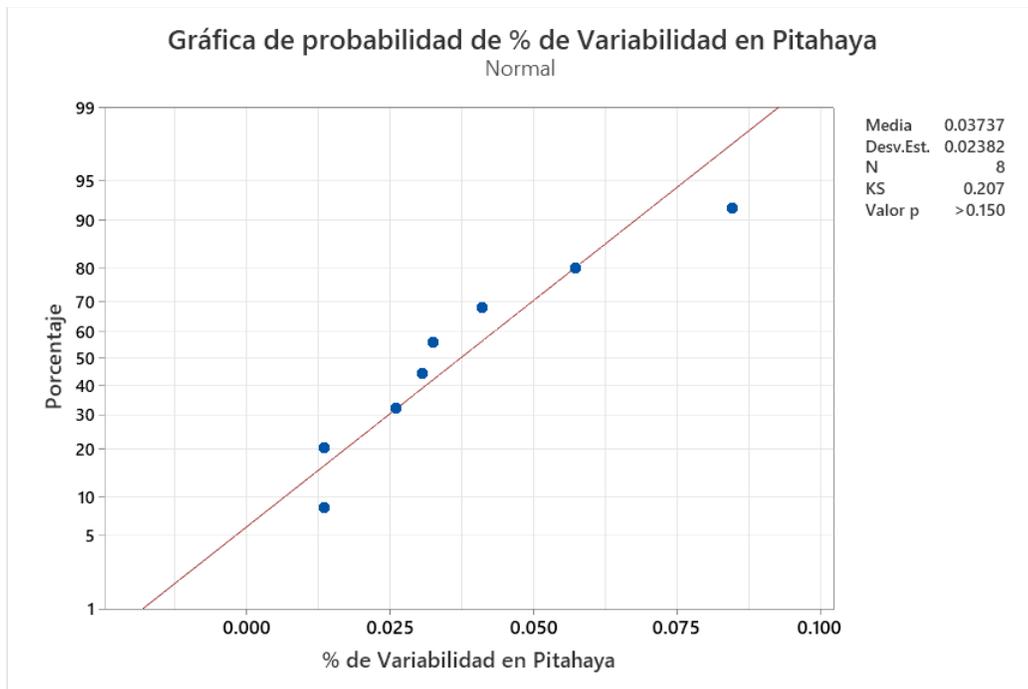
Para confirmar la veracidad de los datos obtenidos del registro histórico de la empresa, se calculó manualmente el porcentaje de variabilidad entre los pesos de recepción y despacho. Este cálculo fue realizado por los líderes del proyecto, George Cevallos Asanza y Marcos Rengifo Torres. La Tabla 2-1 continuación presenta el formato diseñado para la recopilación de datos, incluyendo el peso neto de recepción, el peso neto de despacho, el peso neto de fruta rechazada, así como la fecha de registro y los lotes analizados.

Tabla 2-1: Formato para recolección de datos

FECHA	LOTE	PESO/RECEPCIÓN (KG)	PESO/RECHAZO (KG)	PESO/RECEPCIÓN (KG)	PORCENTAJE DE VARIABILIDAD

Con los datos recopilados se procedió a realizar una prueba de normalidad, con el fin de verificar si dichos valores siguen una distribución normal. Los resultados se muestran en la Figura 2.2.

Figura 2.2: Prueba de normalidad del porcentaje de variabilidad.

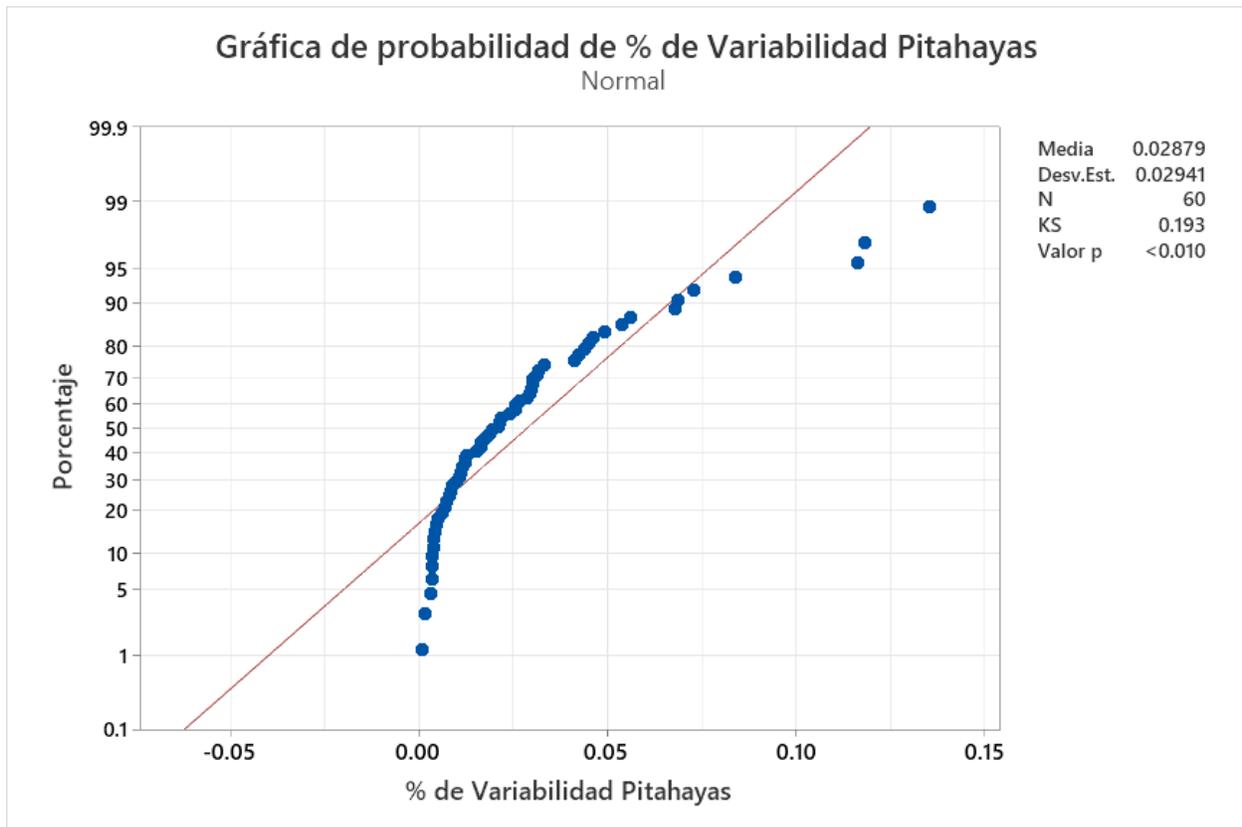


Con un valor p superior a 0.05, se puede indicar que los datos de variabilidad obtenidos siguen una distribución normal. Esto afirma que los datos son simétricos alrededor de la media, es decir, que los valores a la izquierda y a la derecha de la media se distribuyen de manera similar.

2.2.3 Normalidad de datos

Al igual que los datos recopilados, se realizó una prueba de normalidad a los datos históricos de la empresa, para ello se consideró los registros de empaque de pitahaya desde el mes de septiembre del año 2023 hasta diciembre del mismo año. Se contó con una muestra total de $N = 60$. Los resultados se muestran en la figura 2.3.

Figura 2.3: Prueba de normalidad del porcentaje de variabilidad



En este caso, el estudio de normalidad obtuvo un valor P inferior a 0.05. Es decir, es posible concluir que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una distribución normal. Lo que indica que puede haber asimetría en los datos, esto implica una distribución sesgada hacia la izquierda o la derecha. Concluyendo que es necesario una transformación de los datos para un posterior análisis de capacidad.

2.2.4 Prueba Mann - Whitney

Al identificar si los datos de variabilidad recopilados por los líderes del proyecto y los datos de variabilidad provenientes del registro histórico siguen o no una distribución normal, se prosigue a realizar un análisis comparativo mediante una prueba Mann – Whitney con el fin de verificar si existe una diferencia significativa entre ambos grupos. Los resultados se muestran en la Tabla 2-2.

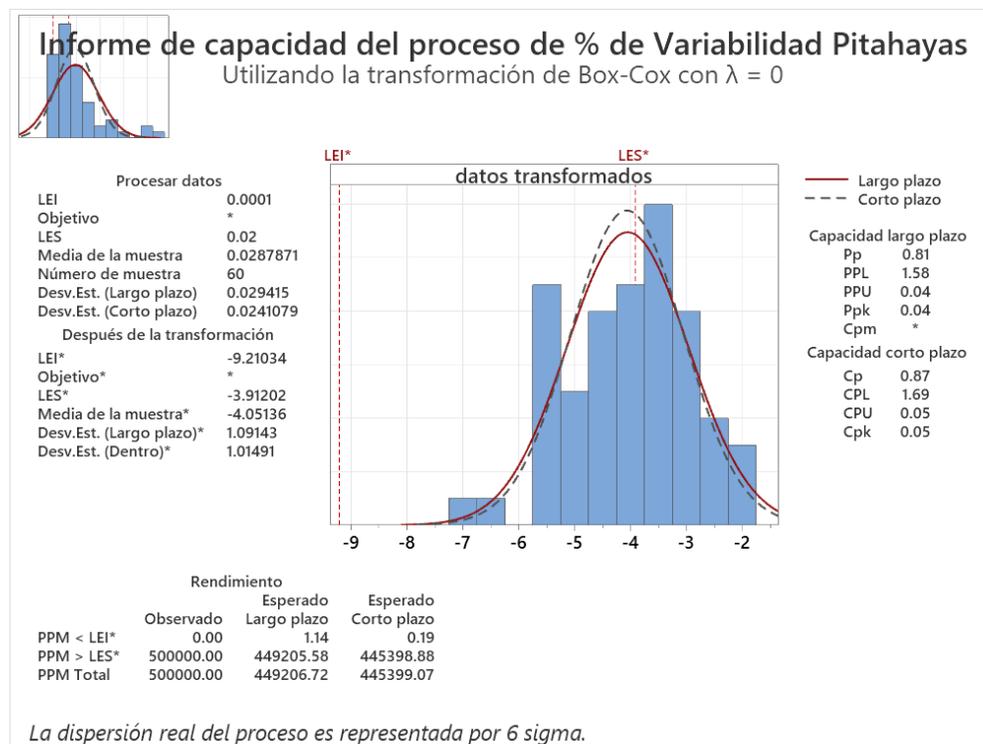
Tabla 2-2: Estadísticas de la prueba Mann - Whitney

Estadísticas descriptivas	Dato	
<i>Muestra</i>	<i>N</i>	<i>Mediana</i>
Porcentaje de variabilidad en pitahaya	8	0.0315567
Porcentaje de variabilidad en pitahayas	60	0.0204835
Estimación de la diferencia		
Diferencia	0.0103275	
Intervalo de confianza para la diferencia	(-0.0042594, 0.0268270)	
Confianza lograda	95.12%	
Prueba		
Hipótesis nula H_0	$\eta_1 - \eta_2 = 0$	
Hipótesis alterna H_1	$\eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
Valor W	361.00	
Valor P	0.108	

El resultado fue un valor $P = 0.108$ mayor a 0.05 , lo que no indica de manera robusta que no hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de que las distribuciones de los dos grupos son iguales al nivel de significancia típico de 0.05 . Esto sugiere que, con los datos disponibles, no se puede concluir que existe una diferencia significativa entre los dos grupos.

2.2.5 Análisis de capacidad

Figura 2.4: Análisis de capacidad del porcentaje de variabilidad.



Una vez realizado el análisis de capacidad a los datos históricos mediante una transformación Box-Cox con $\lambda = 0$ como se visualiza en la Figura 2.4. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- $P_p = 0.81$
- $P_{pk} = 0.04$
- $C_p = 0.87$
- $C_{pk} = 0.05$

Teniendo en cuenta la evaluación del proceso a largo plazo, se consideró analizar los resultados con respecto a los índices de rendimiento (P_p , P_{pk}). El P_p es el indicador encargado de medir la capacidad potencial del proceso sin considerar su ubicación. Un valor inferior a 1.33 indica que la variabilidad del proceso es mayor que el rango de especificación, en este caso un valor $P_p = 0.81$ sugiere que el proceso no es capaz de cumplir consistentemente con los límites de especificación. Por otro lado, el índice P_{pk} mide tanto la capacidad del proceso como su ubicación. Se calcula teniendo en cuenta la distancia entre la media del proceso y los límites de especificación. Un valor $P_{pk} = 0.04$ indica que el proceso no solo tiene una capacidad limitada, sino que también está significativamente descentrado. Es decir, el proceso necesita mejoras tanto en términos de reducir la variabilidad como en su centrado.

2.3 Análisis

La siguiente etapa del proyecto se centrará en el análisis de las posibles causas de la variabilidad entre los pesos de recepción y despacho. Para ello, es necesario implementar herramientas cualitativas como lluvias de ideas, diagrama de Ishikawa, AMEF y matriz impacto-esfuerzo. La utilización de estas herramientas proporciona un enfoque más claro

sobre la problemática, permitiendo identificar las causas raíz y, posteriormente, desarrollar posibles soluciones.

