

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Estrategias para incrementar la productividad de una empresa
exportadora de mango

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingenieros Industriales

Presentado por:

María Gabriela Moretta Urdiales

Edgar Adrián Quezada Salvatierra

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia, por toda su paciencia y por el gran amor que me brindaron a pesar de mi actitud en ciertos días muy desafiantes en el transcurso de este semestre.

Gabriela Moretta Urdiales

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi compañero de tesis que me acompañó en todos los éxitos y tropiezos que vivimos en este proyecto sabiendo manejar las situaciones de la mejor manera. Además, agradezco su inconmensurable paciencia.

Gabriela Moretta Urdiales

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia, quienes siempre me han dado su apoyo y jamás han dudado de mi capacidad para cumplir mis metas.

Adrián Quezada S.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis amigos cercanos, quienes siempre me apoyaron durante la carrera, en especial a mi compañera de tesis quien me acompañó a llegar hasta este punto.

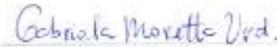
Adrián Quezada S.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Edgar Adrián Quezada Salvatierra* y *María Gabriela Moretta Urdiales* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”


Edgar Adrián Quezada
Salvatierra

AUTOR 1


María Gabriela Moretta
Urdiales

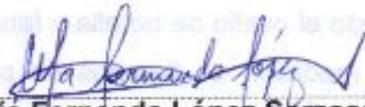
AUTOR 2

EVALUADORES



Jorge Fernando Abad Moran, PhD

PROFESOR DE LA MATERIA



María Fernanda López Sarzosa, M.Sc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto se llevó a cabo en una empresa dedicada a la producción y exportación de frutas exóticas, específicamente se centró en la planta de tratamiento y empaque de mangos ubicada en la ciudad de Guayaquil. Con base en las necesidades de los clientes internos del proceso y con la ayuda de datos históricos, el objetivo de este proyecto fué aumentar el throughput promedio de la planta, partiendo de 5,948 hasta llegar a 7,371 (cajas/hora). La metodología DMAIC, aplicada para el mejoramiento continuo, es la base de este proyecto y su estructura está formada de cinco etapas. Se realizaron entrevistas a los clientes internos de los procesos involucrados en busca de efectos y necesidades de la producción, con esto se definió la métrica principal en unidades de cajas/hora y el objetivo del proyecto. Adicionalmente, se realizó un mapeo detallado del proceso, en el cual se observaron actividades que no agregan valor identificando el cuello de botella y fábricas ocultas. Una vez realizado esto se llegó a la etapa de medición de tiempos de proceso, con la ayuda de datos históricos y por observación, se obtuvo la capacidad de este. Posteriormente en la etapa de análisis se observaron las verdaderas causas raíz de los problemas de la compañía en cuanto a producción. Una vez realizado esto fueron propuestas las mejoras que incrementaban de manera óptima la producción de cajas (o gavetas) en cada uno de los procesos involucrados en la planta, para finalmente usar una herramienta de simulación con lo cual se demostró que, al momento de ser implementadas dichas mejoras, se obtendrían resultados positivos en la realidad.

Palabras Clave: DMAIC, cuello de botella, mangos, producción.

ABSTRACT

This project was carried out in a company dedicated to activities of production and exportation of exotic fruits. Specifically, it was centered in the treatment and packing of mangoes. The facility is in Guayaquil which is searching for the improvement of the average production level reflected in the latest years. Based on the intern client's necessities and with help of historical data, the project scope was to increase the average throughput at the facility, from 5,948 to 7,371 (boxes/hour). The DMAIC methodology, applied for continuous improvement, is the foundation of this project and its structure consists of five stages. To find the problem that afflicts the company, interviews were conducted with internal customers of the processes involved in search of effects and production needs. With this information, the main metric was defined in units of boxes / hour as well as the project scope. Additionally, a detailed process mapping was developed, in which activities that do not add value were observed identifying the bottleneck and hidden factories. Once this was done, the process time measurement stage was reached, with help of historical data and observation, its capacity was obtained. Later in the analysis stage, the root causes of the company's problems regarding production were identified. Once this was done, improvements were proposed that optimally increased the production of boxes (or drawers) in each of the processes involved in the plant, to finally use a simulation tool which showed that at the time of being implemented such improvements, positives results in reality would be obtained.

Keywords: DMAIC, bottleneck, mangoes, production.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Justificación del problema	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. Marco teórico	2
CAPÍTULO 2.....	5
2. Metodología.....	5
2.1. Definición	5
2.2. Medición.....	10
2.2.1. Plan de recolección de datos	13
2.2.2. Verificación de datos.....	14
2.2.3. Situación inicial del proceso.....	17
2.2.4. Proceso detallado	18
2.3. Análisis.....	21
2.3.1. Análisis de causas	21
2.3.2. Verificación de causas	25

2.3.3. Determinación de causas raíz.....	31
2.4. Implementación y Control.....	32
CAPÍTULO 3.....	41
3. Resultados y análisis de soluciones	41
3.1. Simulación.....	41
3.2. Resultados	43
CAPÍTULO 4.....	46
4. Conclusiones y recomendaciones	46
4.1. Conclusiones.....	46
4.2. Recomendaciones.....	46
BIBLIOGRAFÍA	48

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
VSM	Value Stream Mapping
CTQ	Critical to Quality
TH	Throughput
USA	United States of America
THT	Tratamiento Hidrotérmico
VOC	Voice of Customer
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs y Customers
CT	Cycle time
FOB	Free on board
DMAIC	Define, Measurement, Analysis, Improvement and Control
ROI	Return On Investment (Retorno de la inversión)

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
\$	Dólar
n	Tamaño de muestra
L	Línea de empaque
#	Número
Min	Minutos
H	Horas
α	Nivel de confianza
σ	Desviación estándar
δ	Error del promedio en toma de muestra
n/a	No aplica
Kg	Kilogramo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 SIPOC.....	6
Figura 2.2 Voz del Cliente	7
Figura 2.3 Árbol CTQ clasificado por factores críticos	8
Figura 2.4 Matriz Importancia-Urgencia.....	8
Figura 2.5 Producción cajas/hora al día	10
Figura 2.6 Producción anual de mangos	11
Figura 2.7 Destino de exportación.....	11
Figura 2.8 Producción de Tommy Atkins mes de noviembre	12
Figura 2.9 Reunión para validación de datos	16
Figura 2.10 Datos de recepción en mecánica 2.....	16
Figura 2.11 Pesado de fruta rechazada.....	17
Figura 2.12 Carta de control del proceso de empaque	17
Figura 2.13 Informe de capacidad del proceso.....	18
Figura 2.14 VSM del proceso	19
Figura 2.15 VSM con cuello de botella y fábrica escondida.....	20
Figura 2.16 Línea de tiempo del proceso productivo	21
Figura 2.17 Lluvia de ideas de causas	22
Figura 2.18 Reunión con el equipo encargado	22
Figura 2.19 Diagrama Ishikawa de causas.....	23
Figura 2.20 80-20 causas potenciales.....	25
Figura 2.21 Diferencia de medias entre muestras de días con y sin paros	27
Figura 2.22 Relación entre tiempos entre lotes y cantidad de gavetas procesadas por hora.....	27
Figura 2.23 Rechazo de fruta por lote	28
Figura 2.24 Diferencia de medias productividad (turno día y turno noche) recepción...	29
Figura 2.25 Devolución de jaulas hacia área de enjaulado.....	29
Figura 2.26 Relación entre tiempo de arranque y cantidad de gavetas procesadas	30
Figura 2.27 Relación entre tiempo entre lote y gavetas/hora.....	30
Figura 2.28 Cajas/minuto procesadas en turno noche vs turno día	31
Figura 2.29 Posibles soluciones para el tratamiento hidrotérmico	33
Figura 2.30 Posibles soluciones para el área de recepción.....	33
Figura 2.31 Soluciones propuestas para el área de empaque.....	33

Figura 2.32 Matriz esfuerzo-impacto	34
Figura 2.33 Mejora en cantidad gavetas procesadas/hora	35
Figura 2.34 Cantidad de gavetas procesadas	36
Figura 2.35 Muestra tomada en mañana.....	37
Figura 2.36 Muestra tomada en la tarde.....	37
Figura 2.37 Muestra tomada en la noche	38
Figura 3.1 Simulación del proceso de empaqueo de mangos.....	41
Figura 3.2 Prueba T diferencia de medias (simulación vs real)	42
Figura 3.3 Situación inicial.....	42
Figura 3.4 Situación mejorada.....	43
Figura 3.5 Throughput línea de empaque.....	43
Figura 3.6 Análisis de capacidad de proceso mejorado.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ingresos noviembre 2018	11
Tabla 2.2 Plan de recolección de datos	13
Tabla 2.3 Comentarios adicionales en el plan de recolección de datos	14
Tabla 2.4 Tiempos recolectados en VSM	19
Tabla 2.5 Ponderación de calificaciones de causas	23
Tabla 2.6 Impacto generado en las causas potenciales	24
Tabla 2.7 Plan de verificación de causas	26
Tabla 2.8 Resultado de verificación de causas	31
Tabla 2.9 Causas Raíz	32
Tabla 2.10 Soluciones propuestas	33
Tabla 2.11 Estimación costos-beneficios de soluciones	34
Tabla 2.12 Tiempo de calentamiento de tanques	36
Tabla 2.13 Plan de Control	39

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

La compañía en la que se desarrolló el presente proyecto se dedica a la producción y exportación de frutas exóticas a Estados Unidos, Canadá y varios países de Europa desde el año 1991. Aunque la planta trabaja todo el año empaquetando frutas como banana, papaya y pitahaya, es en la temporada de septiembre hasta enero que la planta utiliza mayormente sus recursos con el tratamiento y empaque de mango, fruta en la cual se centra este proyecto.

La empresa cuenta con procesos bien definidos para la producción del mango las cuales son: recepción, tratamiento hidrotérmico, reposo, empaquetado y enfriamiento, los cuales son claves a la hora de cumplir con varias marcas comercializadas en el exterior en reconocidos retails.

El presente proyecto nace a partir de la necesidad de aprovechar y explotar a la máxima capacidad todos los recursos disponibles en planta durante la temporada de la fruta (septiembre – diciembre), con la finalidad de aumentar la cantidad de cajas de mango producidos por hora, mejorando de esta manera su competitividad a nivel internacional.

1.2. Justificación del problema

La variable de medición representativa de este proyecto es el throughput, la cual es traducida como la productividad de la compañía medida en base a las cajas producidas por hora al final de la línea de empaque de mango. La finalidad de este proyecto es aumentar dicha productividad al final de la línea reduciendo tiempos que no agreguen valor al proceso.