2.3.1 Lluvia de ideas

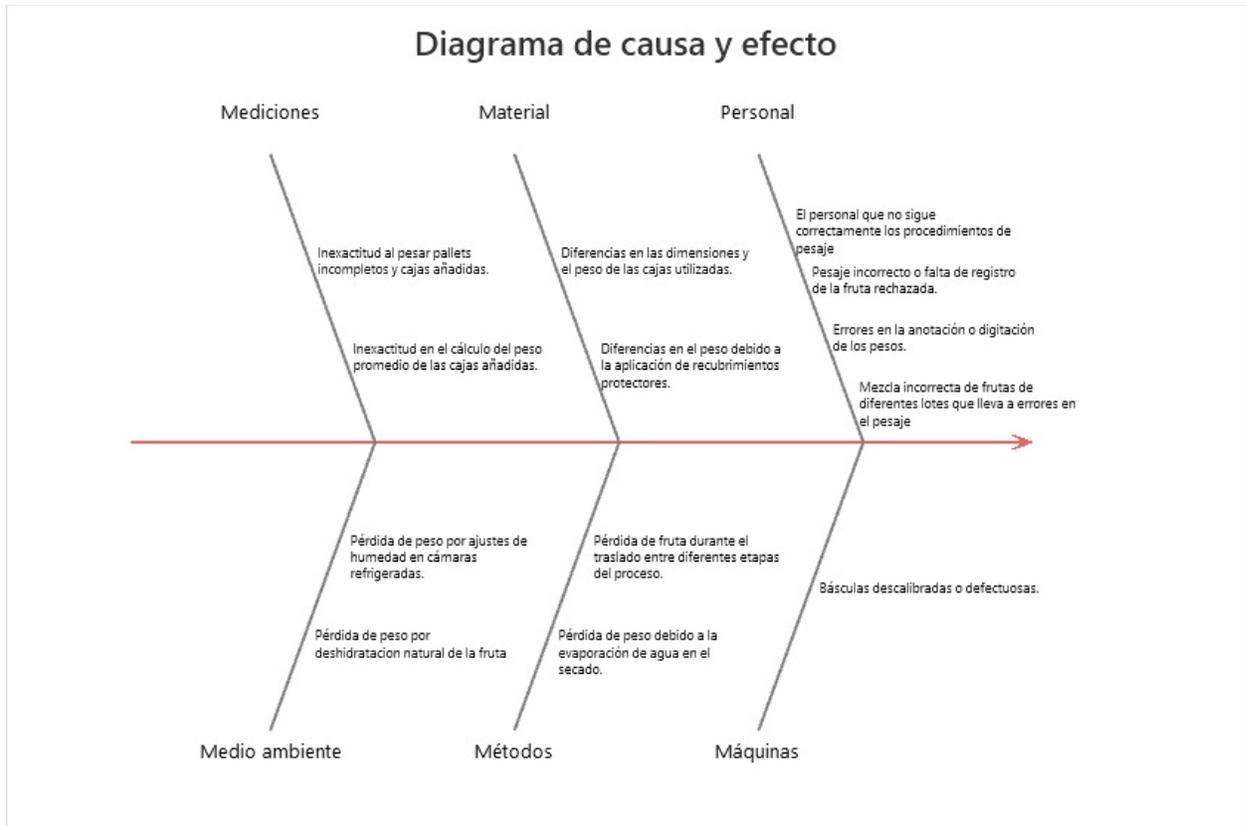
Ante la consideración de la variabilidad entre los pesos de recepción y despacho como una problemática, existen diferentes puntos de vista y opiniones por parte del personal operativo y administrativo. A continuación, en la Tabla 2-3 se presenta una lluvia de ideas basada en el conocimiento y experiencia de los supervisores de calidad y empaque, el jefe de desarrollo y el gerente de DUREXPORTA S.A.

Tabla 2-3: Lluvia de ideas de posibles causas

N.º	POSIBLES CAUSAS	TIPO DE CAUSA
1	El personal no sigue correctamente los procedimientos de pesaje.	Personal
2	Diferencias en las dimensiones y el peso de las cajas utilizadas.	Material
3	Pérdida de peso debido a la evaporación de agua en el secado.	Método
4	Pesaje incorrecto o falta de registro de la fruta rechazada.	Personal
5	Pérdida de peso por deshidratación natural de la fruta.	Método
6	Básculas descalibradas o defectuosas.	Máquina
7	Inexactitud al pesar pallets incompletos y cajas añadidas.	Medición
8	Errores en la anotación o digitación de los pesos.	Personal
9	Pérdida de fruta durante el traslado entre diferentes etapas del proceso.	Método
10	Pérdida de peso por ajustes de humedad en cámaras refrigeradas.	Medio Ambiente
11	Mezcla incorrecta de frutas de diferentes lotes que lleva a errores en el pesaje.	Personal
12	Diferencias en el peso debido a la aplicación de recubrimiento protectores.	Material
13	Inexactitud en el cálculo del peso promedio de las cajas añadidas.	Medición

2.3.2 Diagrama de Ishikawa

Figura 2.5: Diagrama de causa y efecto



Con base en el diagrama de Ishikawa, se clasificaron las posibles causas identificadas durante la lluvia de ideas según las categorías 6M: Método, Mano de obra, Material, Máquina, Medio ambiente y Medición. De estas, se seleccionaron siete ideas principales que se visualizan en la Tabla 2-4. Estas ideas serán evaluadas mediante una matriz causa-efecto con el objetivo de determinar las causas que tienen un mayor impacto en la problemática de la variabilidad entre los pesos de recepción y despacho.

Tabla 2-4: Posibles causas potenciales

POSIBLES CAUSAS
El personal no sigue correctamente los procedimientos de pesaje.
Pérdida de peso por deshidratación natural de la fruta.
Básculas descalibradas o defectuosas.
No consideración del peso total de los pedúnculos y desperdicios de la pitahaya
Pérdida de peso por ajustes de humedad en cámaras refrigeradas.
Mezcla incorrecta de frutas de diferentes lotes que lleva a errores en el pesaje.
Inexactitud en el cálculo del peso promedio de las cajas añadidas.

2.3.3 Matriz Causa - Efecto

Para realizar una matriz Causa – Efecto se considera asignar una puntuación con su respectivo impacto a cada una de las causas obtenidas previamente de la lluvia de ideas, en donde el valor más bajo será cero la cual indica que no tendrá ningún impacto y el valor más alto será 9 donde se considera que su impacto afecta directamente al problema.

Tabla 2-5: Puntuación para calificar las causas según su impacto

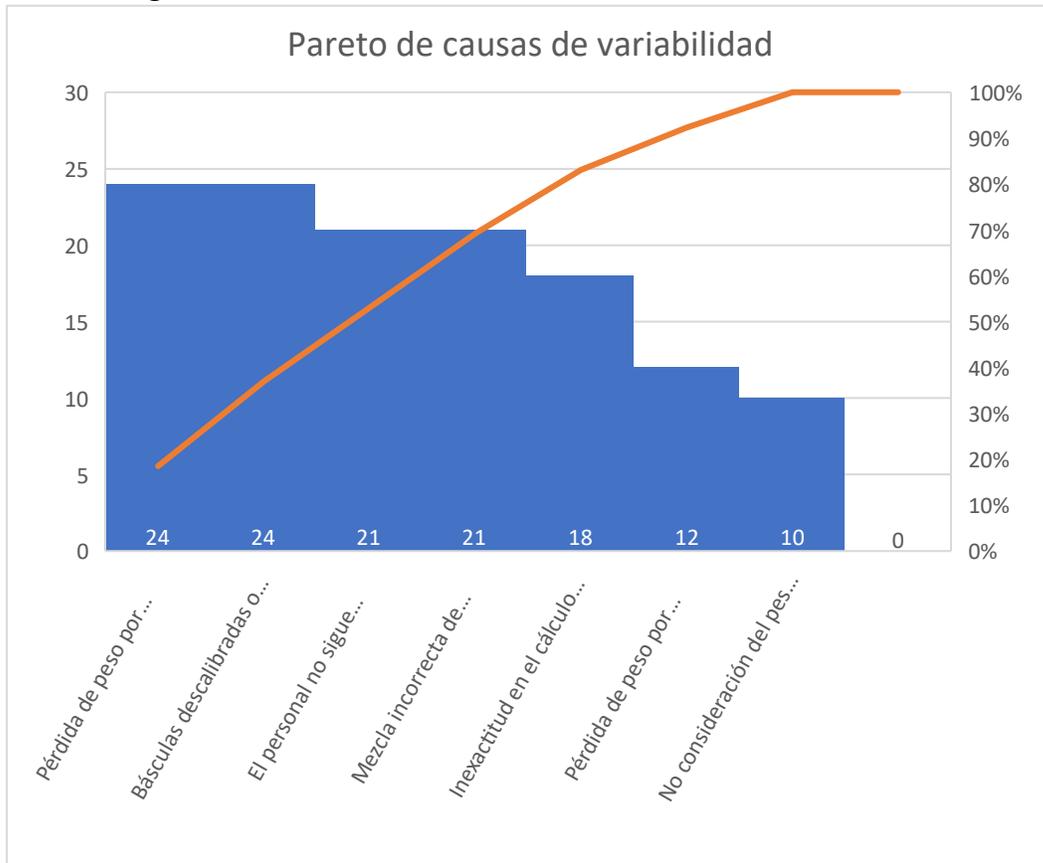
PUNTAJE	IMPACTO
0	Ningún impacto
1	Bajo impacto
3	Medio impacto
9	Alto impacto

Figura 2.66: *Matriz Causa - Efecto*

Variable	Causas	Gerente	Jefe de desarrollo	Supervisor de empaque	Supervisor de calidad	TOTAL
1	El personal no sigue correctamente los procedimientos de pesaje	3	9	0	9	21
2	Pérdida de peso por deshidratación natural de la fruta	9	3	9	3	24
3	Básculas descalibradas o defectuosas	3	9	9	3	24
4	No consideración del peso total de los desperdicios del pedúnculo	3	3	1	3	10
5	Pérdida de peso por ajustes de humedad en cámaras refrigeradas	3	3	3	3	12
6	Mezcla incorrecta de frutas de diferentes lotes que conlleva a errores de pesaje	9	9	3	0	21
7	Inexactitud en el cálculo de peso promedio de las cajas añadidas	3	3	3	9	18

2.3.4 *Diagrama de Pareto*

Figura 2.77: *Diagrama de Pareto de causas de variabilidad.*



Conforme a las calificaciones asignadas a las causas seleccionadas para la matriz causa-efecto por parte de los supervisores de empaque y calidad, el jefe de desarrollo y el gerente, se realizó un diagrama de Pareto. Este diagrama permite identificar cuáles son las causas con mayor impacto según el personal. El análisis reveló que las causas con mayor impacto, en orden de importancia, son:

- 1) Pérdida de peso por deshidratación natural de la fruta.
- 2) Básculas descalibradas o defectuosas.
- 3) El personal no sigue correctamente los procedimientos de pesaje.
- 4) Mezcla incorrecta de frutas de diferentes lotes, lo que conlleva errores en la asignación de pesos.

2.3.5 Plan de verificación de causas

Figura 2.88: Plan de verificación de causas.

CAUSAS	CONTROL	IMPACTO EN LA VARIABLE Y	MÉTODO DE VERIFICACIÓN	ESTATUS
Pérdida de peso por deshidratación natural de la fruta	MEDIO	Los procesos por los que atraviesa la fruta producen una deshidratación considerable que afecta al balance de masas.	GEMBA – medir el peso de una muestra de fruta al inicio y al final del proceso.	Completado
Mezcla incorrecta de frutas de diferentes lotes que conlleva a errores de pesaje	MEDIO	Colocar cajas de frutas en distintos pallets afecta el peso registrado en recepción.	GEMBA – Interactuar con el personal encargado del apilamiento y conteo de las cajas en los pallets.	Completado
El personal no sigue correctamente los procedimientos de pesaje	ALTO	La incorrecta manipulación y colocación de los pallets en las básculas ocasionan pesos erróneos.	GEMBA – Interactuar con el personal encargado del pesaje para determinar si realizan el proceso correctamente.	Completado
Básculas descalibradas o defectuosas	MEDIO	Si las básculas del proceso de recepción y empaque están descalibradas reflejan un peso erróneo que afecta directamente al balance de masa.	Análisis estadístico de repetibilidad y reproducibilidad en las básculas.	Completado

2.3.5.1 Verificación de causa *“Pérdida de peso por deshidratación en la cámara de enfriamiento”*

Mediante inspecciones realizadas en planta (GEMBA), se validó que la deshidratación afecta la variabilidad entre los pesos de recepción y despacho, dependiendo del estado de la fruta y los días transcurridos desde la cosecha. Usualmente, la fruta procedente de las fincas productoras lleva poco tiempo desde su cosecha, por lo que la deshidratación natural tiene un impacto mínimo. Sin embargo, es importante mencionar que la deshidratación juega un papel fundamental cuando la fruta ya está almacenada en las cámaras de frío. En esta etapa, la pérdida de peso por deshidratación se vuelve más significativa, contribuyendo a la variabilidad observada.

Figura 2.99: *Pitahaya recibida antes del proceso de empaque*



Se llevó a cabo una práctica experimental para determinar el porcentaje de deshidratación en las cámaras de frío. Para ello, se registró el peso de los pallets antes de ingresarlos a la cámara y, tras dos días bajo condiciones controladas de 8.4 °C y 77% de humedad relativa, se volvió a pesar el mismo pallet. El análisis reveló un promedio de deshidratación del 68% después de este período.

Tabla 2-6: *Porcentaje de deshidratación de un lote dividido en pallets*

TEMPERATURA	8.4 °C		HR	77%
PALLET	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DIFERENCIA EN PESO	% DESHIDRATACION
97796	340,20	337,60	2,60	0,76%
97797	285,20	283,20	2,00	0,70%
97798	307,80	305,60	2,20	0,71%
97799	178,20	177,20	1,00	0,56%
97800	183,60	182,40	1,20	0,65%
97801	113,20	112,40	0,80	0,71%
			PROMEDIO	0,68%

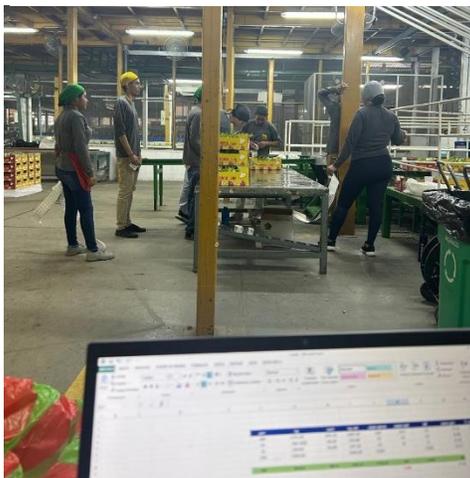
Dado que la temperatura es el único factor controlable dentro de la cámara, la cual debe mantenerse entre 7 °C y 10 °C, y considerando que la humedad relativa recomendada para la pitahaya se sitúa entre 85% y 90%, se puede concluir que la baja humedad relativa del ambiente es el principal factor que afecta directamente la deshidratación

2.3.5.2 Verificación de causa “Mezcla incorrecta de frutas en diferentes pallets.”

Para obtener el peso de despacho, se pesa el pallet total considerando la tara del pallet de madera y las cajas de cartón. El peso neto se divide entre el número total de cajas para obtener un peso promedio por caja, y se asigna el peso a un lote dependiendo de cuántas cajas de dicho lote hay en ese pallet.

Mediante un análisis Gemba, se validó que un pallet contenía 11 cajas, de las cuales 7 pertenecían al lote 8050 y 3 al lote 8051. Estas cajas tenían un peso promedio de 4.44 kg. Sin embargo, el liquidador de turno no asignó correctamente las cajas a cada lote, designando las 11 cajas al lote 8050. Este error provocó que el lote 8051 tuviera un déficit mínimo de 13.32 kg debido a las 3 cajas ausentes.

Figura 2.1010: Operadores colocan las frutas en los pallets



2.3.5.3 Verificación de causa *“El personal realiza incorrectamente el procedimiento de pesaje.”*

Para la verificación se realizó un análisis estadístico de repetibilidad y reproducibilidad con el método de promedios y rangos, donde se recolectaron los pesos de distintos objetos que pesaron dos operados en tres intentos.

Después de realizar los respectivos cálculos se obtuvo que el porcentaje del estimador R&R fue de 16.79 % el cual está entre el rango del 10 al 30 por ciento e indica que el proceso es condicionalmente aceptable. Es decir, se puede continuar usándolo, pero posibles mejoras deberían ser analizadas.

Figura 2.1111: *Operador realiza proceso de pesado en báscula de recepción*



Tabla 2-7: Datos recolectados del análisis de repetibilidad y reproducibilidad del operador 1

OPERADOR 1	OBJETO								
INTENTO	GAVETAS	PESOPATRÓN	PALLET	GAVETAS	PESOPATRÓN	PALLET	GAVETAS	PESOPATRÓN	PALLET
1	65,4	1113,8	95,2	65	1114	95	65,2	1131,4	95
2	65,2	1113,8	95,2	65	1113,6	95	65,2	1131,4	95
3	65,2	1113,6	95,2	65	1113,6	95	65,2	1131,4	95
PROMEDIO	65,27	1113,73	95,20	65,00	1113,73	95,00	65,20	1131,40	95,00
RANGO	0,2	0,2	0	0	0,4	0	0	0	0

Tabla 2-8: Datos recolectados del análisis de repetibilidad y reproducibilidad del operador 2

OPERADOR 2	OBJETO								
INTENTO	GAVETAS	PESOPATRÓN	PALLET	GAVETAS	PESOPATRÓN	PALLET	GAVETAS	PESOPATRÓN	PALLET
1	65,8	1113,4	95,4	65	1113,4	95	65	1131,4	95
2	65,6	1113,4	95,2	65	1113,4	95	65	1131,4	95
3	65,6	1113,6	95,2	65	1113,6	95	65	1131,4	95
PROMEDIO	65,67	1113,47	95,27	65,00	1113,47	95,00	65,00	1131,40	95,00
RANGO	0,2	0,2	0,2	0	0,2	0	0	0	0

Luego de obtener los datos se procede a calcular los promedios por objeto y por operador, además del rango de los de cada objeto.

$$VE = 5,15 \frac{R}{d_2} = 0,27$$

Para obtener el estimador VO se requiere conocer que N es el número de operadores con los que se realizó el análisis y Rx es el promedio entre el rango de los de cada objeto y el promedio del operador.

$$VO = \sqrt{(R_x K_2) - \frac{VE^2}{NR}} = 0,09$$

$$R\&R = \sqrt{VE^2 + VO^2} = 0,29$$

El valor Rp hace referencia al rango de los objetos

$$VP = R_p K_3 = 1794,76$$

$$VT = \sqrt{R\&R^2 + VP^2} = 1,71$$

$$\%R\&R = 100 \frac{R\&R}{VT} = 16,79$$

2.3.5.4 Verificación de causa **“Las básculas están descalibradas o defectuosas.”**

El proceso de calibración de balanzas se realiza diariamente mediante el uso de pesos patrón establecidos y proporcionados por la empresa proveedora de las básculas. Estos pesos se colocan en la balanza, y si la balanza marca el peso correspondiente (en este caso, 1131.6 kg), se considera calibrada. En caso contrario, el operador encargado de la calibración ajusta el equipo electrónico de la báscula hasta que esta marque el peso patrón establecido. Mediante una inspección visual tipo Gemba, se verificó que el procedimiento descrito se lleva a cabo correctamente. Se observó que, aunque las balanzas son calibradas, existen pequeñas variaciones entre ellas, que oscilan entre 0.2 kg y 0.4 kg, las cuales se consideran aceptables.

Figura 2.1212: Operador realiza calibración de báscula



2.3.6 Metodología 5 por qué

Después de verificar cada una de las posibles causas se procedió a realizar un análisis de causa de la raíz en donde se empleó la metodología cinco por qué para determinar a qué factor se atribuyen que las causas potenciales se produzcan.

Tabla 2-9: Metodología Cinco porqués

CAUSA POTENCIAL	PREGUNTAS			
Pérdida de peso por deshidratación en la cámara de enfriamiento	¿Por qué la fruta perdió peso por la deshidratación?	¿Por qué la fruta pierde agua durante su almacenamiento?	¿Por qué la fruta está expuesta a condiciones ambientales que favorecen la evaporación?	¿Por qué las cámaras de frío no tienen un control de humedad adecuado?
	Porque la fruta pierde agua durante el almacenamiento.	Porque la fruta está expuesta a condiciones ambientales que favorecen la evaporación.	Porque las cámaras de frío no tienen un control de humedad adecuado.	Porque el sistema de control de humedad no está calibrado correctamente o no se le da mantenimiento regular.
Mezcla incorrecta de frutas en diferentes pallets	¿Por qué sucede la mezcla incorrecta de frutas entre lotes?	¿Por qué en los pallets hay cajas de frutas de distintos lotes?	¿Por qué hay errores en el conteo de las cajas?	¿Por qué los operadores cometen errores durante el conteo manual?

	<p>Porque en los pallets hay cajas de frutas de distintos lotes</p>	<p>Porque hay errores en el conteo de cajas</p>	<p>Porque los operadores cometen errores durante el conteo manual</p>	<p>Porque no se ha establecido una adecuada metodología de conteo</p>
--	---	---	---	---

3 Capítulo III

3.1 Resultados y análisis

3.1.1 Mejora

3.1.1.1 Soluciones propuestas.

Luego de verificar las causas potenciales, se descartaron aquellas que no tenían relevancia o no afectaban significativamente al porcentaje de variabilidad de la diferencia de peso de entrada y de salida, de este modo mediante la metodología del 5 porqué se encontró la causa raíz de cada una de las causas potenciales, posteriormente se analizaron con los miembros de la empresa y se establecieron las siguientes soluciones propuestas.

Tabla 3-1: Soluciones propuestas para cada causa raíz.

CAUSAS POTENCIALES	CAUSA RAIZ	SOLUCIONES PROPUESTAS
Pérdida de peso por deshidratación en las cámaras de refrigeración.	No hay un Sistema de control de humedad en las cámaras de refrigeración	Instalación de un Sistema de control de humedad en las cámaras de refrigeración.
Mezcla incorrecta de frutas en diferentes pallets	No se ha establecido una metodología adecuada de conteo manual.	Registro del número de cajas apiladas por tamaño en los pallets.
		Uso de señaléticas para la coordinación entre contar y colocar cajas en los pallets.
		Mejora de la metodología de apilamiento de cajas en los pallets.

3.1.1.2 *Análisis financiero de costos.*

Para cada solución propuesta se debe evaluar los costos de equipo si dicha solución requiere de la compra o del abastecimiento de alguna máquina o suministro, por otro lado 3 soluciones requieren de la capacitación del personal por lo que se considera un tiempo de entrenamiento y como el personal recibe un salario de \$2.5 por hora se realiza el cálculo del costo de capacitación a un total de 30 operadores.

Tabla 3-2: *Análisis financiero de cada solución propuesta*

N.º	SOLUCIONES PROPUESTAS	COSTO DEL EQUIPO (\$)	TIEMPO DE ENTRENAMIENTO	COSTO DE CAPACITACIÓN (\$/HORA)	COSTO TOTAL (\$)
1	Instalación de un Sistema de control de humedad en las cámaras de refrigeración.	1500,00	2 horas	N/A	1500,00
2	Registro del número de cajas apiladas por tamaño en los pallets.	360,00	1 hora	2,50	435,00
3	Uso de señaléticas para la coordinación entre contar y colocar cajas en los pallets.	25,00	3 horas	7,50	250,00
4	Mejora de la metodología de apilamiento de cajas en los pallets.	N/A	3 horas	7,50	225,00

3.1.1.3 *Matriz de priorización Impacto – Esfuerzo.*

La Matriz de priorización Impacto - Esfuerzo permite clasificar cada solución considerando el nivel de dificultad de poder realizarla y también considera si dicha solución impacta significativamente al problema, se considera óptimo que aquella solución que requiera un menor esfuerzo y tenga un mayor impacto se ejecute primero, pero para este proyecto se realizarán las cuatro soluciones propuestas.

Figura 3.1: *Matriz Impacto - Esfuerzo de las soluciones propuestas*

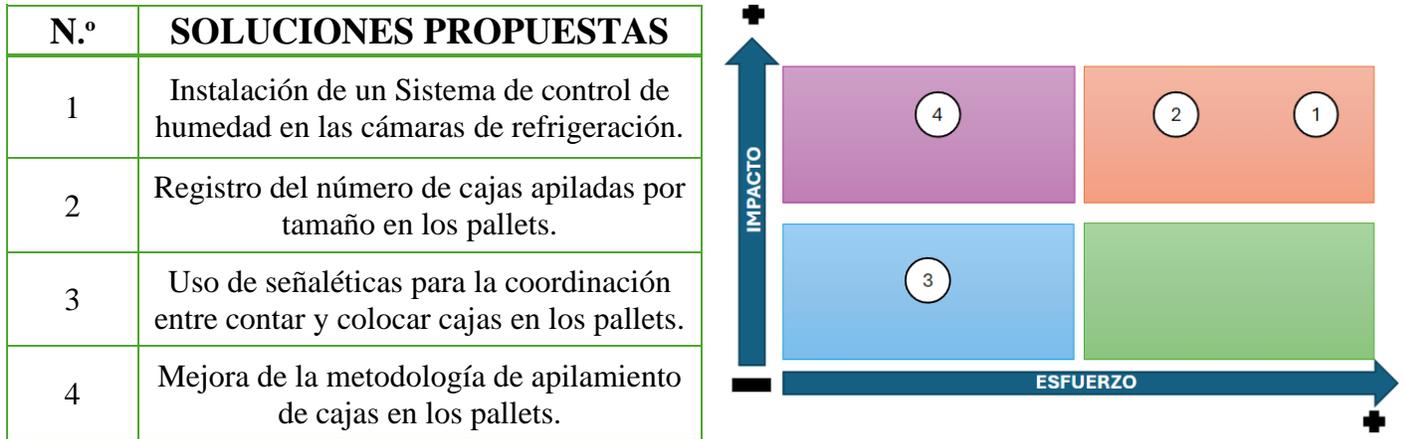


Tabla 3-3: *Referencia numérica para cada solución propuesta*

3.1.1.4 *Plan de Implementación.*

Después de conocer los costos de implementar cada solución se realiza un plan de implementación que facilita la información de cómo y dónde se llevará a cabo la ejecución de cada una de las soluciones.

Tabla 3-4: Plan de implementación para las soluciones propuestas.

CAUSA RAIZ	SOLUCIÓN	POR QUÉ	CÓMO	DÓNDE	CUANDO	QUIÉN
No hay un Sistema de control de humedad en las cámaras de refrigeración	Instalación de un Sistema de control de humedad en las cámaras de refrigeración.	La humedad relativa en las cámaras de almacenamiento es fundamental para minimizar la deshidratación.		Cámara de refrigeración	Agosto 2024	Personal operativo
No se ha establecido una metodología adecuada de conteo manual.	Registro del número de cajas apiladas por tamaño en los pallets.	El conteo se realiza al final del proceso sin registros previos	Simulación del uso de scanner por medio de clickers.	Área de empaque	Agosto 2024	Personal operativo
	Uso de señaléticas para la coordinación entre contar y colocar cajas en los pallets.	Los operadores añaden cajas sin el conocimiento del liquidador	Usar señales para indicar cuando se puede colocar cajas y cuando no se puede.	Área de empaque	Agosto 2024	Personal operativo
	Mejora de la metodología de apilamiento de cajas en los pallets.	No existe un protocolo de apilamiento establecido	Establecer una metodología adecuada para el apilamiento de cajas.	Área de empaque	Agosto 2024	Personal del proyecto

3.1.2 Resultados de las soluciones propuesta

Luego de evaluar las causas por las que se producía la variabilidad entre el peso de entrada y el peso de salida, se desarrolló una metodología que permita reducir la cantidad de errores más comunes que realizaban los operadores durante el proceso de empacar las frutas en las cajas, además se consideró aspectos como: ergonomía, movilización de carga y estandarización de actividades.