El alcance del proyecto comprende desde la parte de recepción y calibración de la fruta, pasando por su respectivo tratamiento hidrotérmico, hasta llegar al reposo de la fruta y su posterior empaque.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Aumentar al menos un 24% la cantidad de cajas producidas al final de la línea de empaque de mango para la temporada 2020.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar actividades que agregan y no agregan valor, así como también los procesos considerados como cuellos de botella.
- Proponer mejoras en áreas involucradas en el proceso.
- Optimizar el flujo de lotes de fruta desde su arribo a la planta hasta el empaque.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Metodología DMAIC

DMAIC (Rama Shankar, 2009) es una metodología que forma parte de la filosofía Lean Six Sigma, la cual toma un problema que ha sido identificado por una organización y genera soluciones que disminuyan o eliminen los efectos de dicho problema, utilizando una serie de técnicas y herramientas. La metodología DMAIC está conformada por cinco fases las cuales son Definición, Medición, Análisis, Implementación y Control.

Definición

La fase de definición se asegura de que el problema se alinea a las características de DMAIC, además que esta se alinee a las necesidades prioritarias de la compañía. La fase de definición empieza identificando un problema con el soporte de la parte administrativa de la compañía, con la cual más adelante se pasará de tener un problema macro a uno más específico al cual abordar. Las principales herramientas utilizadas en esta fase son las siguientes:

- SIPOC: diagrama con el cual se comprende de una mejor manera las entradas y salidas de cada proceso, así como también los proveedores y clientes de cada etapa.
- VOC: Herramienta utilizada para conocer necesidades de los departamentos involucrados en el proceso, con las cuales se buscará la métrica principal.

- CTQ: Árbol de requerimientos de calidad en el cual se muestran todos los requerimientos de la compañía traducidos a métricas.

Medición

Una vez el problema ha sido estratificado identificando los aspectos que generan mayor relevancia dentro del proceso seleccionado se definen los parámetros que deben ser medidos para un mejor entendimiento del problema. Algunas de las herramientas más usadas son las siguientes.

- Mapeo del proceso: Dependiendo del problema a abordar se suelen utilizar diagramas detallados, funcionales o VSM (Value Stream Mapping)
- Plan de recolección de datos: Este esquema señala aspectos importantes sobre la recolección de datos variables a ser medidos, en este plan se encuentra información sobre cómo, dónde, cuándo y responsables de dicha recolección.

Análisis

Mediante análisis estadístico se analiza los datos recolectados en la fase anterior para descubrir indicios sobre causas potenciales del problema. Adicionalmente, se realizan pruebas de hipótesis sobre si los aspectos analizados son posibles causantes de la problemática a abordar. Para el correcto análisis de dichas causantes se suelen utilizar diagramas de Pareto, diagramas de Ishikawa (causa-efecto) y softwares estadísticos que ayuden a comprobar información de manera eficiente y eficaz.

Mejora

Para la cuarta fase de la metodología DMAIC se han encontrado ya las causas que ocasionan mayores efectos sobre la problemática principal. En esta etapa el equipo de trabajo propone mejoras sobre las causas que se consideren necesarias u oportunas. En muchas ocasiones se suelen hacer pruebas con softwares de simulación para entender el comportamiento del proceso previo a aplicar mejoras en la vida real. En esta fase se detallan nuevos diagramas sobre el proceso al cual se han realizado mejoras y su respectivo cambio.

Control

Finalmente, esta fase consiste en dar seguimiento a todas las mejoras que se han implementado, además esta parte se observan los objetivos conseguidos en el proyecto

asegurándose así que dichos cambios mantengan una mejora en el proceso a lo largo del tiempo.

1.4.2. Exportación de mango en Ecuador

Hace más de 20 años empieza la exportación de frutas exóticas desde Ecuador, una de estas el mango. Las condiciones ambientales del país hacen que se pueda desarrollar la fruta en óptimas condiciones para luego ser procesada y exportada a diferentes continentes. Desde los años 90 se dio una apertura comercial para estas frutas no convencionales que en la actualidad representan alrededor de 143.173 toneladas hasta 2018 (Banco Central del Ecuador).

El 90% de todas las hectáreas destinadas a la producción de esta fruta se encuentran en la provincia del Guayas y de estas, el 84% son solamente destinadas a su exportación. (ProEcuador, 2017)

Aunque son varios los destinos que acogen la producción de mango es Estados Unidos quien se lleva el 91.75% de las exportaciones totales representando estas USD 45.18 millones FOB, siendo la variedad Tommy Atkins la más apetecida (Fundación de mango de Ecuador, 2017).

Existen varias empresas a nivel nacional que se encargan de la producción y comercialización de este producto a nivel internacional, las cuales consideran estrictos estándares de calidad para la fruta, debido a que, principalmente, Estados Unidos exige tratamientos hidrotérmicos para eliminar posibles alojamientos de mosca de fruta, las cuales están regidos mediante un plan entre Ecuador y Estados Unidos. (Operational work plan for the Ecuadorian hot water mango treatment and preclearance program, 2015).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

A lo largo del proyecto se aplicó la metodología DMAIC, la cual sirvió para estructurar el procedimiento con el cual se logró el cumplimiento de los objetivos descritos en el Capítulo 1. A partir de la problemática general se debe identificar la variable medible que se desea mejorar. Es necesario establecer, mediante análisis estadísticos, las causas que impactan negativamente a la variable y por medio de herramientas de mejora continua encontrar las oportunidades de mejora que mitiguen estas causas. Con el fin de que las soluciones implementadas perduren a través del tiempo se requiere de la elaboración de un plan de control que permita alertar cuando se esté alejando la variable de sus valores permitidos.

2.1. Definición

Todo proyecto de mejora continua requiere la identificación de una variable de interés que responda a la problemática principal de los clientes. Inicialmente y a partir del uso de la herramienta SIPOC figura 2.1 (Supplier, Input, Process, Output and Customer) se establecieron los clientes de cada uno de los procesos involucrados que son las personas interesadas en resolver el problema. Los clientes son: el subgerente general, el jefe de planta y la coordinadora de Calidad.

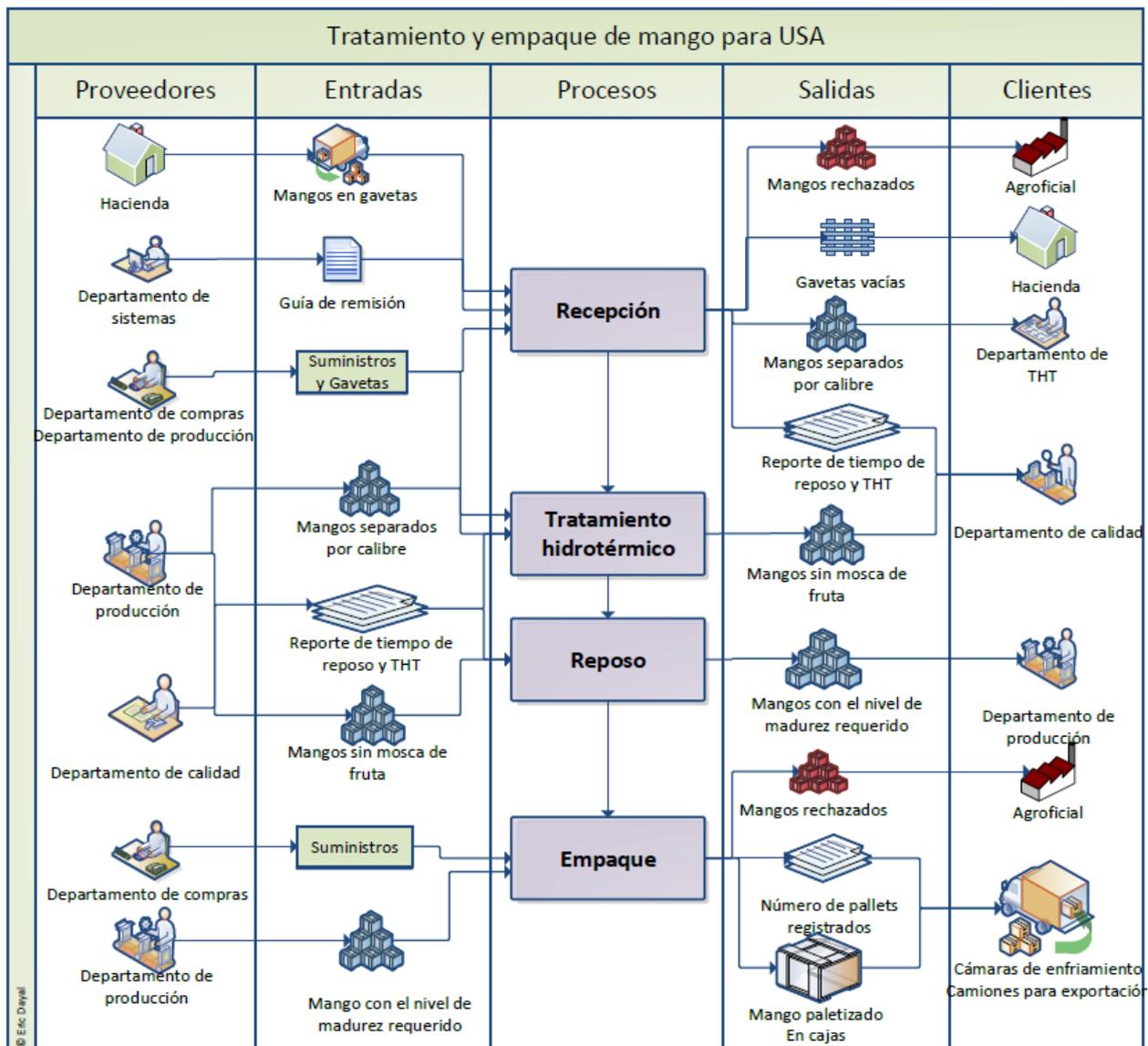


Figura 2.1 SIPOC

Para determinar la variable respuesta se inició escuchando la voz del cliente (VOC), en donde se reunió a los interesados expuestos anteriormente con el fin de recibir la mayor cantidad de problemas que aquejan a la productividad de la planta. Algunas de las ideas recolectadas se muestran en la figura 2.2:

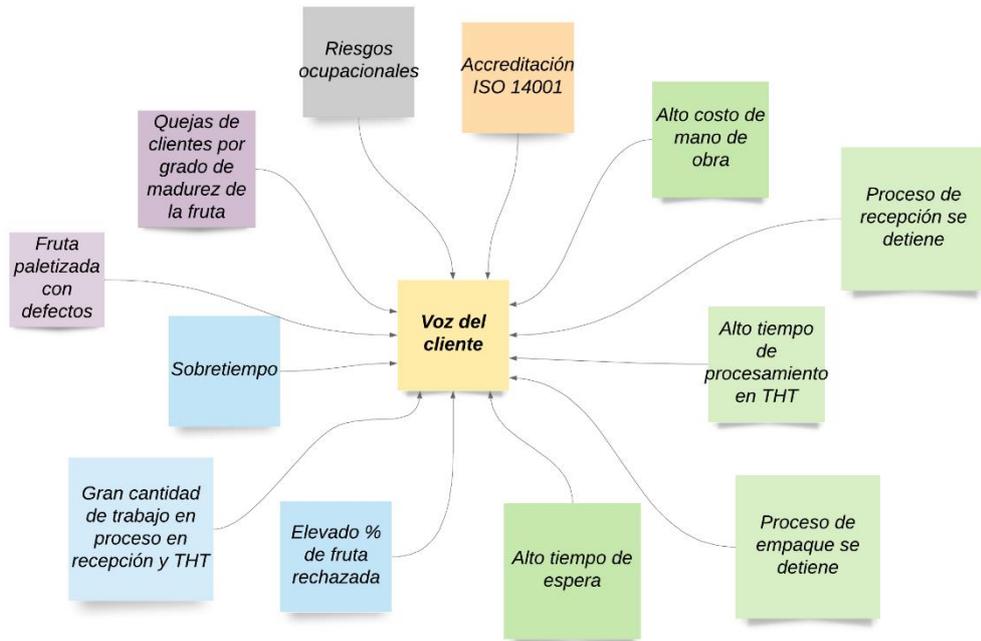


Figura 2.2 Voz del Cliente

Con esta información se procedió a implementar la herramienta Árbol de Criterios de Calidad o CTQ (Critical to Quality) Tree, la cual busca traducir las necesidades recolectadas de los clientes en variables que puedan ser medidas y afrontadas para una posible mejora.