3.1.2.1 Registro del número de cajas apiladas por tamaño en los pallets.

El uso de lectores de código de barras permite registrar cada caja que ha sido empacada según el tamaño de la fruta, esto permite tener un conocimiento del número exacto de cajas que han sido procesadas y colocadas en los respectivos pallets, de esta manera se reduce el riesgo de equivocaciones por contar manualmente.

Antes de emplear físicamente dichos lectores de código de barras se realizó una simulación con la ayuda de clickers, los cuales son contadores manuales que almacenan un número determinado según la cantidad de veces que se ha pulsado el botón.

Durante la implementación se evidenciaron distintos aspectos a considerar, por un lado, la utilización de clickers no afecta al tiempo de ciclo de otras actividades, pero al tratarse de un mecanismo no automatizado los errores humanos tales como: distracción, falta de atención, cansancio, entre otros siguen presentes, sin embargo, en los procesamientos de lotes en los que fueron empleados estos clickers se pudo observar que al finalizar el proceso de empacado, el operador podía realizar el conteo tradicional de cajas por cada pallet y compararlo con el número que estaba presente en los clickers, en caso de existir alguna equivocación de conteo procedía a

realizar una vez más el conteo para asegurarse de haberlo realizado correctamente y no reportar una cantidad equivocada de cajas que afecte al cálculo del balance de masa.

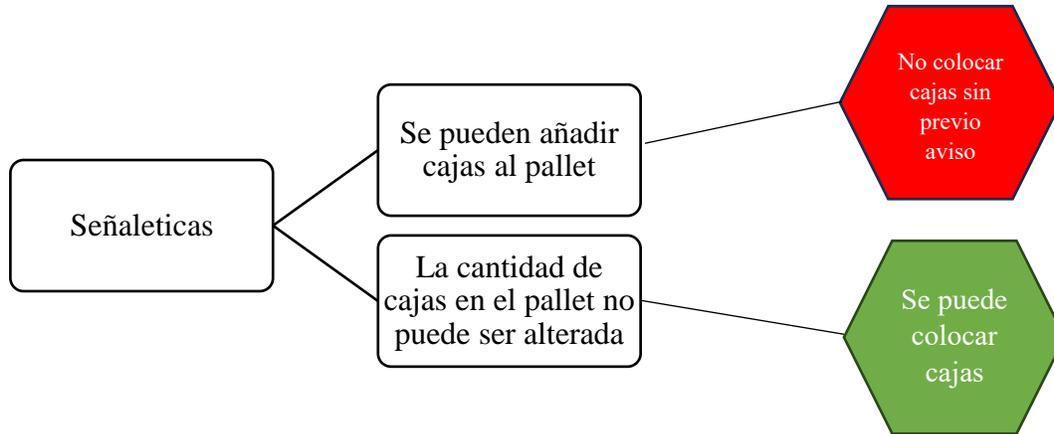
Figura 3.2: *Operador coloca cajas en los pallets y utiliza el clicker para llevar un registro de la cantidad exacta.*



3.1.2.2 Uso de señaléticas para la coordinación entre contar y colocar cajas en los pallets.

Un error típico existente cuando hay dos o más lotes listos para el procesamiento es cuando la persona encargada de realizar el conteo de cajas que hay en un pallet no se percató que otro operador ha colocado cajas sin previo aviso, por lo cual se produce una mezcla entre distintos lotes, lo que conlleva a que uno tenga más cajas que el otro y esto afecta a la variabilidad de peso, ya que el peso promedio de una sola caja de pitahaya es de 4.4 Kg.

Para ello, se hizo uso de señaléticas de distintos colores que contienen información visual para que los operadores puedan saber cuándo ellos pueden colocar cajas en los pallets sin afectar al conteo. La persona encargada de realizar el conteo será asignada para colocar las señaléticas en cada pallet según él lo crea conveniente.



Para la implementación de las señaléticas se les notificó a todos los operadores el motivo por la cual se colocarían dichas señales en la parte frontal de cada pallet, además también se los capacitó para la reestructuración de la metodología.

Figura 3.3: *Operador coloca señaléticas en los pallets durante el conteo de cajas*



3.1.2.3 Mejora de la metodología de apilamiento de cajas en los pallets.

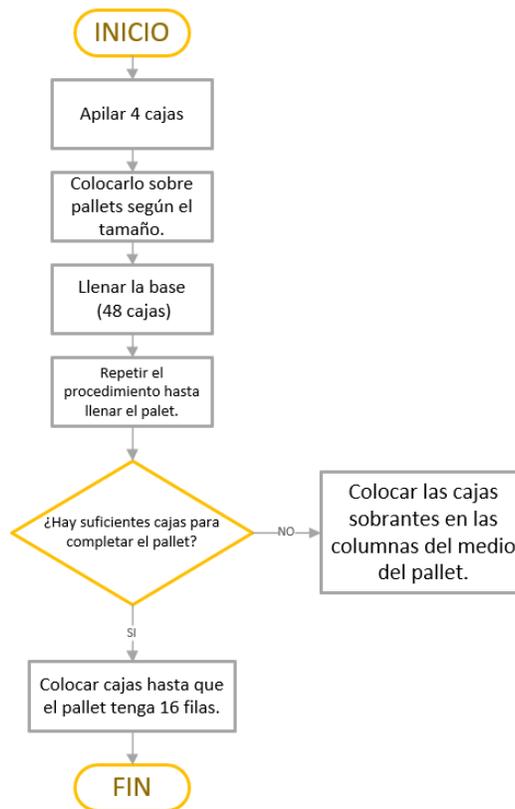
Otra causa de error que se pudo percibir por parte del personal era la manera en cómo apilaban las cajas en los pallets, la cantidad de cajas en diferentes columnas era distintas, por lo cual contar o ubicar más cajas no era muy eficiente.

Figura 3.4: *Pallets desorganizados sin una cantidad homogénea de cajas por columna.*



Se realizó el diagrama de flujo de la metodología a implementar para analizar si se debiera modificar los pasos o tomar en cuenta alguna irregularidad que provoque más errores al momento de apilar las cajas.

Figura 3.5: *Diagrama de flujo de la metodología de apilamiento de cajas*



Finalmente se elaboró la guía de pasos detallados de la metodología para apilar las cajas.

1. El operador apilará manualmente 4 cajas.
2. El operario transportará las cajas apiladas y las colocará sobre el palet, empezando por la esquina.
3. El operador debe llenar completamente las primeras 4 filas antes de comenzar a colocar las demás cajas.
4. Después de completar un bloque de 48 cajas, el operador comenzará a colocar las cajas en las columnas del medio y continuará llenando los lados.
5. A partir de la fila número 9, los operadores deberán utilizar una escalera para colocar las demás cajas sobre el pallet, repitiendo los pasos anteriores.
6. Se colocará la malla y las esquinas de cartón, se continuará el proceso hasta obtener 16 filas.

Con la aplicación de esta metodología se logró que la unidad de carga sea uniforme, lo que permite tener un mejor control visual en los pallets para realizar distintas actividades, además esto facilita el conteo y mejora la organización.

Figura 3.6: *Pallets con cantidad homogénea de cajas por columna después de aplicar la metodología*



3.1.2.4 *Resultados de implementación de soluciones 1,2,3*

Para demostrar las mejoras alcanzadas con las soluciones propuestas, es esencial realizar una comparación entre los datos históricos y los datos recopilados después de la implementación de las soluciones, calculando la variabilidad en ambas muestras. Este cálculo abarca los cuatro aspectos principales de un lote: el peso de recepción, que es el peso en kilogramos de la pitahaya recibida en la empresa desde las fincas productoras; el peso de rechazo, que corresponde al peso en kilogramos de la pitahaya no apta para la exportación; el número de cajas de pitahaya procesada; y el peso estimado de empaque, calculado como la cantidad total de cajas por lote multiplicada por el peso promedio estandarizado de cada caja. La variabilidad se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ variabilidad} = \frac{(\text{peso de recepción} - \text{peso de rechazo} - \text{peso estimado de empaque})}{\text{peso de recepción}} \times 100$$

Tabla 3-5: pesos de cada uno de los factores de la ecuación de variabilidad antes de la implementación de la metodología

No. Muestra	Peso de lote en recepción (kg)	Peso de rechazo (kg)	Cantidad de cajas empaquetadas	Peso estimado de empaque	Variabilidad entre pesos de recepción y empaque (%)
1	193.7	37.5	34	152.32	2.00%
2	843.1	149.8	153	676.26	2.02%
3	770.8	134.2	136	621.52	1.96%
4	309.7	65	53	239.03	1.83%
5	1093.5	142.8	211	932.62	1.65%
6	1069.2	278.1	171	774.63	1.54%
7	1218.8	513	154	688.38	1.43%
8	789.6	91.4	152	687.04	1.41%
9	779.1	45.6	160	723.2	1.32%

La Tabla 3-5 indica una variabilidad promedio del 1.69% entre los pesos de recepción y los pesos estimados de empaque, en relación con los datos históricos.

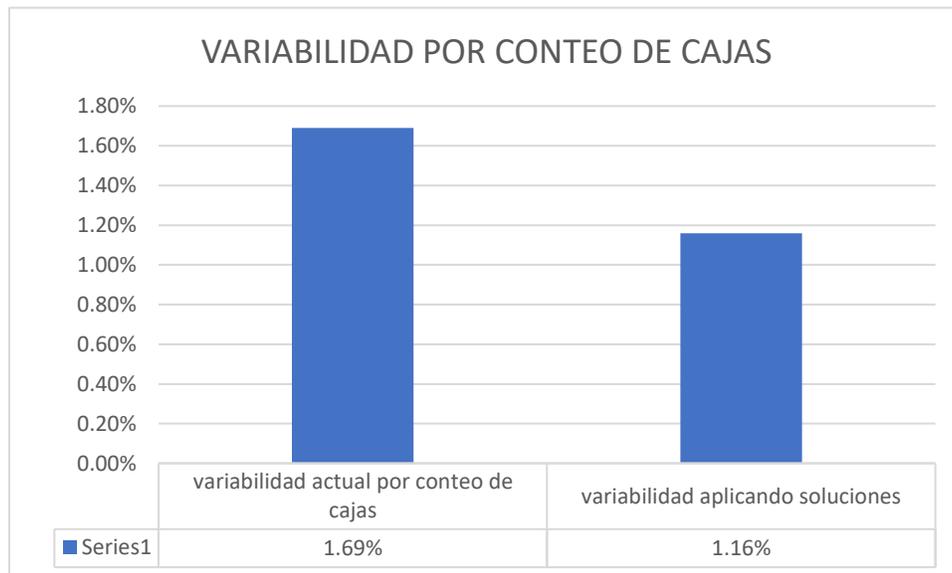
Se procede a realizar el cálculo de variabilidad entre pesos de recepción y empaque para las 4 muestras recopiladas implementando las soluciones.

Tabla 3-6: pesos de cada uno de los factores de la ecuación de variabilidad después de la implementación de la metodología

No. Muestra	Peso de lote en recepción (kg)	Peso de rechazo (kg)	Cantidad de cajas empaquetadas	Peso estimado de empaque (kg)	Variabilidad entre pesos de recepción y empaque (%)
1	755.9	430.4	71	319.5	0.79%
2	2958.4	197	616	2710.4	1.72%
3	600	349	57	245.1	0.98%
4	927	525.2	91	391.3	1.13%

El análisis de las muestras tomadas tras la implementación de las soluciones mostró una disminución promedio de la variabilidad a un 1.16% entre los pesos de recepción y los pesos estimados de empaque.

Figura 3.7: Gráfica de barras de la variabilidad por conteo de cajas antes y después de emplear la metodología



El diagrama de barras mostrado en la Figura 3.7 evidencia una reducción en el porcentaje de variabilidad de 1.69% a 1.16%, lo cual indica una mejora significativa en este aspecto. Sin embargo, es importante señalar que el número de muestras tomadas después de implementar las soluciones no es lo suficientemente grande para concluir con certeza que esta mejora es estadísticamente significativa o representativa de una tendencia real.

3.1.2.5 Instalación de un sistema de control de humedad en las cámaras de refrigeración.

La pitahaya es una fruta que en cuya composición aproximadamente el 85% es agua, por lo cual, se realizó una investigación para tener conocimiento de cuál es el rango óptimo de humedad relativa que debería estar presente en las cámaras de refrigeración para alargar la conservación de la pitahaya roja y reducir la deshidratación por día, esto permitiría que la pitahaya no pierda una cantidad significativa de agua por ende su peso no se reduciría tanto.

Se recomienda almacenar los frutos de pitahaya a 7-12°C y 85- 90 % de humedad relativa. Bajo estas condiciones, la vida de anaquel puede extenderse 22 – 25 días a partir de la cosecha hasta el consumo (OIRSA , 2000)

Figura 3.8: *Sistema de humidificadores instalado en las cámaras de refrigeración.*



Con la instalación de este sistema comparamos el porcentaje de deshidratación de un lote de pitahaya pesado antes de la instalación del sistema de humidificación con un lote de pitahaya pesado después de la instalación bajo los siguientes parámetros.

Se dividió el lote en 6 pallets de acuerdo al tamaño de la fruta, cada pallet fue pesado antes de almacenarlo en la cámara de refrigeración obteniendo de esta manera el Peso inicial en kilogramos, luego de 2 días almacenado a una temperatura promedio de 8.4°C se procedió a pesar nuevamente cada pallet para obtener el peso final en kilogramos, luego se realizó una resta entre ambos pesos recolectados y se obtuvo la diferencia de peso que ha perdido cada lote , para la recolección de estos datos se midió la humedad relativa presente durante los 2 días obteniendo una humedad relativa del 77%, finalmente el promedio del porcentaje de deshidratación por pallet es de 0,68%.

Tabla 3-7: Pesos iniciales y finales de distintos pallets después de dos días a una humedad relativa de 77%

TEMPERATURA	8.4 °C		HUMEDAD RELATIVA	77%
	PESO INICIAL	PESO FINAL	DIFERENCIA DE PESO (KG)	PORCENTAJE DE DESHIDRATACIÓN
Nº PALLET	(KG)	(KG)		N
97796	340,20	337,60	2,60	0,76%
97797	285,20	283,20	2,00	0,70%
97798	307,80	305,60	2,20	0,71%
97799	178,20	177,20	1,00	0,56%
97800	183,60	182,40	1,20	0,65%
97801	113,20	112,40	0,80	0,71%
			PROMEDIO	0,68%

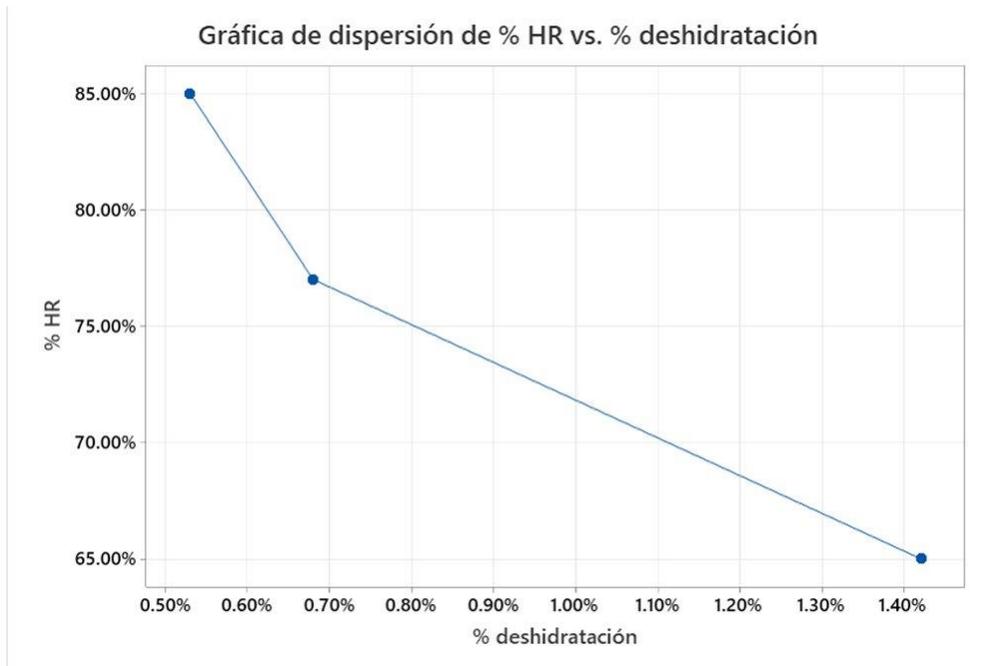
Luego de implementar el sistema de humidificadores y siguiendo las indicaciones de las investigaciones correspondientes a la humedad optima que debería tener la cámara de refrigeración para prolongar la conservación de la pitahaya y reducir la cantidad de deshidratación, se calibró el sistema para que permanezca en un rango entre 85% y 90%, en caso de que la humedad se saliera de este rango el humidificador actuaría inmediatamente logrando nivelar la humedad en el rango permitido. Un nuevo lote fue pesado antes de almacenarlo en las cámaras de refrigeración y dos días después nuevamente para conocer la diferencia de peso de cada pallet, en esta ocasión solo fue posible dividir dicho lote en 3 pallets, debido a que la fruta no era adecuada para otro tipo de calibres. Durante este periodo el sistema de humidificadores mantuvo un promedio de 87% en la humedad relativa a una temperatura de 12 °C, el promedio de deshidratación por pallet se redujo a 0,53%.

Tabla 3-8: Pesos iniciales y finales de distintos pallets después de dos días a una humedad relativa de 87%

TEMPERATURA		12 °C		HUMEDAD RELATIVA	87%
Nº PALLET	PESO INICIAL (KG)	PESO FINAL (KG)	DIFERENCIA DE PESO (KG)	PORCENTAJE DE DESHIDRATACIÓN	
97833	939,80	935,30	4,90	0,48%	
97834	139,26	138,50	0,76	0,55%	
97835	224,10	222,80	1,30	0,58%	
			PROMEDIO	0,53%	

De esta forma se comprobó la importancia de la humedad relativa en las cámaras de refrigeración, en el siguiente gráfico se puede observar que a medida que la humedad relativa baja habrá una mayor deshidratación en la fruta y por lo tanto mayor pérdida de peso.

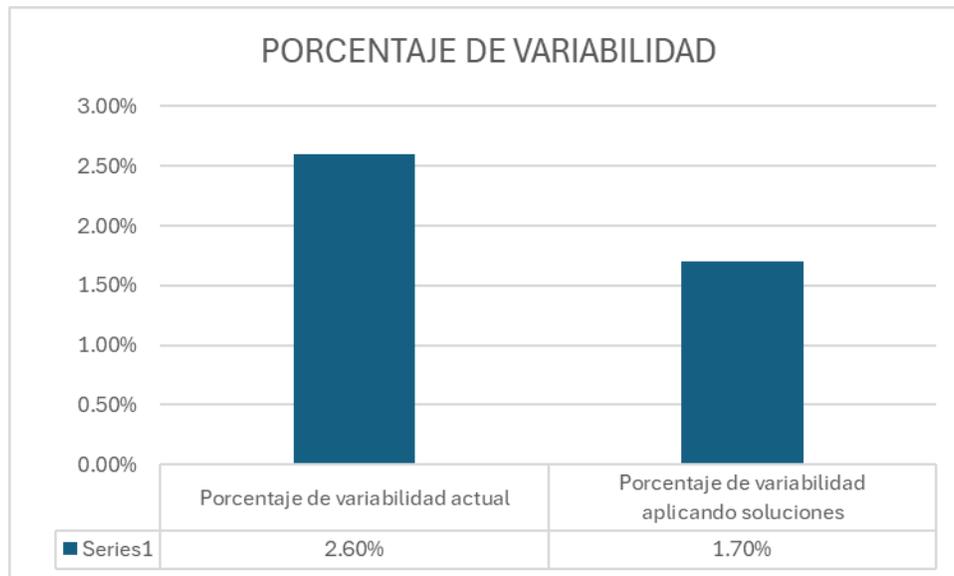
Figura 3.9: Gráfica de dispersión de la humedad relativa y el porcentaje de deshidratación por lote



3.1.2.6 Resultados generales

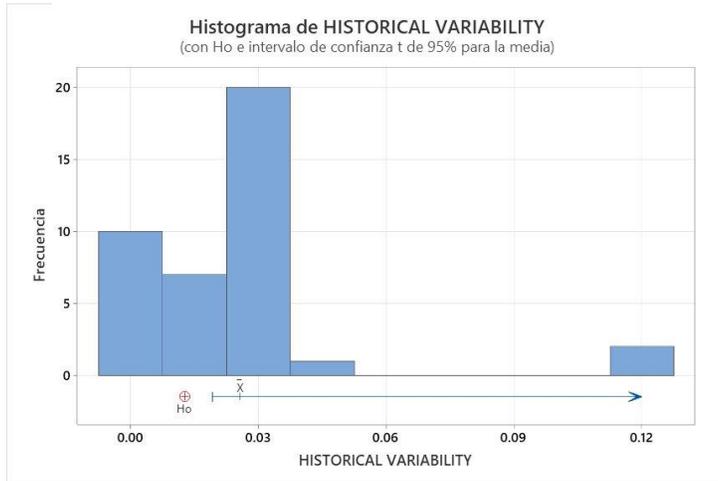
La implementación y combinación de las distintas soluciones permitieron una reducción del 2,5% a 1,7%. Sin embargo, es importante mencionar que las soluciones solo fueron implementadas a una muestra de 4 lotes.

Figura 3.10: Gráfico de barra del porcentaje de variabilidad antes y después de implementar las soluciones.



Un valor de P inferior a 0,05 indica que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Por tanto, podemos afirmar que los datos históricos no se ajustan a la brecha esperada.

Figura 3.11: Prueba de hipótesis de los datos históricos del porcentaje de variabilidad



Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
40	0.02571	0.02453	0.00388	0.01917

μ : media de población de HISTORICAL VARIABILITY

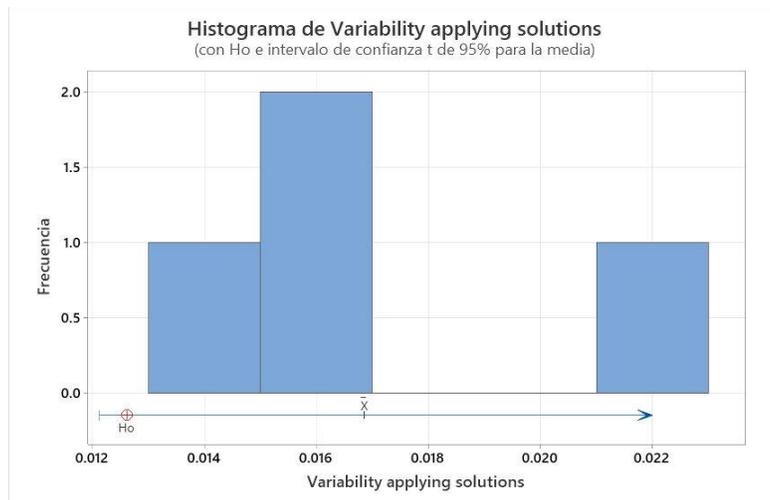
Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 0.0126$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu > 0.0126$

Valor T	Valor p
3.38	0.001

Con los registros de variabilidad luego de implementar las soluciones se obtuvo un valor de P de 0.062. Este valor indica que no se rechaza la hipótesis nula, lo que sugiere que los datos están más cerca de la brecha esperada, indicando una mejora en la precisión del proceso.

Figura 3.12: Prueba de hipótesis del porcentaje de variabilidad con las mejoras implementadas en 4 lotes.



Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
4	0.01685	0.00402	0.00201	0.01213

μ : media de población de Variability applying solutions

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 0.0126$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu > 0.0126$

Valor T	Valor p
2.12	0.062

3.1.3 Control

Tabla 3-9: Plan de control para cada solución propuesta.

No.	SOLUCION	¿QUÉ?	¿POR QUÉ?	¿CÓMO?	¿CUÁNDO?	¿QUIÉN?	¿DÓNDE?
1	sistema de control de humedad relativa en cámaras de frio	Registro de humedad relativa en cámaras de frio	La HR debe mantenerse entre 85% - 90%	Formato de registro de humedad relativa	diario	Supervisor de empaque	Cámaras de frio
2	Registro individual de cajas apiladas por tamaño sobre los pallets	Registro de cantidad de cajas apiladas contadas con clickers	Conocer en tiempo real el número de cajas apiladas	Formato de numero de cajas apiladas por calibre	diario	Supervisor de empaque	Área de empaque
3	Coordinación entre el conteo y la colocación de cajas	Procedimiento operative standard (SOP)	Los operadores deberían saber que hacer al momento de observar las señales	Entrenamiento y auditorias periódicas	mensual	supervisor de calidad	Área de empaque
4	metodología de apilado de cajas sobre pallets	Evaluaciones periódicas sobre la metodología de apilamiento.	Asegurarse de que los operadores conozcan la metodología	Pruebas practicas con cajas de pruebas	mensual	Supervisor de empaque	Área de empaque

3.1.3.1 *Plan de control para el sistema de control de humedad relativa en cámaras de frío*

El formato de registro de humedad relativa mostrado en la Tabla 3-10, diseñado como parte del plan de control para el sistema de control de humedad en cámaras de frío, debe incluir la identificación de la empresa, ubicación y número de la cámara, fecha y nombre del operador responsable. Este formato contemplará registros realizados cada dos horas, donde se anotarán la humedad relativa, la temperatura, la configuración del humidificador y cualquier observación pertinente, como fluctuaciones anómalas o fallas en el sistema. Cada registro deberá ser validado con la firma del operador y revisado por un supervisor al final de cada jornada. Los registros serán archivados para su posterior análisis y auditorías, asegurando así que las condiciones ambientales dentro de la cámara se mantengan dentro de los parámetros óptimos establecidos para la conservación del producto.

Tabla 3-10: *Formato de registro de humedad relativa.*

Hora	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Configuración del Humidificador	Observaciones	Firma del Operador
0:00					
2:00					
4:00					
6:00					
8:00					
10:00					
12:00					
14:00					
16:00					
18:00					
20:00					
22:00					

3.1.3.2 *Plan de control para el registro individual de cajas apiladas por tamaño sobre los pallets*

El formato de registro para el conteo de cajas apiladas mediante clickers mostrado en la Tabla 3-11 debería incluir campos para registrar la fecha, el número de pallet, y el nombre del operador que realiza el conteo. En cada registro, se anotará el número de cajas apiladas y el total registrado con el Clicker, acompañado de cualquier comentario sobre el proceso, como posibles errores o irregularidades detectadas. Este formato también puede incluir un apartado para la verificación del supervisor, que confirme la exactitud del conteo al final del turno. Una vez completados, los registros deben almacenarse para futuras revisiones o auditorías, permitiendo un seguimiento detallado y asegurando que el proceso de apilamiento se realice de manera consistente y precisa.