Adicionalmente, en esta herramienta se señalan tres pilares fundamentales conocidos como triple línea base los cuales envuelven las necesidades del cliente en aspectos críticos dentro y fuera de la empresa. Las necesidades están centradas en tres campos: económico, social y ambiental. A continuación, se muestra el resultado final de la herramienta utilizada en la figura 2.3:

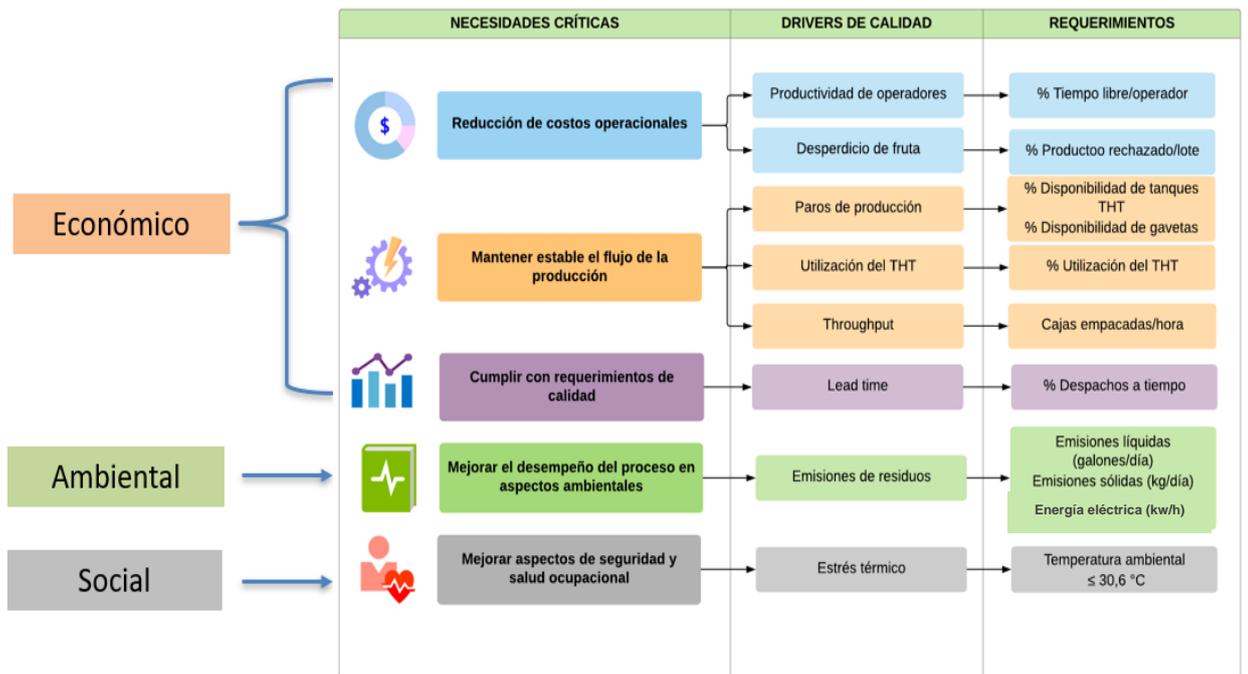


Figura 2.3 Árbol CTQ clasificado por factores críticos

Por medio de la aplicación de la Matriz Importancia-Urgencia mostrada en la figura 2.4 se evaluaron los criterios de calidad obtenidos en consenso con el personal reunido y se determinó la métrica principal, es decir, la variable medible en la que se centró el proyecto.

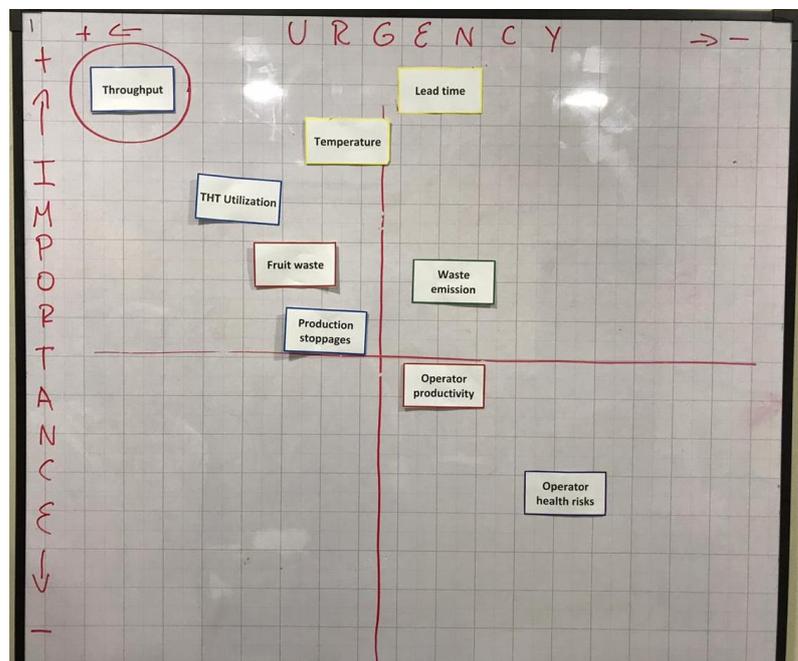


Figura 2.4 Matriz Importancia-Urgencia

El requerimiento de calidad escogido es el siguiente:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Cajas empacadas al día}}{\text{Horas trabajadas al día}} \quad (1,1)$$

Como fue mencionado previamente en la introducción, la planta cuenta con varios procesos definidos los cuales serán analizados en este proyecto. Sin embargo, el alcance de este proyecto es desde la recepción y clasificación del mango en gavetas, pasando por el tratamiento en piscinas hidrotérmicas para después permanecer en reposo hasta llegar al proceso de empaque de la fruta. Luego, el siguiente proceso es el enfriamiento de fruta en cámaras y embarque a los contenedores, procesos que se encontraban formando parte de otro proyecto de optimización. El producto terminado que resulta del proceso de empaque son cajas de 4.2Kg en diferentes variedades de mango.

A continuación, se detallan las restricciones que se toman en consideración, tanto dentro como fuera de la planta:

- El puerto marítimo y la compañía encargada del transporte de la fruta al exterior presentan sus propias fechas límites con las cuales la producción debe adaptarse.
- La producción de la planta depende del tiempo entre arribo de camiones con fruta desde las haciendas, es decir, va a haber más o menos producción de acuerdo con la cantidad y hora en la que llegue la materia prima.
- El estado de maduración inicial con el que la fruta arriba a la planta es un factor crítico ya que de este depende la cantidad de tiempo que pase en el proceso de reposo previo a ser empacada.

Para el presente proyecto se realiza la definición del problema en base a datos reales mostrados en la figura 2.5 y en objetivos que pueden ser medibles y alcanzables considerando la más alta productividad obtenida previamente. La definición se muestra a continuación:

“De acuerdo con datos históricos (noviembre 2018) el throughput en el área de empaque es de 5948 cajas/hora, mientras que la meta del proyecto es de 7371 cajas por hora en la producción de mangos”

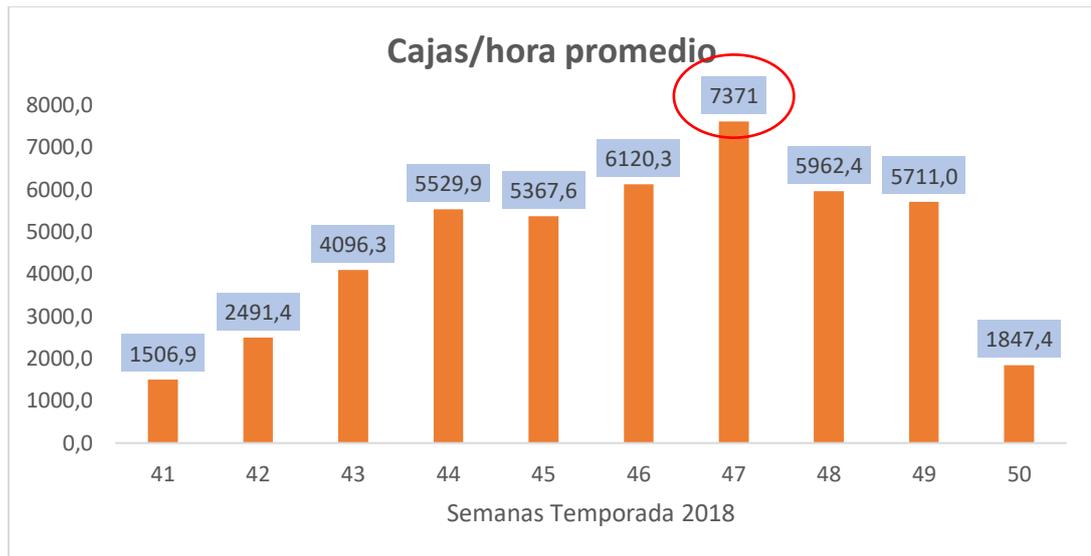


Figura 2.5 Producción cajas/hora al día

2.2. Medición

Con el fin de enfocarse en el problema real que existe en la línea empacadora de mangos, se realizó una estratificación del problema. Los criterios considerados fueron: producción mensual, destino de exportación y variedad del mango.

De acuerdo con la data otorgada por el departamento de sistemas, se analizó el comportamiento de la producción del mango desde el año 2015 en adelante. Los hallazgos fueron los siguientes: el mes de la temporada con mayor producción es noviembre y este porcentaje se incrementa a largo de los años en un 6.67% en promedio, lo cual indicó que se debe trabajar en el problema para este periodo crítico de producción mostrado en la figura 2.6.

Según el personal de la empresa este mes es el “pico” en donde la mayor cantidad de problemas se evidencian.