Tabla 3-11: *Formato de registro para el conteo de cajas apiladas*

No. de Pallet	Hora	Número de Cajas Apiladas	Conteo Registrado con Clicker	Comentarios/Observaciones	Firma del Operador
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

3.1.3.3 Plan de control para la coordinación entre el conteo y la colocación de cajas

El SOP (Standard Operating Procedure) para la coordinación entre el conteo y la colocación de cajas utilizando señales para indicar cuándo apilar y cuándo detenerse, establece un proceso sistemático para evitar confusiones y asegurar un conteo preciso. El procedimiento inicia con la preparación del área de trabajo, asegurando que el pallet esté colocado en una superficie nivelada y que las señales visuales, como luces de colores o letreros, estén claramente visibles y operativas. Antes de comenzar, el operador debe clasificar las cajas por tamaño y verificar que el equipo de conteo y las señales estén en su lugar.

Durante el proceso de apilamiento, las señales juegan un papel crucial: una señal verde indica que el operador debe continuar apilando las cajas, mientras que una señal roja indica que debe detenerse. En el caso de la señal roja, el operador debe registrar el número de cajas apiladas en el formato de control, especificando el tamaño y verificar el conteo antes de reanudar el apilamiento. Esta pausa permite asegurar que el conteo es preciso y que no se añaden cajas sin ser contabilizadas.

El operador debe seguir estrictamente las señales para evitar errores en el conteo y en el proceso de apilamiento. Al finalizar el apilamiento, se realiza una revisión completa del conteo registrado y el operador firma el formato para certificar la exactitud.

3.1.3.4 Plan de control para la metodología de apilado de cajas sobre pallets

Para el control de la metodología de apilamiento de cajas sobre pallets, se implementa un plan basado en pruebas prácticas mensuales, diseñado para evaluar y mejorar continuamente el proceso. Cada mes, se realizarán pruebas utilizando cajas de muestra que reflejen las diferentes dimensiones y tipos de cajas utilizadas en la operación. El procedimiento inicia con la preparación del área de prueba, asegurando que esté despejada y que el equipo necesario esté en condiciones óptimas. Durante las pruebas, los operadores apilarán las cajas siguiendo la metodología establecida, mientras se evalúa la consistencia del apilamiento, la estabilidad de las pilas y la eficacia del método. Los resultados se registrarán minuciosamente para identificar áreas de mejora. Tras analizar los resultados, el equipo de control ajustará la metodología según sea necesario para resolver problemas detectados y optimizar el proceso.

4 Capítulo IV

4.1 Conclusiones y Recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- La implementación de la metodología DMAIC permitió una mejora significativa en el proceso de conteo y almacenamiento de cajas de pitahaya roja para exportación. Esta mejora se reflejó en una reducción del 0.8% en la variabilidad del indicador clave, lo que no solo optimizó la precisión del balance de masa, sino que también incrementó la eficiencia operativa de la empresa.
- El GAP de 1.26% de variabilidad entre pesos de recepción y despacho no pudo ser alcanzado debido a múltiples razones tales como el uso de clickers el cual no es completamente efectivo al momento de realizar el conteo, ya que es propenso a errores como el doble conteo o el olvido de conteos, lo que afectó la precisión del proceso.
- La deshidratación es un factor crítico en la variabilidad de los procesos de manejo de frutas. Para mitigar el impacto de la deshidratación, es esencial mantener la humedad relativa en niveles superiores al 85%. Una humedad relativa adecuada no solo ayuda a preservar la calidad de las frutas, sino que también reduce la variabilidad en su peso y tamaño. Además, mantener una humedad relativa alta previene la pérdida excesiva de agua y disminuye el riesgo de daños a las frutas durante el almacenamiento y la exportación.
- Una metodología de apilamiento adecuada, combinada con el uso eficaz de señales, desempeña un papel crucial en la optimización del conteo de cajas. La implementación de un sistema de apilamiento bien diseñado no solo facilita un conteo más preciso, sino que también acelera el proceso, reduciendo el tiempo requerido para el manejo de las cajas.

Al integrar señales visuales que indiquen cuándo añadir o retirar cajas, se minimiza el riesgo de errores y se asegura una mayor coherencia en el proceso de conteo.

- Aunque se ha observado una reducción en la variabilidad entre los pesos de recepción y despacho del 2.5% al 1.7%, es importante señalar que este 1.7% es el promedio obtenido de una muestra limitada de solo 4 lotes. Debido al tamaño reducido de la muestra, no es estadísticamente suficiente para afirmar con certeza que el promedio real de la variabilidad es de 1.7%.

4.1.2 Recomendaciones

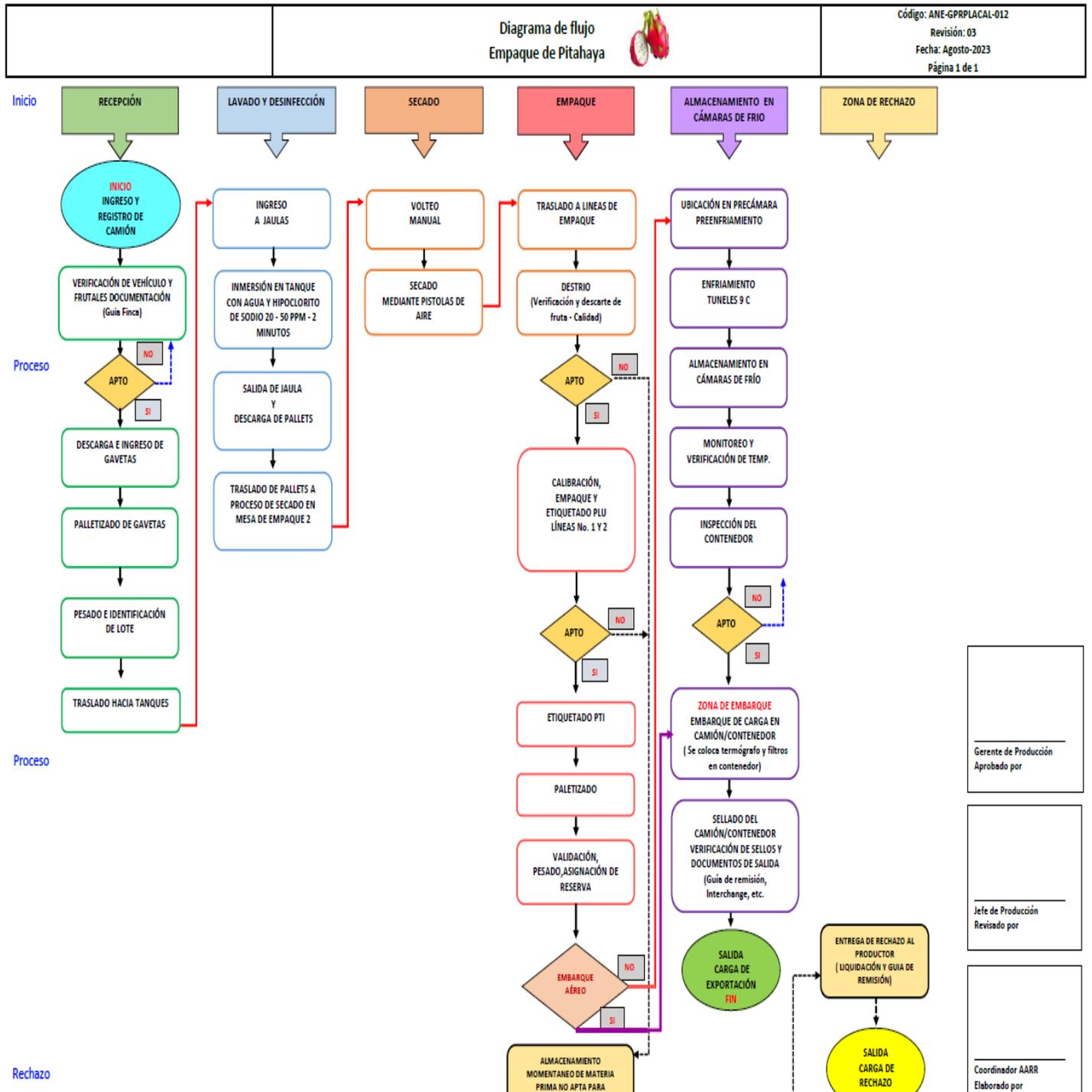
- El uso de túneles de aire acondicionado permitirá mantener la pitahaya a la misma temperatura que las cámaras de refrigeración, por lo que la transferencia de calor producida en el proceso de almacenamiento se reduciría significativamente, conservando estable la humedad relativa del ambiente.
- Implementar el uso de códigos de barras y escáneres permitirá automatizar el proceso de conteo, lo que incrementará significativamente la precisión y reducirá la posibilidad de errores humanos.
- Se recomienda aumentar el tamaño de la muestra aplicando las soluciones propuestas y realizar análisis estadísticos más exhaustivos, como la construcción de intervalos de confianza y análisis de capacidad. Estos pasos son necesarios para confirmar la tendencia observada y garantizar la robustez de los resultados, validando así la significancia de la mejora en la variabilidad.

Referencias

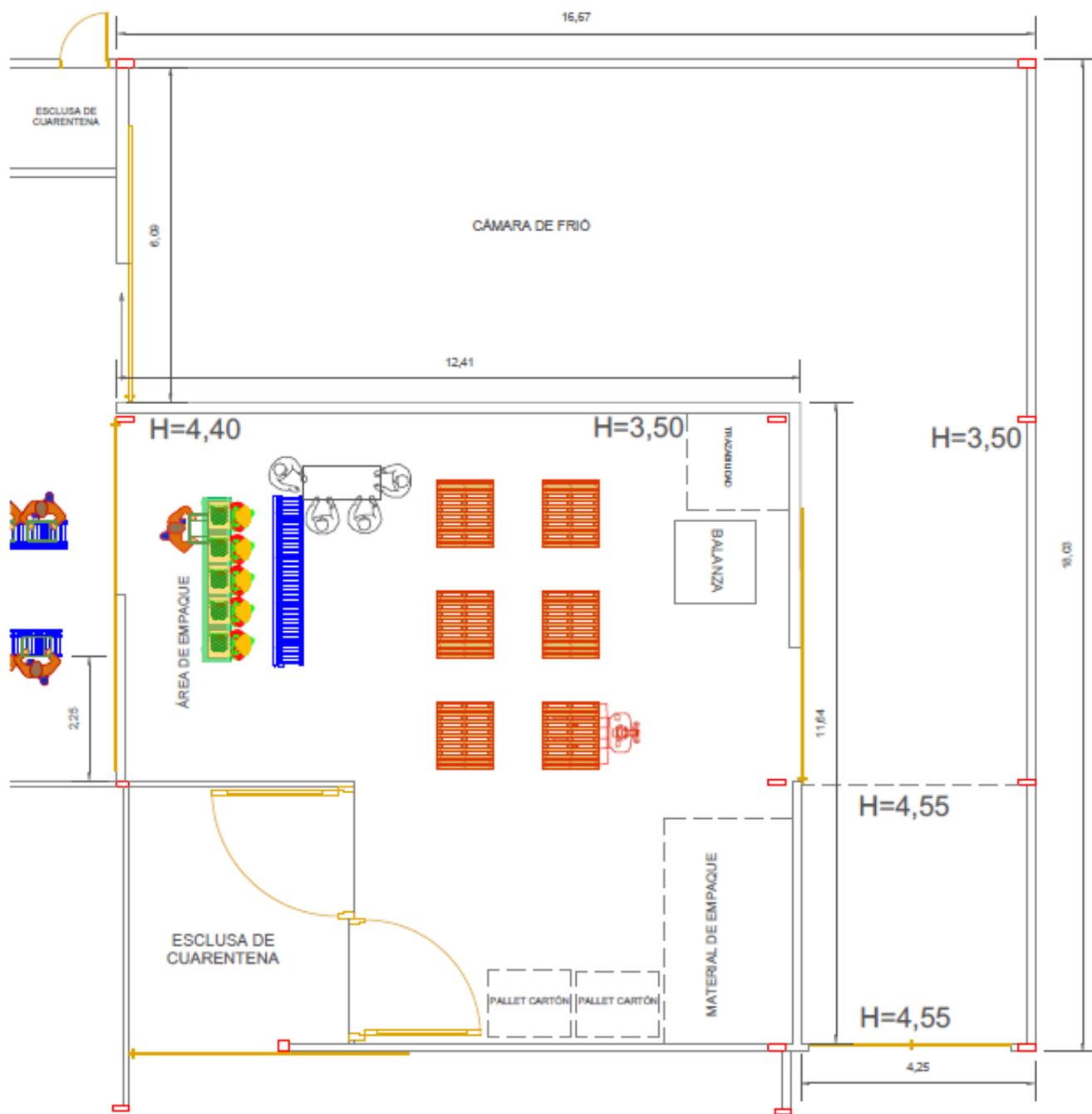
- Eckes, G. (2001). *The Six Sigma Revolution: How General Electric and Others Turned Process Into Profits*. Wiley.
- George, M. L. (2003). *Lean Six Sigma for Service: How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions*. McGraw-Hill.
- Harry, M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. Currency.
- OIRSA . (2000). Buenas prácticas de cultivo en pitahaya.
- Pande, P. S., Newman, R. P., & R., C. R. (2000). *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance*. McGraw - Hill.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2009). *he Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*. McGraw-Hill.

Apéndices

Apéndice A



Apéndice B



ARTICULOS DE REVISION

BIOLOGÍA Y MANEJO POSTCOSECHA DE PITAHAYA ROJA Y AMARILLA (*Hylocereus* spp., y *Selenicereus* spp)

MSc. Jorge Ulises Díaz B.