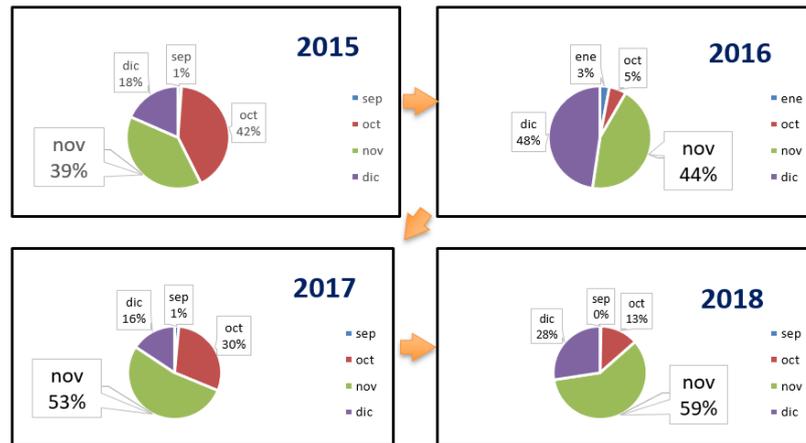


Figura 2.6 Producción anual de mangos

Otro criterio para considerar es el destino de exportación, debido a que Estados Unidos recibe el 73% de la producción anual y específicamente para este país se requiere el tratamiento hidrotérmico adicional que previene la aparición de la larva de mosca de fruta, el cual es un proceso crítico para analizar (figura 2.7).

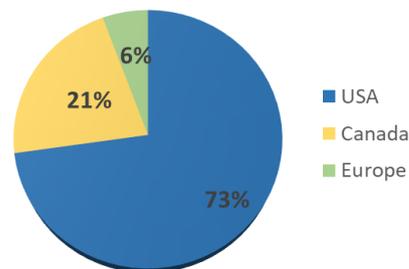


Figura 2.7 Destino de exportación

El último aspecto de estratificación es la variedad del mango, de acuerdo con la producción y por ende a los ingresos de cada uno de ellos se priorizó el análisis de la variedad Tommy Atkins, el cual representa el 92% de los ingresos totales de la compañía presentados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Ingresos noviembre 2018

Variiedad	Ingresos (Nov, 2018)	Porcentaje
TO	\$ 1.877.146	92%
AT	\$ 69.295	3%
KE	\$ 44.495	2%
HA	\$ 39.611	2%
KI	\$ 16.046	1%
TOTAL	\$ 2.046.592	100%

Es así como se estratificó el problema general y se procedió a redefinirlo de manera enfocada:

“De acuerdo con datos históricos (noviembre 2018) el throughput en el área de empaque es de 5948 cajas/hora, mientras que la meta del proyecto es de 7371 cajas por hora en la producción de mangos de variedad Tommy Atkins con destino a Estados Unidos”

A continuación, en la figura 2.8, se muestra la gráfica de la producción de mango del mes de noviembre especificando el promedio actual, el máximo al que se ha llegado y el objetivo al cual se desea llegar a partir de las soluciones propuestas.

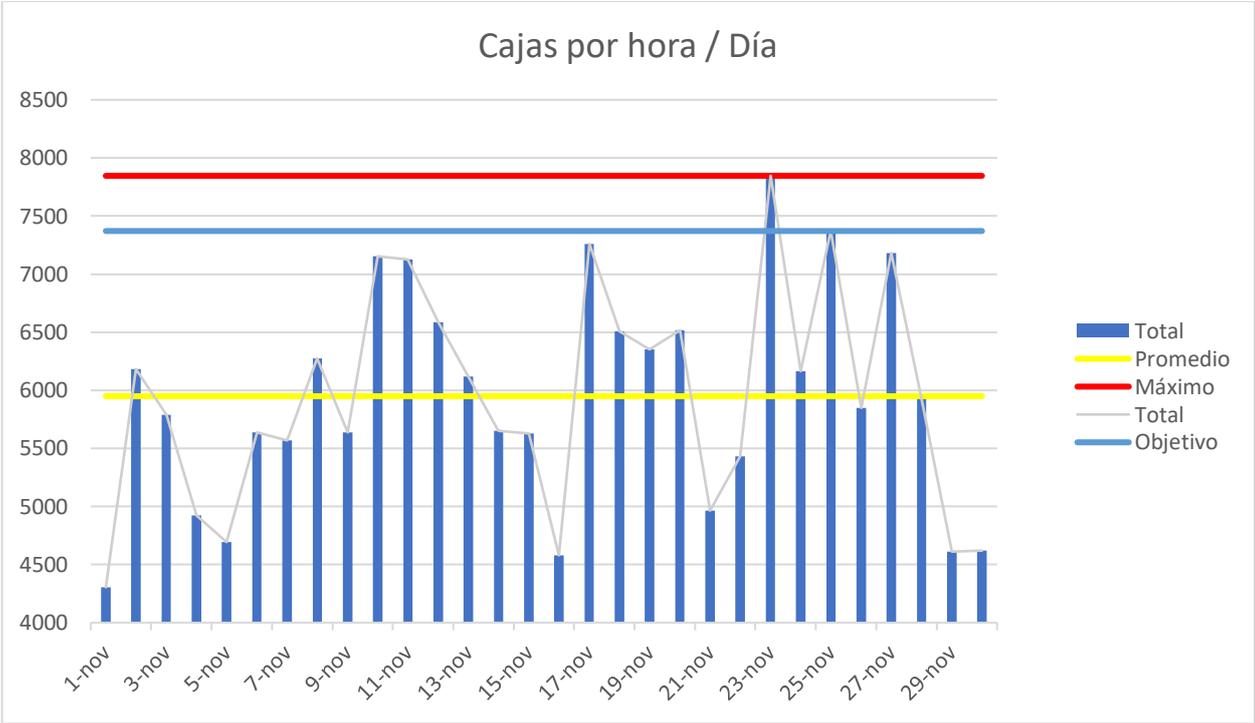


Figura 2.8 Producción de Tommy Atkins mes de noviembre

Se procedió a levantar información de procesos de interés, que va desde la recepción de la fruta hasta su empaque en cajas de 4.2 kg. Se realizó un repaso general de todas las actividades y causas que afecten a la métrica principal. Además, se realizó el mapeo de todo el proceso de manera que se pueda apreciar cual es el Lead Time para una gaveta de mangos dentro de cada etapa en la planta.

2.2.1. Plan de recolección de datos

En la tabla 2.2 que se muestra a continuación, se presenta el plan de recolección de datos, el cual tiene la finalidad de obtener información útil para llegar al objetivo general del proyecto. Con esta información se dio pie al mapeo general del proceso para entender el comportamiento de las gavetas de fruta dentro de cada etapa.

Tabla 2.2 Plan de recolección de datos

Quiénes?	Qué?				Dónde?	Cuando?	Cómo?		Por qué?
Persona a cargo	Nomenclatura	Significado operacional	Unidad de medida	Tipo de dato	Donde recolectar?	Cuando recolectar?	Método de observación	Método de recolección	Por qué recolectar?
Gabriela & Adrian	X1	Throughput	Cajas/Hora	Cuantitativa-Continua	Base de datos	Fase de medición	Base de datos	Datos históricos	Permite mejorar la métrica principal
Gabriela & Adrian	X2	Tiempo de calibración	Minutos/gaveta	Cuantitativa-Continua	Base de datos	Fase de medición	Base de datos	Datos históricos	Permite analizar la capacidad del proceso
Gabriela & Adrian	X3	Tiempo de pesado	Minutos/gaveta	Cuantitativa-Continua	Fabric	Fase de medición	Observación directa	Cronometro	Determina que tan rápido es el proceso de recepción
Gabriela & Adrian	X4	Tiempo de preparación de THT	Minutos/tipo de Tanque	Cuantitativa-Continua	Fabric	Fase de medición	Observación directa	Cronometro	Permite determinar la disponibilidad de los tanques de THT
Gabriela & Adrian	X5	Tiempo de reposo	Horas	Cuantitativa-Continua	Base de datos	Fase de medición	Base de datos	Datos históricos	Permite verificar cuanto tiempo pasan los lotes de fruta en esta etapa
Gabriela & Adrian	X6	Tiempo de empaque	Minutos/gaveta	Cuantitativa-Continua	Base de datos	Fase de medición	Base de datos	Datos históricos	Permite analizar la capacidad del proceso
Gabriela & Adrian	X7	% Desperdicio de fruta diario	Kg de fruta rechazada/ Kg totales de fruta recibe	Cuantitativa-Continua	Base de datos	Fase de medición	Base de datos	Datos históricos	Permite determinar el desperdicio de fruta diario
Gabriela & Adrian	X8	Cantidad de gavetas de fruta que arriivan	Gavetas/Dia	Cuantitativa-Continua	Base de datos	Fase de medición	Base de datos	Datos históricos	Permite determinar la entrada de materia prima del proceso

Cabe mencionar que para cada una de las X's a medir existen comentarios importantes en cuanto a nivel de confianza, % de error, números de muestra para una posterior verificación de datos los cuales son mostrados en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Comentarios adicionales en el plan de recolección de datos

Nomenclatura	Significado operacional	Comentarios
X1	Throughput	Validación en Gemba (Diferencia de medias)
X2	Tiempo de calibración	Validación en Gemba (Diferencia de medias)
X3	Tiempo de pesado	n=30, error=8%, α=0,05
		Existen 4 salidas para pesado dentro de 2 mecánicas, por lo que se toman 120 muestras
X4	Tiempo de preparación de tanques THT	n=10, error=10%, α=0,05
		Solo una preparación al día
X5	Tiempo de reposo	n=10, error=10%, α=0,05
		Solo una preparación al día
X6	Tiempo de empaque	Muestras por cada línea de empaque
		L1= 30, L2=47, L3=58
		error=8%
X7	% Desperdicio de fruta diario	Validación en Gemba (Diferencia de medias)
X8	Cantidad de gavetas de fruta que arriivan	Validación en Gemba (Diferencia de medias)

2.2.2. Verificación de datos

Se realizó la verificación de cada una de las métricas consideradas en el plan de recolección de datos. Cabe recalcar que existieron dos tipos de verificación, cuando existían datos históricos y cuando no. Para conocer la cantidad de datos que nos sirvieron como muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \left(Z\alpha \frac{\sigma}{\delta} \right)^2 \quad (1,2)$$

Se verificó la información que no poseía datos históricos en sistemas de la siguiente manera:

- Tiempo de pesado: esta métrica forma parte del proceso de calibración, en la cual un operario recibe fruta en gavetas que va pasando según lleguen a un tope establecido en la gaveta de manera visual. En dicho proceso existen dos máquinas de calibración llamadas mecánicas, en las cuales principalmente se separa producto que pasará al tratamiento hidrotérmico, siendo esta clasificada en 75 y 90 minutos. De manera concisa existen 2 salidas mayoritarias de productos, por lo que se toman muestras de 30 datos para cada una de las salidas, es decir, en total se recolectaron 120 muestras de dicha métrica.