Docente-Investigador del Departamento de Protección Agrícola y Forestal, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria. Email: ulises.diaz.blandon@una.edu.ni



RESUMEN

Las palabras pitahaya y pitaya se derivan del Taino, una lengua de los pueblos indígenas de los países caribeños y ambas significan fruta escamosa. Los frutos de pitahaya crecen sobre un cactus tropical de forma columnar que pertenece a los géneros *Stenocereus* y *Pachycereus*. Por otro lado, los frutos de pitahaya crecen sobre un cactus tropical trepador que pertenece a los géneros *Hylocereus* y *Selenicereus*. En esta reseña se hará referencia a la biología y manejo postcosecha de los frutos de pitahaya que crecen en cactus de hábito trepador. La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) se cultiva en Colombia, Ecuador e Israel. La pitahaya roja, especialmente *Hylocereus undatus*, es cultivada en 19 países. Los principales países productores de pitahaya son en este orden Vietnam, Colombia, Nicaragua, México e Israel. Los frutos de pitahaya son una buena fuente de minerales, glucosa, fructosa, fibra dietética y vitaminas. La pitahaya es un fruto no climatérico, con tasas de producción de etileno de 0.025 a 0.091 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$. Los índices de cosecha incluyen: cambio de color de la cáscara, contenido de sólidos solubles, acidez titulable y días después de la floración (mínimo 28 días y máximo 35 días). El daño por congelamiento, daños mecánicos y la pérdida de agua, son los tres principales desórdenes fisiológicos postcosecha que se presentan en los frutos de pitahaya. Se recomienda almacenar los frutos de pitahaya a 7-12°C y 85-90% de humedad relativa. Se necesita más información acerca de la manipulación de la planta de tal manera que florezca durante todo el año, y no solamente unas cuantas veces, para satisfacer la demanda nacional y los mercados internacionales.

ABSTRACT

Pitahaya and pitaya are words coming from Taino, language of the indigenous people of Caribbean countries and both words mean scaly fruits. Pitaya fruits grow on tropical columnar cacti belonging to *Stenocereus* and *Pachycereus* genera. On the other hand, pitahaya fruits grow on a tropical climbing cacti belonging to *Hylocereus* and *Selenicereus* genera. This review will deal with the climbing cacti, that is, with the pitahaya fruits. The yellow variety of pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) is grown in Colombia, Ecuador and Israel. The red pitahaya, especially *Hylocereus undatus*, is grown in around 19 countries. The main pitahaya producing countries are Vietnam, Colombia, Nicaragua, Mexico and Israel. Pitahaya fruits are a good source of minerals, glucose, fructose, dietary fiber, and vitamins. Pitahaya is non-climacteric, with ethylene production rates of 0.025 to 0.091 $\mu\text{L}/\text{kg}/\text{h}$. Harvest indicator variables include: color, SSC, TA and days-from-flowering (minimum 28 days and 35 maximum). Chilling injury, mechanical injury and water loss are the three major post harvest disorders. Pitahaya fruits are stored at 7 to 12°C and 85-90% relative humidity. More information on manipulation of the plant so that it flowering throughout the season, rather than in two or three stations, to satisfy need for continual fruit production for local and international markets is needed.

Las palabras pitahaya y pitaya se derivan del "Taino", una lengua de los pueblos indígenas de los países caribeños y ambas significan fruta escamosa. Los frutos de pitahaya crecen sobre un cactus tropical de forma columnar que pertenece a los géneros *Stenocereus* y *Pachycereus*. Los frutos de pitahaya crecen sobre un

cactus tropical trepador que pertenece a los géneros *Hylocereus* y *Selenicereus* (Rodríguez, 2000a). En esta reseña se hará referencia a la biología y manejo postcosecha de los frutos de pitahaya que crecen en cactus de hábito trepador.

La pitahaya, una fruta exótica de la familia de las cactáceas, tiene una larga historia de uso en el hemisferio occidental donde es una especie nativa. Se ha mencionado como una fruta popular Azteca en documentos históricos del Siglo XIII. La fruta de pitahaya fue disfrutada enormemente por los conquistadores españoles. Actualmente, la pitahaya es cultivada, en gran parte, por pequeños productores del Sur de México y los países de América Central. Colombia, en América del Sur, ha llegado a ser uno de los grandes productores de este cultivo. Asimismo, se ha difundido la producción y consumo de esta fruta en otras partes del mundo. Por ejemplo, en Vietnam, la pitahaya es conocida como fruta dragón, y recientemente, los israelíes han comenzado a cultivar, de forma experimental, el cultivo de pitahaya en el Desierto de Negev. Otros países que cultivan pitahaya son Hong Kong, Italia, Taiwán (Jacobs, 1999; Obregón, 1996; y Rodríguez, 2000b).

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) se cultiva en Colombia, Ecuador e Israel. La pitahaya roja (*Hylocereus* spp) se cultiva en Nicaragua, Guatemala, Vietnam, Taiwán, Tailandia, Camboya, Filipinas, México, Israel y El Salvador (Corrales, 2002; Nerd et al., 2002). La pitahaya roja producida en Nicaragua y Guatemala ha mostrado un mayor atractivo de mercado en Europa y más recientemente en los Estados Unidos. La pitahaya roja tiene un atractivo tono rojo brillante tanto en el exterior como en el interior (la pulpa) de la fruta. La fruta, promediando una libra de peso, es consumida en Europa principalmente en estado fresco. Actualmente, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos impide la importación de frutos frescos de pitahaya (se cree que es hospedera de moscas de la fruta), pero permite el embarque de pulpa congelada de esta fruta. Se anticipa que el Departamento de Agricultura y el Servicio de Inspección de Salud Animal y Vegetal levanten la cuarentena sobre la fruta fresca (Obregón, 1996). Los principales países productores de pitahaya son en este orden Vietnam, Colombia, Nicaragua, México e Israel (Le, et al., 2002; Rodríguez, 2000b). (Tabla 1).

País	Área (Ha)	Producción total (ton)	Exportación (ton)
Vietnam	4500	70000	15000
Colombia	600	6000	600
Nicaragua	560	5600	560
México	265	2650	265
Israel	20	200	200
Total	5945	84450	16625

Aparte de su sabor único, apariencia y coloración fluorescente, la pitahaya posee otros atributos importantes. En los países productores, la fruta es usada para elaborar dulces, jugos y mermeladas. La pulpa es usada para fabricar bebidas alcohólicas. Se le atribuyen propiedades medicinales, por lo cual se recomienda para aliviar desde problemas estomacales comunes, hasta para diabéticos y personas que padecen problemas endocrinos (Obregón, 1996).

En el Continente Americano, la pitahaya se encuentra entre los 10° Latitud Sur y 25° Latitud Norte. Se encuentra más ampliamente distribuida en altitudes que oscilan desde los 0 hasta los 2,000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Los países que tienen el mayor número de especies son: México, 12; Colombia, 8; Guatemala y Panamá, 6; Costa Rica, 5; Venezuela, 4; y Nicaragua, Cuba, República Dominicana y Martinica (Britton and Rose, 1963; Rodríguez, 2000a). La especie de pitahaya más ampliamente cultivada es *Hylocereus unda-*

tus. Actualmente esta especie se cultiva para obtener fruta fresca en Australia, Camboya, Colombia, Ecuador, Guatemala, Indonesia, Israel, Japón, Laos, México, Nueva Zelanda, Nicaragua, Perú, Filipinas, España, Taiwán, Tailandia, el suroeste de los Estados Unidos y Vietnam (Mizrahi and Nerd, 1999; Nerd et al., 2002; Nobel and Barrera 2002b; Obregón, 1996).

Características morfológicas. Los frutos de pitahaya son producidos en un cactus segmentado de hábito trepador. Estas plantas además de contar con raíces ancladas en el suelo, también desarrollan raíces adventicias a lo largo de los tallos, las cuales atan las vainas (estructuras que funcionan como tallos) a soportes naturales y le ayudan a la planta a la absorción de agua. La pitahaya se cultiva exitosamente en el campo en los países tropicales (Barbeau, 1986; Cacioppo, 1990; Jacobs, 1999; Mizrahi et al 1997), pero debe ser protegida de la intensa radiación solar y temperaturas frías cuando se cultiva bajo condiciones subtropicales, tales como las que prevalecen en Israel (Mizrahi, 1997; Raveh et al, 1998). Las especies de pitahaya que son más tolerantes a la luz son *Hylocereus polyrhizus* e *Hylocereus costaricensis*, lo cual se debe probablemente a sus características únicas de la piel, la cual es gruesa y tiene una cubierta cerosa (Mizrahi and Nerd, 1999).

Las flores son nocturnas y se abren sólo una vez. Todas las especies, a excepción de *Selenicereus megalanthus*, son auto-incompatibles y requieren de polinización cruzada. En América Central se sabe que murciélagos y mariposas nocturnas (polillas) visitan las flores de *Hylocereus* y *Selenicereus* (Barbeau, 1986; Cacioppo, 1990; Haber, 1983). En países como Israel, debido a la falta de polinizadores naturales, se realiza polinización manual con el fin de obtener frutos, lo cual incrementa significativamente los costos de mano de obra para los productores. Los frutos se desarrollan tanto del ovario (pulpa), como del receptáculo que rodea al ovario (cáscara). El peso del fruto se correlaciona con el número de semillas (Nerd and Mizrahi, 1997; Weis et al, 1994), y con una polinización apropiada, el peso de los frutos de *Hylocereus* pueden alcanzar alrededor de 800 g, y los frutos de *Selenicereus megalanthus*, alrededor de 350 g (Mizrahi and Nerd, 1999).

La pitahaya florece en varias ocasiones durante la estación lluviosa en las áreas tropicales (Arcadio, 1986; Barbeau, 1990 y Cacioppo, 1990). En Israel, *Hylocereus* spp., tiende a florecer en el verano, mientras que *S. megalanthus* tiende a florecer en el otoño cuando disminuyen las temperaturas, lo cual indica que probablemente las altas temperaturas del verano inhiben la floración de *S. megalanthus* (Weis et al, 1994).

El tiempo comprendido entre la floración y la maduración es de alrededor de 30 días para las especies de *Hylocereus* y para *Selenicereus megalanthus* es de 90 y 180 días para flores tempranas (finales de Septiembre) y flores tardías (finales de Noviembre), respectivamente (Nerd and Mizrahi, 1998).

Esto significa que frutos maduros de las especies de *Hylocereus* pueden estar listos para ser comercializados a partir de finales de Mayo hasta inicios de Enero, mientras que los frutos de *S. megalanthus* están disponibles a partir de Enero hasta mediados de Mayo (Mizrahi and Nerd, 1999). Los frutos de *Hylocereus* son bayas de tamaño medio a grande y se caracterizan por poseer una cáscara roja con escamas grandes y una pulpa, cuyo color varía de blanco a rojo-púrpura. Los frutos de *Selenicereus* son bayas oblongas de tamaño medio, su cáscara es de color amarillo con espinas y la pulpa es blanca (Britton and Rose, 1963; Kimnach, 1984; Seaton, 1991). La pulpa de ambas especies es delicada y contiene numerosas y pequeñas semillas negras comestibles (Mizrahi, et al, 1996; Nerd and Mizrahi, 1997; Raveh et al, 1998).

Composición química. Los frutos de pitahaya son una buena fuente de minerales, glucosa, fructosa, fibra dietética y vitaminas. Los azúcares que predominan en los frutos son glucosa y fructosa, con pequeñas cantidades de sacarosa (Wu and Chen, 1997). En la Tabla 2 se especifican los parámetros utilizados en el análisis de la composición del endocarpio de tres especies de pitahaya (Corrales, 2002; Le, 2002; Le et al, 2000a; Obregón, 1996; OIRSA, 1999; Rodríguez, 2000a; Rodríguez, 2000b; Wu and Chen, 1997). El contenido de Vitamina C se encuentra a niveles no significativos desde el punto

de vista nutricional. La fruta de pitahaya tiene un valor energético más bajo que el banano, o nanjea (jackfruit), pero igual que el durión (durian), mango y piña. Sin embargo, su contenido de carbohidratos es más bajo que cualquiera de los frutos anteriormente mencionados. Algunos otros minerales, tales como hierro, zinc, sodio, magnesio son superiores a los encontrados en otros frutos. En particular, la pitahaya roja con pulpa blanca es rica en potasio, siendo superada por el contenido de este mineral, únicamente por el banano y la nanjea (Le et al, 2000a) (Tabla 3).

Tabla 2. Composición química de tres especies de pitahaya, *Selenicereus megalanthus* (pitahaya amarilla), *Hylocereus polyrhizus* (pitahaya roja con pulpa roja) e *Hylocereus undatus* (pitahaya roja con pulpa blanca)

Análisis	Unidad	Pitahaya amarilla	Pitahaya roja con pulpa roja	Pitahaya roja con pulpa blanca
Refracción	°Brix	19	12	10.6
pH	-	nd ^a	3.7	5.4
Materia seca	% (m/m)	nd	13.8-15.1	12.5
Humedad	% (m/m)	85.35	86	87.5
Lípidos	Q% (m/m)	0.21	0.4	0.9
Proteínas	Q% (m/m)	0.4	1.4-1.5	1.2
Carbohidratos	Q% (m/m)	9.91	13.2	8.3
Fibra cruda	Q% (m/m)	0.7	0.6	1.2
Fructosa	% (m/m)	nd	1.4-1.8	nd
Glucosa	% (m/m)	nd	3.9-5.5	nd
Sacarosa	% (m/m)	nd	< 0.1	nd
Cenizas	Q% (m/m)	0.5	0.7	0.9
Fósforo (P)	mg/100g	30.2	220-230	nd
Potasio	mg/100g	74.88	2.4	272.6
Magnesio	mg/100g	11.43	nd	36.6
Sodio	mg/100g	nd	< 50	nd
Calcio	mg/100g	3.47	50-57	7.5
Hierro	mg/100g	0.55	11.5-14.0	nd
Colesterol	mg/100g	nd	1.7-6.8	nd
Vitamina A	UI/100g	0	Trazas	7,400.8
Vitamina C	mg/100g	8	0.5	0
Vitamina B1	mg/100g	nd	9.6-13.0	nd
Vitamina B2	ug/100g	nd	25-28	nd
Ácidos grasos				
Saturados	% (m/m)	nd	0.3	nd
Insaturados	% (m/m)	nd	0.7	nd

^and = no determinado

Tabla 3. Comparación de la composición de algunos frutos tropicales.

Componentes	Mangostán	Banano	Durión	Nanjea	Mango	Piña	Pitahaya
Humedad (%)	83.4	75.7	81.1	72.0	81.7	85.3	85.3
Energía (kcal)	57.0	85.0	67.0	98.0	66.0	58.0	67.7
Proteínas (g)	0.5	1.1	2.2	1.3	0.7	0.3	1.1
Grasas (g)	0.3	0.2	0.8	0.3	0.4	0.2	0.57
Carbohidratos (g)	14.7	22.2	14.8	25.4	16.8	13.7	11.2
Fibra (g)	5.0	0.5	1.6	1.0	0.9	0.4	1.34
Calcio (mg)	10.0	3.0	8.0	22.0	10.0	17.0	10.2
Fósforo (mg)	10.0	18.0	38.0	38.0	13.0	8.0	27.5
Sodio (mg)	1.0	1.0	-	2.0	7.0	1.0	8.9
Magnesio (mg)	-	21.8	-	-	8.8	13.0	38.9
Potasio (mg)	135.0	398.0	-	407.0	189.0	146.0	272.0
Hierro (mg)	0.5	0.10	0.7	-	0.40	0.5	3.37
Zinc (mg)	-	0.20	-	-	0	0.21	0.35

Modificado de Le *et al.* (2000n).

Fisiología postcosecha. La pitahaya es un fruto no climatérico, con tasas de producción de etileno de 0.025 a 0.091 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ (Nerd, *et al.*, 1999). El tratamiento con etileno en los frutos de pitahaya no induce el desarrollo de color (Le *et al.*, 2000b). La máxima tasa de respiración se presenta en etapas tempranas del crecimiento del fruto (a los 19 días después de la floración) y disminuye conforme el fruto madura (Le *et al.*, 2002; Nerd *et al.*, 1999). La tasa de respiración para frutos maduros es de 95 a 144 $\text{mg CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ a 20°C (Nerd *et al.*, 1999) y de 75 a 100 $\text{mg CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ a 23°C (Le *et al.*, 2000a). Por lo tanto, los frutos deberían ser cosechados cuando han madurado y alcanzado un buen sabor (Le *et al.*, 2002).

Durante los primeros estadios de desarrollo del fruto ocurre la síntesis de ácidos orgánicos y un rápido incremento de los sólidos solubles totales. El color de la piel comienza a cambiar a los 25-30 días a partir de la floración en especies de pitahaya roja, tales como *H. undatus* e *H. polyrhizus*. Al mismo tiempo, la firmeza de la pulpa se aproxima a un mínimo y la calidad comestible alcanza su punto más alto a los 28-37 días después de la floración (Le *et al.*, 2002; Nerd *et al.*, 1999). Los frutos pueden ser cosechados a partir de los 25 hasta los 45 días después del inicio de la floración; para *H. polyrhizus* se recomienda que la cosecha inicie a los 32-35 días después de la floración (Nerd *et al.*, 1999), mientras que para *H. undatus* se recomienda que la cosecha se inicie a los 28-30 días después de la floración (Le *et al.*, 2002). El color de la pulpa de las diferentes especies puede variar desde blanco, pasando por varios tonos de rojo hasta un rojo muy oscuro. Conforme la fruta madura, la acidez alcanza su pico justamente cuando se presenta el cambio de color de la cáscara (piel), disminuyendo a los 25-30 días después de la floración. En esta etapa, el contenido de sólidos solubles se incrementa a alrededor del 14% (Nguyen *et al.*, 2000a; Nerd *et al.*, 1999).

Índices de madurez y de calidad. Un índice común de madurez es el cambio del color de la cáscara (piel) hasta alcanzar el color rojo total. Los índices de cosecha incluyen: cambio de color de la cáscara, contenido de sólidos solubles, acidez titulable y días después de la floración (mínimo 28 días y máximo 35 días) (Le *et al.*, 2002; Nerd *et al.*, 1999). Los consumidores generalmente prefieren los frutos de pitahaya que no sean muy dulces. El tiempo de cosecha apropiado para fines de exportación debería estar basado en la pro-

porción sólidos solubles totales/acidez titulable (SST/AT), ya que da la mejor indicación del sabor del fruto de pitahaya. Para los frutos de pitahaya, la proporción ideal de SST/AT es 40. En frutos de *H. undatus*, esta proporción se alcanza a los 31 días después de la floración, teniendo la opción de cosechar más temprano de los 31 días si se desea consumir más ácida o más tarde de los 31 días si se desea consumir más dulce. El tiempo de cosecha debería estar determinado por el ablandamiento de los frutos. Si los frutos están muy blandos (firmeza <0.91 kg de fuerza), la manipulación y el transporte se vuelve difícil. Asimismo, es probable que se presenten daños mayores y se incrementen las pérdidas de mercado. La aplicación de GA₃, -NAA y -NAA, en dosis de 8, 150 y 400 ppm, respectivamente, 11 días después de la floración, puede incrementar el peso del fruto alrededor del 10% y mejorar los SST, la firmeza de la pulpa y de las brácteas y el grosor de la cáscara (piel) (Le *et al.*, 2002).

Los frutos para exportación deben estar bien formados, el color rojo debe ser uniforme sobre toda la superficie del fruto, las brácteas deben ser firmes, verdes en las puntas y los lados, y la pulpa blanca o roja, dependiendo de la especie, debe ser firme. Además, los frutos deben estar libres de pudriciones (daño fungoso) y defectos, tales como manchas verdes, daño por insectos, grietas en la cáscara, cortes y pinchazos, materias extrañas y magulladuras (Le *et al.*, 2002; OIRSA, 1999; Rodríguez, 2000b).

REQUERIMIENTOS AMBIENTALES

a) Condiciones óptimas de almacenamiento. Los frutos de pitahaya son sensibles al daño por congelamiento (Mizrahi and Nerd, 1999). La temperatura de almacenamiento que se recomienda para *H. undatus* e *H. polyrhizus* es 10°C, ya que 6°C puede inducir daño por congelamiento (Nerd, *et al.*, 1999). Para la pitahaya amarilla, *Selenicereus megalanthus* (Nerd and Mizrahi, 1999), se ha recomendado una temperatura de 6°C, lo cual concuerda con su temperatura mínima de crecimiento que es de 7°C (Nerd and Mizrahi, 1998). Los frutos de *H. undatus* tienen una vida de almacenamiento de alrededor de 14 días a 10°C y 90% de humedad relativa, pero la vida de almacenamiento se puede extender hasta 17 días, si los frutos son cosechados a los 30-35 días a partir de la floración y son mantenidos a 5°C y 90% de humedad relativa (Nguyen *et al.*, 2000a). Sin embargo, temperaturas de 5°C pueden conducir a daños por congelamiento una vez que los

frutos sean puestos a 20°C, lo cual se comprueba por el deterioro de la cáscara y la pulpa, y el mal sabor (Nerd *et al.*, 1999). Por lo tanto, es mejor recomendar una temperatura de almacenamiento de 10°C para un máximo de 14 días de vida de anaquel (Paull, 2002).

b) Atmosferas controladas. No existen datos disponibles acerca del uso de atmósferas controladas para alargar la vida poscosecha de la pitahaya. En un estudio llevado a cabo en Vietnam, se tomaron frutos de pitahaya cosechados a los 28-30 días después de la floración y se almacenaron en un empaque de atmósfera modificada con una tasa de transmisión de O₂ de 4 L.m⁻².h⁻¹ a una temperatura de 10°C y se compararon con controles almacenados a la misma temperatura, pero sin empaque de atmósfera modificada. Los frutos se mantuvieron por 35 días en el empaque de atmósfera modificada, mientras que los controles tuvieron una vida de almacenamiento de 14 días. También se comprobó que el retardo en la cosecha hasta los 41 días después de la floración, puede conducir a una disminución de la vida de anaquel hasta en 21 días, aun cuando los frutos sean almacenados en empaque de atmósfera modificada (Le *et al.*, 2000b; Le *et al.*, 2002).

Desórdenes fisiológicos. El daño por congelamiento, daños mecánicos y la pérdida de agua, son los tres principales desórdenes fisiológicos poscosecha que se presentan en los frutos de pitahaya. Los daños mecánicos conducen al desarrollo de áreas hundidas. Cuanto más maduro estén los frutos, más susceptibles son a los daños mecánicos. El agrietamiento de los frutos es un problema que se presenta cuando los frutos han sido cosechados más allá de los 35 días después de la floración, que han estado expuestos a lluvias frecuentes o a un riego excesivo durante la maduración (Le *et al.*, 2000a). Los síntomas de daño por congelamiento incluyen translucencia de la pulpa, ablandamiento, marchitamiento, oscurecimiento de las escamas, empardecimiento de la pulpa exterior y mal sabor. Estos síntomas se desarrollan rápidamente en frutos de *H. undatus* e *H. polyrhizus* mantenidos primeramente a 6°C por dos semanas y luego transferidos a 20°C (Nerd *et al.*, 1999). Los frutos cosechados a los 25 días a partir de la floración son más sensibles al daño por congelamiento (7 días, a 6°C), mientras que la sensibilidad se reduce significativamente cuando los frutos son cosechados a los 30-35 días a partir de la floración (17 días, a 6°C) (Paull, 2002).

Descomposición patológica. Las enfermedades poscosecha de la pitahaya se asocian con *Fusarium lateritium*, *Aspergillus niger*, y *Aspergillus flavus* (Le *et al.*, 2000a). En América Central se han reportado daños por antracnosis en el período de pre-cosecha y poscosecha (OIRSA, 2000).

SISTEMA DE MANIPULACIÓN POSCOSECHA

a) Cosecha. Los frutos de pitahaya se cosechan cortándolos con tijeras de podar, se colocan en cajas de plástico, y se transfieren a la mayor brevedad posible a un cuarto frío (10-15°C) para remover el calor de campo, y de esta manera retardar el proceso de maduración y ablandamiento (Rodríguez, 2000b).

b) Clasificación. Los frutos de pitahaya generalmente son clasificados por tamaño y color. La categorías de tamaño sugeridas para Vietnam son: extra grande (>500g), grande (>380-500g), regular (>300-380) (Ngu, 2002); para Nicaragua, Grupo 1 (>200-400g), Grupo 2 (>410-500g) (OIRSA, 1999, Rodríguez, 2000b); para México, >300-550 (Rodríguez, 2000a).

c) Empaque. Antes del empaque, los frutos son desinfectados al sumergirlos en agua con cloro a una concentración de 100 ppm. Después de esto, los frutos son encerados y secados²³. Los frutos de pitahaya exportados de Colombia, Israel, México y Nicaragua hacia Europa y Japón son empacados en cajas de cartón de fibra corrugada de 4 kg (8.8 libras) en números de 6, 8, 10, 12, 14 o 16 frutos dependiendo del peso de cada fruto (OIRSA, 1999; Pauli, 2002; Rodríguez, 2000a; Rodríguez, 2000b).

d) Almacenamiento. Se recomienda almacenar los frutos de pitahaya a 7-12°C y 85-90% de humedad relativa. Bajo estas condiciones, la vida de anaquel puede extenderse 22-25 días a partir de la cosecha hasta el consumo (OIRSA, 1999; Rodríguez, 2000b).

e) Procesamiento de la pulpa. Al igual que los frutos de exportación, los frutos destinados para la preparación de pulpa, son pesados, lavados y desinfectados. La pulpa extraída se pone en bolsas plásticas de polipropileno, las cuales se sellan adecuadamente y congelan a -40°C por 8-12 horas. Seguidamente, la pulpa se almacena a -18°C donde puede permanecer por hasta 2 años (Rodríguez, 2000b).

f) Aspectos cuarentenarios. Para controlar a la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*) y la mosca sudamericana de la fruta (*Anastrepha fraterculus*) en frutos de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*), se ha investigado el efecto de un tratamiento de vapor caliente en Colombia. En base a esta investigación se concluyó que, el tratamiento más efectivo para controlar todos los estadios inmaduros de la mosca del mediterráneo fue 46°C, 95% de humedad relativa, por 20 minutos. Por otro lado, para controlar a la mosca sudamericana es suficiente que el centro de la fruta alcance los 46°C, a 95% de humedad relativa, en el tiempo más corto posible (Vidal y Abello, 1999).

NECESIDAD DE FUTURAS INVESTIGACIONES

Efecto de los tratamientos cuarentenarios con calor sobre la calidad del sabor y la vida de anaquel.

Manipulación de la planta de tal manera que florezca durante todo el año, y no solamente unas cuantas veces, para satisfacer la demanda nacional y los mercados internacionales.

Acumular más información sobre la composición química de las diferentes especies y sus posibles beneficios sobre la salud humana.

Investigar más detalladamente el efecto de los reguladores del crecimiento (GA₃, α-NAA, β-NAA) sobre la calidad de la fruta.

Se desconocen las bases fisiológicas relacionadas a los procesos de maduración, ablandamiento y las reacciones enzimáticas que intervienen.