- Tiempos de preparación de tanques THT: debido a que en muchas ocasiones el Set Up de los tanques hidrotérmicos se realizan cada 1 o 2 días, se considera una muestra de 10 datos para cada uno de los tanques en cuestión. La manera de validar estos datos es por medio de reuniones con el encargado principal del proceso hidrotérmico, el cual también fue encargado de tomar cada uno de los tiempos requeridos.
- Tiempos de empaque: estos tiempos hacen referencia al tiempo que de manera manual las operarias del área de empaque llenan una caja de 4.2 Kg. Al no existir data histórica fue necesario tomar muestras. Lo particular de este proceso es que existen 3 mesas o líneas diferentes de empaque. En las líneas 1 y 2 se encuentra personal capacitado, mientras que en la línea 3 se encuentra personal novato. Se verificó el comportamiento de esta actividad con la cantidad de muestras mostradas en la tabla 2.3.

Por otro lado, existen datos que ya se encontraban en el sistema de años anteriores. Para la verificación de dichos datos y debido al comportamiento del proceso por temporada, se seleccionó información de la temporada 2018, ya que estos valores son los más cercanos a la situación actual de los procesos de la compañía.

Para la recolección del resto de datos, se realizaron visitas a la planta (Gemba walk), en las cuales se observó el comportamiento y características reales de estos procesos y adicionalmente se realizan entrevistas con el personal a cargo para entender la manera en que los valores fueron recolectados por el departamento de Sistemas. A los cuales se realizaron pruebas estadísticas de diferencias de media entre datos recolectados en papel con datos en sistemas para evidenciar su veracidad.

A continuación, se detalla el procedimiento de la recolección de datos para estos casos especiales:

- Throughput: Se realizaron reuniones con el jefe de planta (figura 2.9), el cual valida la información presentada en sistemas e informa de la manera en que la información es recolectada al final de la línea.



Figura 2.9 Reunión para validación de datos

- Tiempo de calibración: para esta métrica se observa que el personal de recepción anota el tiempo de inicio y final de cada proceso (figura 2.10), además del número de lote y la cantidad de gavetas recibidas.

Lote	Hora	L. A. →	G. Recibido	Unid	G. Recibido	S. Recibido	H. Inicio	H. Final	Dest
302	Gov. 1	3	1097	70	211	713	17:05	17:41	USA
304	CV. 1	1	12387	70	459	478	17:58	18:18	USA
306	CV. 1	10	12387	70	241	244	18:23	18:33	USA
308	Pivona	4	15602	70	612	631	18:48	19:21	USA
310	COMITAS	2	00362	70	542	578	19:48	20:51	USA
312	COMITAS	2	00363	70	286	303	21:01	21:16	USA
314	Gov. 1	3	10977	70	680	732	21:53	22:29	USA
315	Pivona	2	15604	70	600	693	22:41	23:15	USA
319	Pilot	3	4781	70	300	321	23:30	23:45	USA
320	Pilot	1	4782	70	420	439	23:54	00:23	USA
321	S/line	3	0005	70	484				USA

Figura 2.10 Datos de recepción en mecánica 2

- % Desperdicio de fruta diario: en este caso se observa que la fruta considerada rechazo de producción es colocada en balanzas para ser pesadas, ya sea en el área de empaque o en área de recepción, por lo que se realizó una comparación en el sistema de la cantidad de desperdicio de fruta inicial y la fruta que queda luego de los procesos de recepción y empaque (figura 2.11).



Figura 2.11 Pesado de fruta rechazada

2.2.3. Situación inicial del proceso

Teniendo en cuenta que el Throughput (cajas/hora) es la métrica más importante del proyecto se obtuvo un vistazo general del proceso en cuanto a su estabilidad y capacidad obteniendo lo mostrado en la figura 2.12

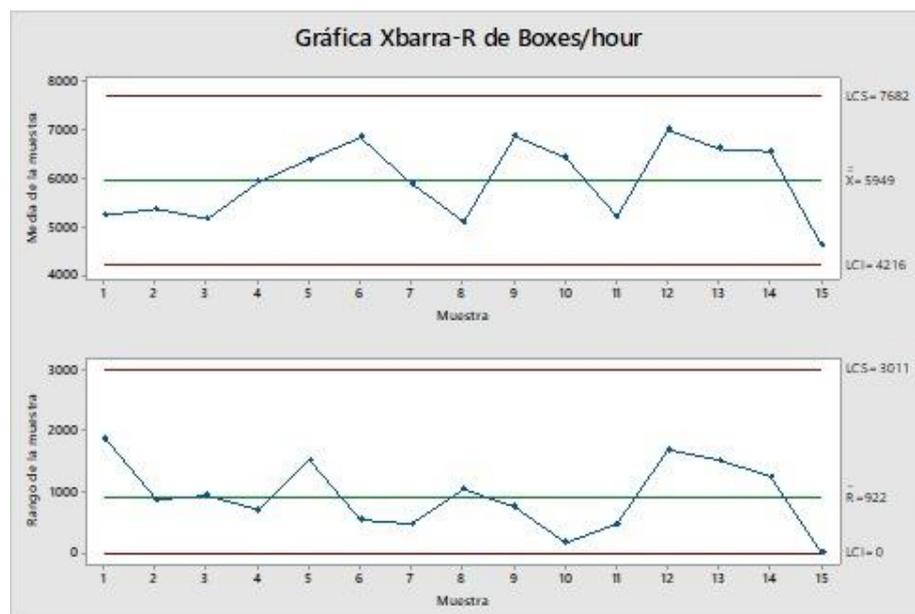


Figura 2.12 Carta de control del proceso de empaque

En la figura anterior se presentan los resultados de la cantidad de cajas de mango producidas de los 14 días que lleva iniciada la producción de la temporada 2019. El proceso antes de las mejoras se encuentra dentro de control estadístico, lo que significa

que no existen causas asignables o comunes que afecten la variación o comportamiento natural del proceso.

Por otro lado, en la figura 2.13 se muestra un valor Ppk de 0.18 se determinó que el proceso se encuentra fuera del límite inferior de especificación lo cual refleja grandes oportunidades de mejora.

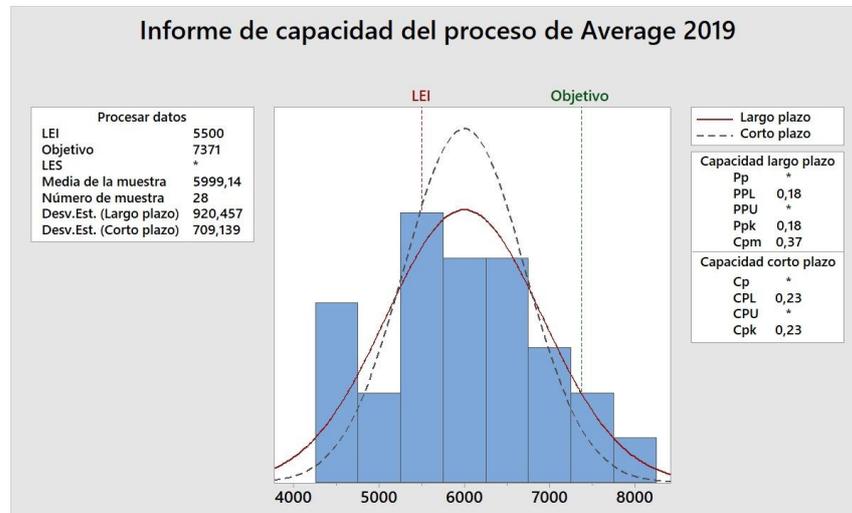


Figura 2.13 Informe de capacidad del proceso

2.2.4. Proceso detallado

En esta etapa de la fase de medición se necesita una visión más profunda del proceso que lleva la fruta dentro de la planta, por lo cual se divide en los cuatro procesos antes mencionados, es decir, desde la recepción de la materia prima hasta el empaque de esta. En esta fase fue necesario la identificación de los cuellos de botella que hacen que el proceso dentro de la planta no fluya de manera óptima. Cabe recalcar que se tomó muestras directamente de las líneas y además se utilizaron datos históricos para hacer el cálculo del tiempo que pasa una sola gaveta de mango en cada parte del proceso o en los buffers. Se decidió usar la unidad de medida en gavetas ya que agiliza los cálculos de los tiempos de ciclo debido a que la planta lleva registros de gavetas recibidas, gavetas en tratamiento hidrotérmico, en reposo y gavetas utilizadas para el proceso de empaque. En la figura 2.14 se muestra un VSM con la información levantada sobre el proceso actual.

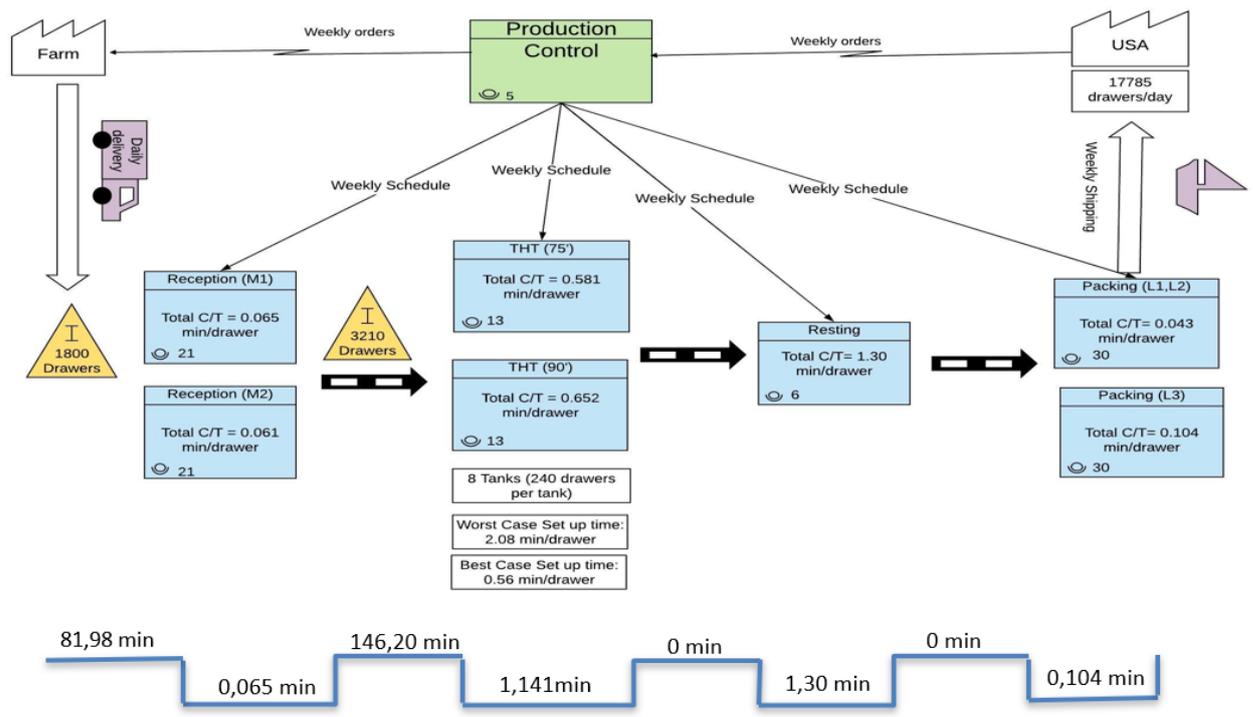


Figura 2.14 VSM del proceso

Tabla 2.4 Tiempos recolectados en VSM

Tiempo total	230.79
	min/Gaveta
No agrega	228.18
valor	min/Gaveta

De las figuras anteriores se puede observar que aproximadamente el 98.87% del tiempo total no agregan valor, concluyendo que existe posibilidades de mejora dentro del proceso. Adicionalmente, en la figura 2.15 se observa que el cuello de botella es el tratamiento hidrotérmico, que cuenta con 8 tanques que tienen diferentes métodos de calentamiento y por ende distintos tiempos hasta llegar a la temperatura deseada. Esto evita que todos los lotes que salen de recepción se procesen creando un buffer previo al tratamiento de 11,000 gavetas. También, se puso especial atención al proceso de reposo ya que el mismo espacio que se utiliza para que la fruta llegue al nivel de maduración requerida se lo utiliza también como buffer antes del proceso de empaclado.

Por otro lado, se identificó una fábrica escondida en el proceso de empaclado en donde el 17% de los mangos son rechazados y enviados a otra empresa comercializadora de

pulpa de frutas. Este desperdicio de fruta resulta preocupante ya que el empaque se encuentra al final del proceso productivo, esto quiere decir, que se está desechando producto que previamente se le ha ido agregando valor.

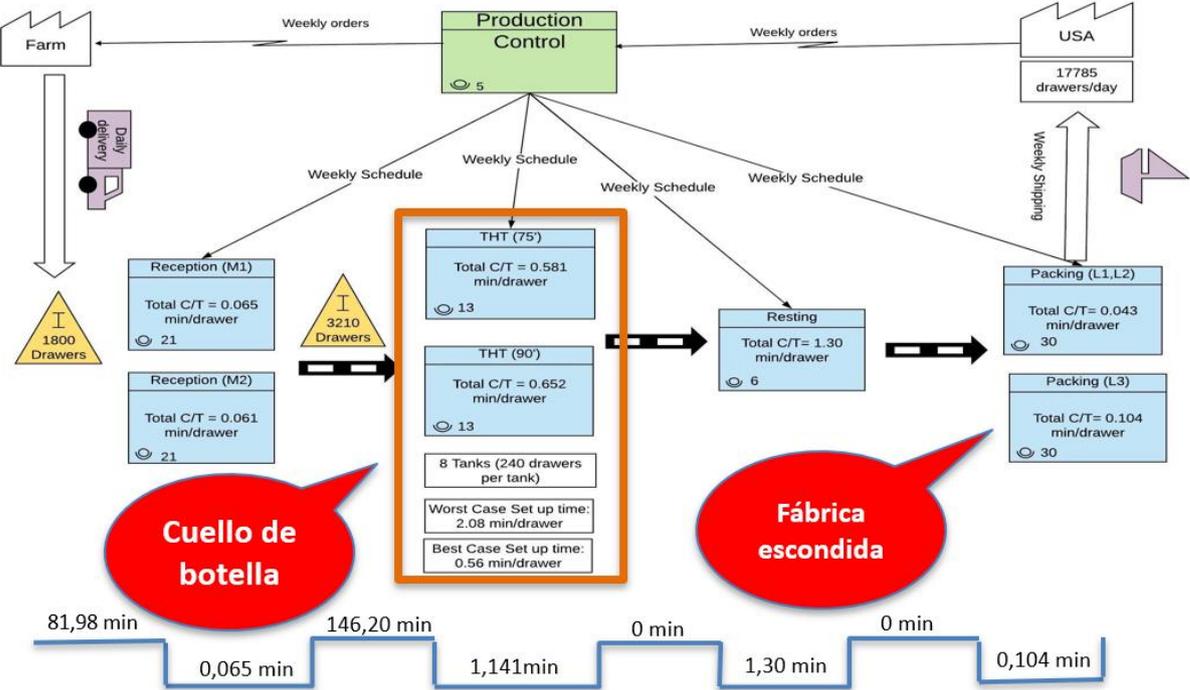


Figura 2.15 VSM con cuello de botella y fábrica escondida

De esta manera se obtiene una línea de tiempo (figura 2.16) en donde se observa el tiempo de procesamiento de un lote promedio de 600 gavetas junto con las variables más importantes que definen y sirven para entender cada proceso, las cuales se recolectan en la etapa de medición.

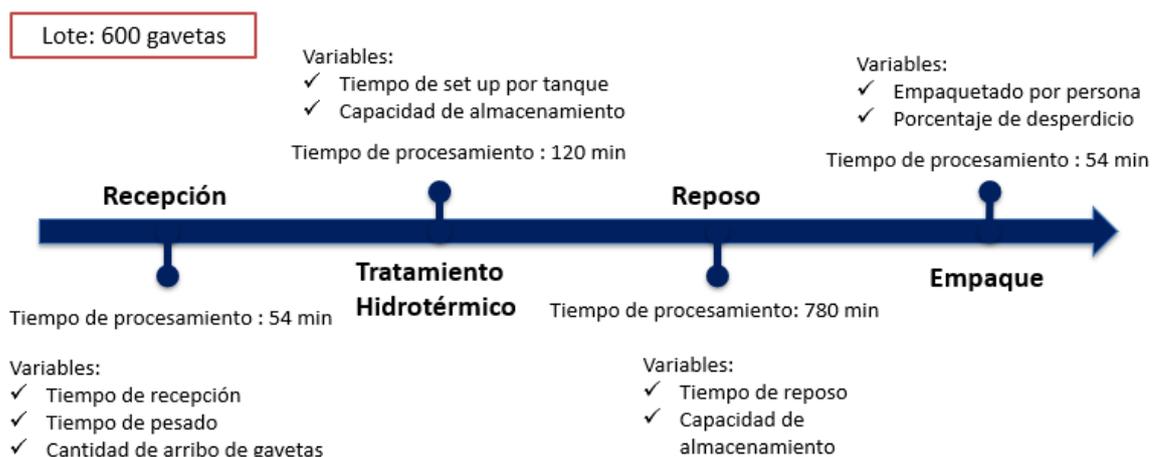


Figura 2.16 Línea de tiempo del proceso productivo

2.3. Análisis

En esta etapa se analizó la cantidad de producto procesado por hora al final de cada uno de los procesos involucrados en la línea. Por lo tanto, en los primeros tres procesos productivos la variable respuesta se mide en gavetas por hora procesadas mientras que, en el proceso de empaque la métrica son cajas por hora.

2.3.1. Análisis de causas

Para iniciar el análisis de causas se realizó una lluvia de ideas mostradas en las figuras 2.17 y 2.18 que podrían afectar la cantidad de cajas por hora que salen del área de empaque, así también, la cantidad de gavetas procesadas por hora en las áreas de tratamiento hidrotérmico, reposo y recepción. La lluvia de ideas fue realizada con todo el equipo de trabajo y personal competente de cada proceso aportando información valiosa para encontrar factores que afecten a cada uno de los procesos.

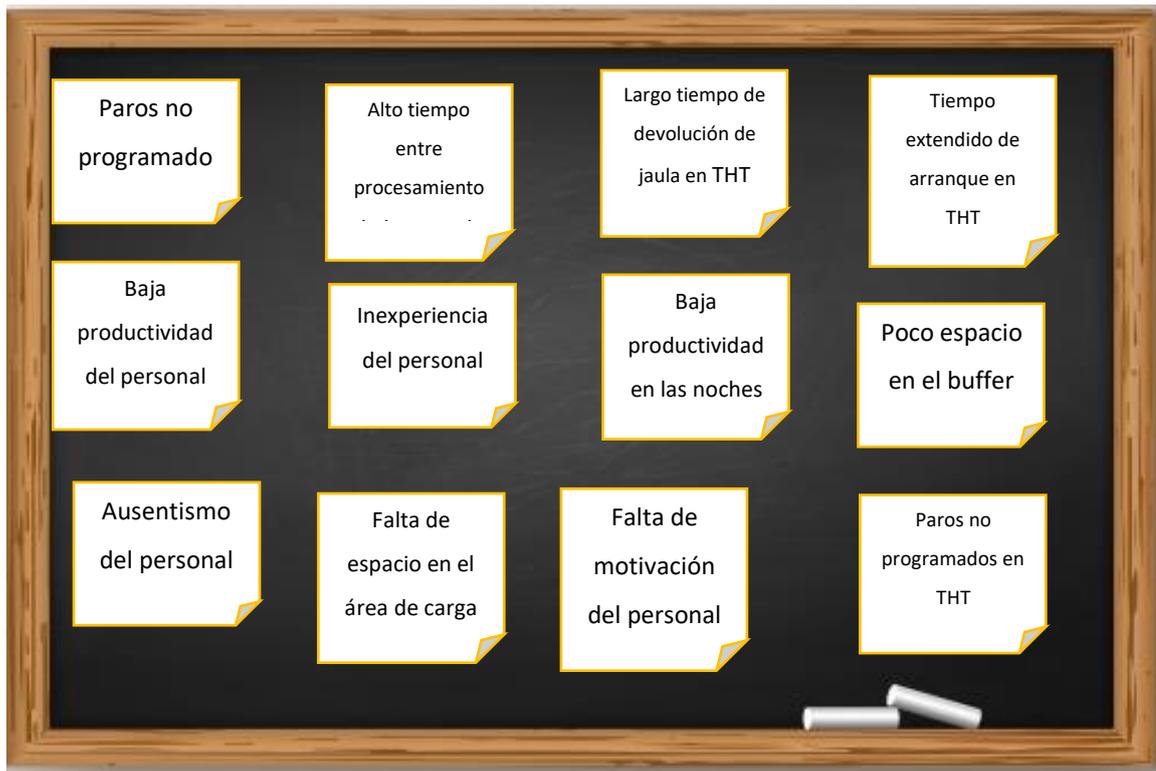


Figura 2.17 Lluvia de ideas de causas



Figura 2.18 Reunión con el equipo encargado

La finalidad de dicha lluvia de ideas fue encontrar la mayor cantidad posible de causas que ocasionen una disminución en la cantidad de producto procesado al final de cada uno de los procesos. A partir de la extracción de esta información se procedió a realizar una clasificación de causas potenciales mediante la aplicación de la herramienta diagrama Causa Efecto detallado en la figura 2.19, en la cual se categorizó por proceso y se distribuyeron las causas de acuerdo con el área que afectan a la variable respuesta.

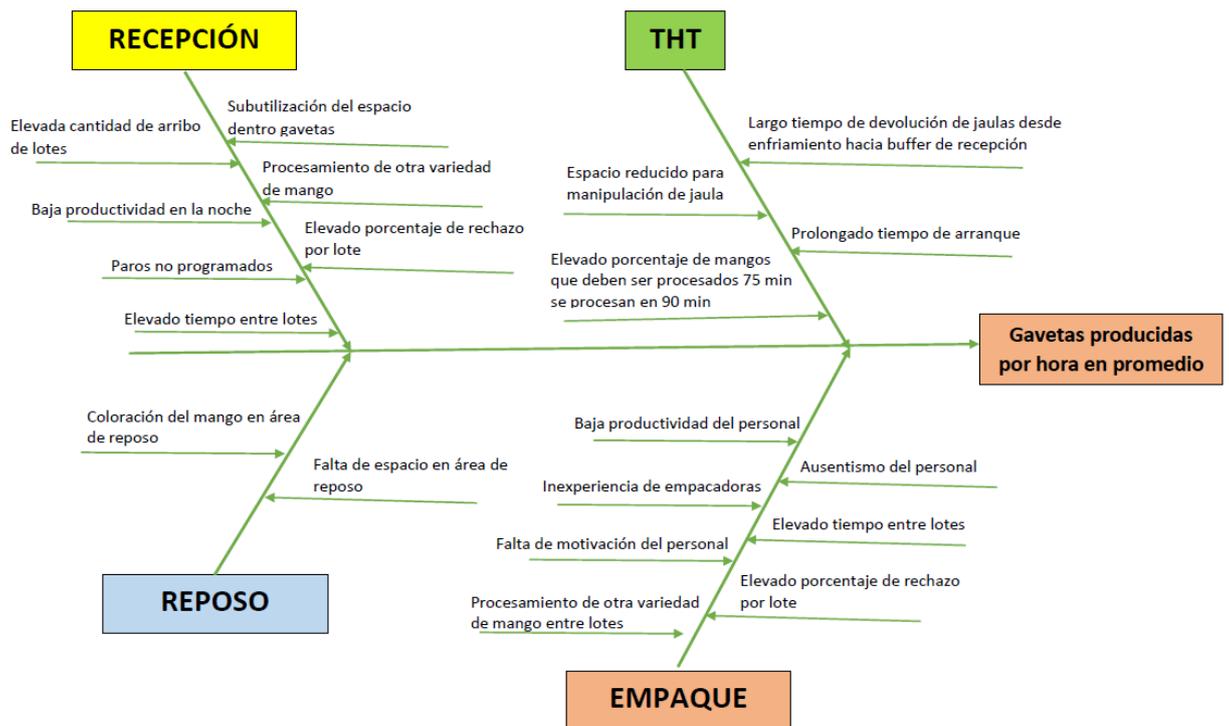


Figura 2.19 Diagrama Ishikawa de causas

Una vez obtenidas estas causas se procedió a analizar el impacto de cada una de ellas mediante una evaluación en escala logarítmica tal como se puede apreciar en la tabla 2.5. Los encargados de calificar las causas de acuerdo a su nivel de relación con la variable respuesta fueron el jefe de producción, la coordinadora de calidad y la asistente de producción.

Tabla 2.5 Ponderación de calificaciones de causas

Nivel de relación	
0	No existe relación
1	Relación baja
3	Relación media
9	Relación alta

Tabla 2.6 Impacto generado en las causas potenciales

Causa	Puntuación
Paros no programados en el área de recepción	9
Elevado Tiempo entre lotes en área de recepción	9
Rechazo por lote en la recepción	9
Largo tiempo de devolución de jaulas desde enfriamiento hacia buffer de recepción	9
Prolongado tiempo de arranque THT	9
Baja productividad del personal por larga jornada en empaquetado	9
Rechazo por lote en empaque	9
Inexperiencia de empacadoras	9
Elevado tiempo entre lotes empaque	9
Baja productividad en la noche en la recepción	9
Espacio reducido para manipulación de jaula	1
Subutilización del espacio dentro gavetas	3
Ausentismo del personal de empaque	3
Procesamiento de otra variedad de mango entre lotes en empaque	3
Elevada cantidad de arribo de lotes en la recepción	3
Falta de espacio en área de reposo	3
Paros no programados de THT	3
Falta de motivación del personal	1
Procesamiento de otra variedad de mango en la recepción	1
Elevado porcentaje de mangos que deben ser procesados 75 minutos se procesan en 90 minutos	1
Coloración del mango en área de reposo	1

Obtenidos los resultados de las evaluaciones de cada especialista se decidió escoger la moda de las calificaciones para obtener la puntuación general, como se aprecia en la tabla 2.6, de las causas y su nivel de impacto en la disminución de la cantidad de producto procesado por hora en cada área.

A partir de esta información se elaboró un diagrama de Pareto tal como se observa en la figura 2.20 en donde se aprecian 10 causas potenciales de mayor influencia, las cuales entraron al posterior plan de verificación de causas.

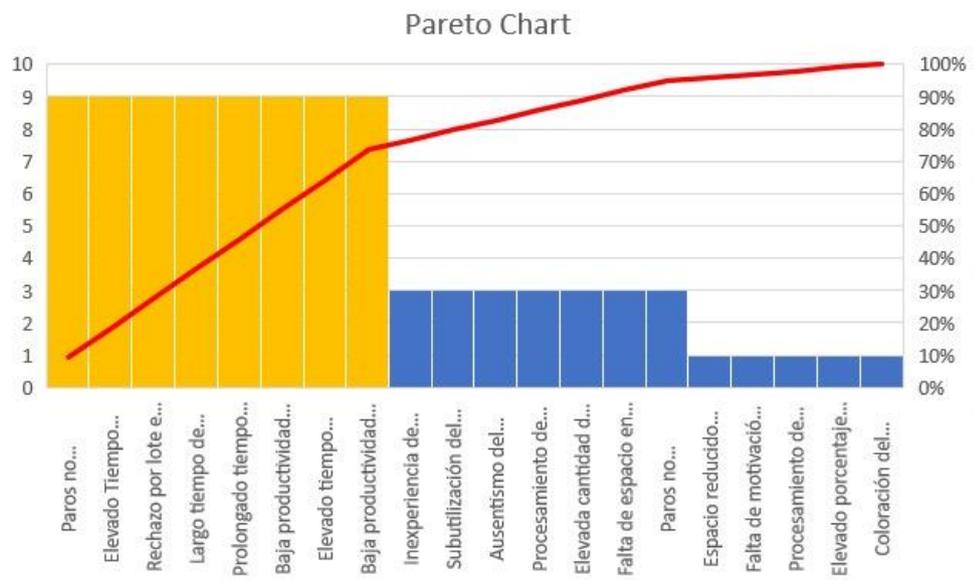


Figura 2.20 80-20 causas potenciales

2.3.2. Verificación de causas

Se elaboró un plan de verificación de causas, el cual se encuentra en la tabla 2.7 donde se detalla el impacto que podría causar el factor seleccionado y la manera en que esta se va a verificar.

Tabla 2.7 Plan de verificación de causas

Causas	Teoría de impacto	¿Cómo verificar?
Paros no programados en el área de recepción	Los paros programados en las clasificadoras mecánicas 1 y 2 del área de recepción disminuyen la cantidad de gavetas procesadas por hora	Diferencia de medias
Elevado tiempo entre lotes en área de recepción	El tiempo elevado entre lotes procesados en el área de recepción disminuye la cantidad de gavetas procesadas por hora	Regresión lineal
Elevado porcentaje de rechazo por lote en la recepción	El elevado porcentaje de rechazo por lote en la recepción disminuye la cantidad de gavetas procesadas por hora	Correlación de Pearson
Largo tiempo de devolución de jaulas desde enfriamiento hacia área de enjaulado	El elevado tiempo de devolución de jaulas desde el Hydrocooling (THT) a la zona de enjaulado disminuye la cantidad de gavetas procesadas por hora	Go-See
Prolongado tiempo de arranque THT	El prolongado tiempo de Set Up de tanques en THT disminuye la cantidad de gavetas procesadas por hora	Regresión logarítmica
Baja productividad del personal en empaquetado	La baja productividad del personal en la tarde y noche disminuye la cantidad de gavetas procesadas por hora	Diferencia de medias
Elevado tiempo entre lotes empaque	El elevado tiempo entre procesamiento de lotes disminuye la cantidad de cajas por hora	Regresión lineal
Baja productividad en la noche en la recepción	La baja productividad en la noche en el área de recepción afecta la cantidad de gavetas procesadas por hora	Diferencia de medias

En cuanto al área de recepción se verifican las siguientes causas:

- **Paros no programados**

Por medio de una diferencia de medias realizada entre dos muestras de cantidad de gavetas procesadas por hora, la primera en donde su tiempo de procesamiento se vio interrumpido constantemente por paros no programados y la segunda con el tiempo de procesamiento estándar de la línea. Las muestras del análisis fueron tomadas en el mes de noviembre 2019.

A partir de este análisis estadístico se comprobó en la figura 2.21 que, con un nivel de confianza de 95% y un valor p cercano a 0, existe una diferencia

significativa entre las medias de ambas muestras afirmando la hipótesis de que los paros no programados disminuyen la cantidad de gavetas obtenidas.

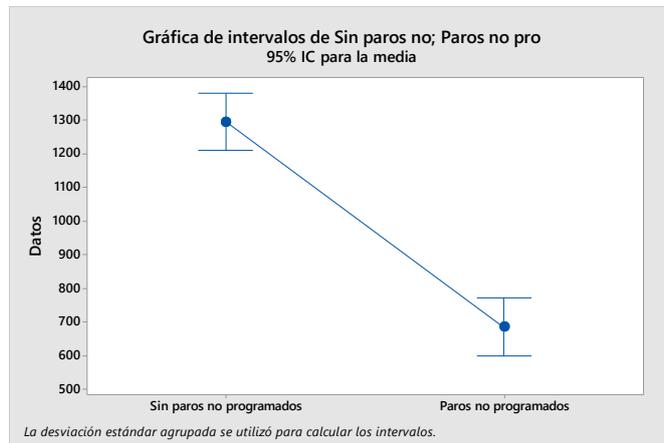


Figura 2.21 Diferencia de medias entre muestras de días con y sin paros

- **Alto tiempo entre procesamiento de lotes**

Por medio de una regresión lineal se analizó la relación entre el tiempo de cambio de lote y la cantidad de gavetas que se producen por hora. Con un nivel de confianza del 95% y un valor p cercano a 0, se afirma la hipótesis que a mayor tiempo de procesamiento entre lotes menor es la cantidad de gavetas procesadas por hora, se hace referencia en la figura 2.22.

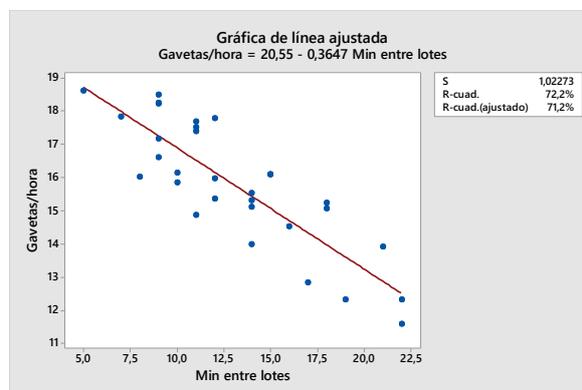


Figura 2.22 Relación entre tiempos entre lotes y cantidad de gavetas procesadas por hora

- **Rechazo de fruta**

Se consideró la hipótesis que afirmaba que la fruta rechazada en la recepción afecta directamente a la producción diaria de gavetas, sin embargo, como se

puede apreciar en la figura 2.23 la mayoría de los casos el porcentaje de materia prima rechazada es relativamente bajo. Con base a esta información proporcionada se analizó el coeficiente de correlación de Pearson obteniendo un valor de -0.018 y con un valor $p=0.925$ se pudo afirmar que no existe relación aparente entre ambas variables.

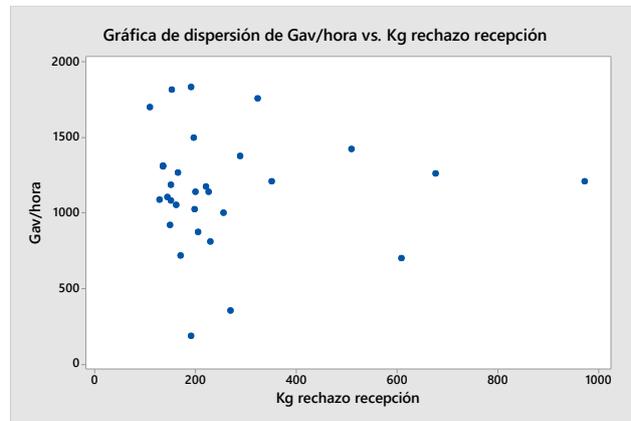


Figura 2.23 Rechazo de fruta por lote

- **Baja productividad en el turno de la noche**

Para comprobar la variación de la productividad por turno se tomaron muestras de la cantidad de gavetas procesadas en la recepción en el turno de la mañana y de la noche indicadas en la figura 2.24.

Estadísticamente se comprobó con un nivel de confianza de 95% y un valor $p=0.883$ que no existe evidencia estadística para concluir una diferencia de medias significativa, es decir que la producción del turno de la noche trabaja a igual ritmo que el turno del día.

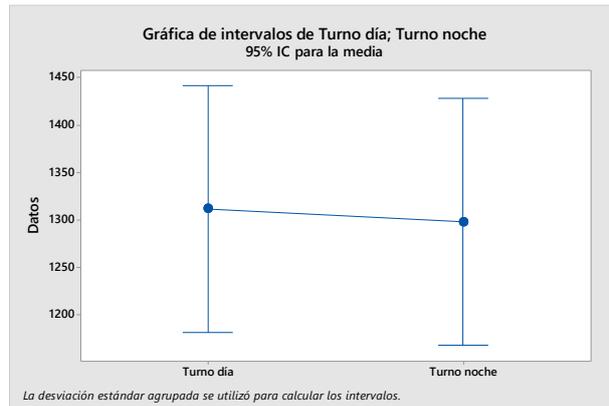


Figura 2.24 Diferencia de medias productividad (turno día y turno noche) recepción

En el proceso de THT se verifican las siguientes causas:

- **Largo tiempo de devolución de jaulas desde enfriamiento hacia área de enjaulado**

Para poder comprobar si el tiempo de devolución de jaula vacías afectaba o no a la cantidad de gavetas procesadas en el THT, se observó durante un turno el abastecimiento, procesamiento y desabastecimiento de los tanques de agua y se comprobó que la mayor parte del tiempo que se realiza la devolución de jaulas de enfriamiento hacia buffer de recepción, los tanques se encuentran siendo procesados y no existe tiempo muerto del tanque.



Figura 2.25 Devolución de jaulas hacia área de enjaulado

- **Prolongado tiempo de arranque**

Para analizar si el tiempo de arranque de los tanques afecta a la cantidad de gavetas procesadas, se realizó una regresión logarítmica en la cual se evidencia que a medida que aumenta el tiempo de arranque, menor es la cantidad de

gavetas que se pueden procesar por hora, el análisis de datos se muestra en la figura 2.26.

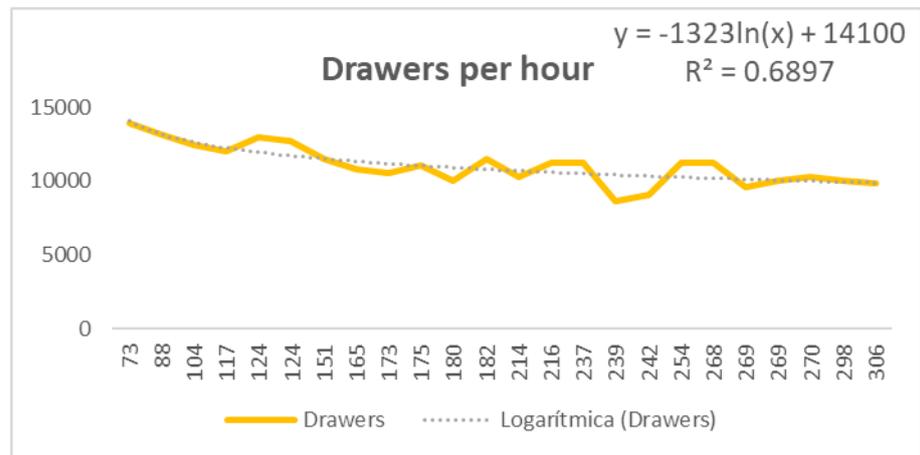


Figura 2.26 Relación entre tiempo de arranque y cantidad de gavetas procesadas

En el proceso de empaque se verifican las siguientes causas:

- **Elevado tiempo entre lotes**

Se comprobó la teoría de que a medida que incrementa el tiempo entre lotes, menor es la cantidad de cajas/hora procesadas por medio de una regresión lineal con valor p igual a 0.

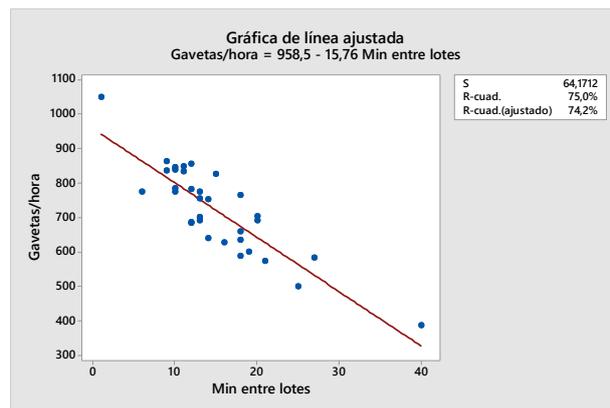


Figura 2.27 Relación entre tiempo entre lote y gavetas/hora

- **Baja productividad del personal**

La productividad del personal en el área de empaque fue medida en diferentes horas del día. A partir de estos datos recopilados se realizó una diferencia de medias de la cantidad de cajas/minuto en diferentes personas de la mesa de empaque. Tal como se observa en la figura 2.28, estadísticamente se comprobó con un nivel de confianza del 95% y con valor p de 0 que al pasar las horas se

procesa menor cantidad de cajas/minuto en todo el turno (8h00 – 24h00). El resultado se muestra en la figura 2.28

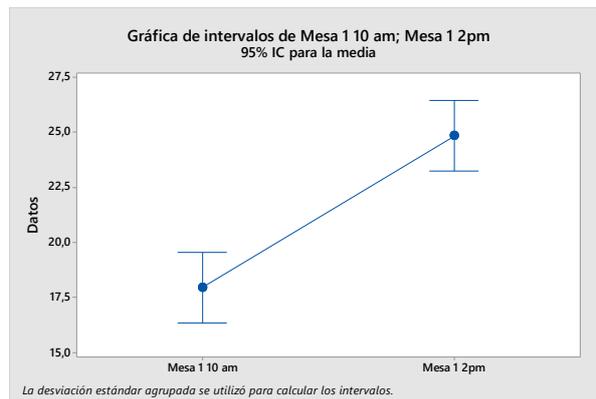


Figura 2.28 Cajas/minuto procesadas en turno noche vs turno día

En la tabla 2.8 se muestra un resumen con los resultados obtenidos de la verificación de las causas.

Tabla 2.8 Resultado de verificación de causas

Causas significativas	Verificación
Paros no programados en la recepción	Existe relación significativa
Elevado tiempo entre lote en la recepción	Existe relación significativa
Baja productividad en la noche en la recepción	No existe relación significativa
Elevado porcentaje de rechazo por lote en la recepción	No existe relación significativa
Prolongado tiempo de arranque THT	Existe relación significativa
Largo tiempo de devolución de jaulas desde enfriamiento hacia área de enjaulado	No existe relación significativa
Baja productividad del personal en empaque	Existe relación significativa
Elevado tiempo entre lotes en empaque	Existe relación significativa

2.3.3. Determinación de causas raíz

Al verificar las causas potenciales se seleccionaron cuáles impactan a la variable Y, a partir de este resultado, se procedió a determinar las causas raíz de cada una tal como se muestra en la tabla 2.9:

Tabla 2.9 Causas Raíz

Causa significativa	W1	W2	W3	W4	Causa raíz
Paros no programados en recepción	Paros mecánicos	Máquina calibradora obsoleta			Máquina calibradora obsoleta
	Mala calibración de máquina	No existe verificación del calibre del mango			No existe verificación del calibre del mango
Elevado tiempo entre lote en recepción	Tiempo muerto entre procesamiento de lotes (10-15 min)				Tiempo muerto entre procesamiento de lotes
Prolongado tiempo de arranque THT	Prolongado tiempo de Set up tanques (THT)	Elevado tiempo de calentamiento			Elevado tiempo de calentamiento
		Elevado tiempo de limpieza			Elevado tiempo de limpieza
Baja productividad del personal en empaquetado	Horario de trabajo extendido (8:00-00:00)	No existe personal calificado (baja resistencia física)			No existe personal calificado (baja resistencia física)
Elevado tiempo entre lotes empaque	Prolongado tiempo de vaciado de mesa	Bajo rendimiento de las operadoras	Horario de trabajo extendido (8:00-00:00)	No existe personal calificado (baja resistencia física)	No existe personal calificado (baja resistencia física)

2.4. Implementación y Control

A partir de las causas raíz identificadas en el capítulo anterior se realizó una lluvia de ideas en conjunto con el jefe de planta y el subgerente general recopilando todas las posibles soluciones para estas causas. De esta manera, se obtuvieron diferentes propuestas, algunas ellas basadas en la implementación de nueva tecnología (figuras 2.29, 2.30 y 2.31). Esto debido a que se reconoció la obsolescencia de las máquinas calibradoras y la deficiencia del mecanismo de arranque del proceso hidrotérmico.

Después de una ardua investigación y la obtención de múltiples cotizaciones a posibles proveedores se seleccionaron varias soluciones que resuelven cada una de las causas como se muestra a continuación:

Tratamiento hidrotérmico

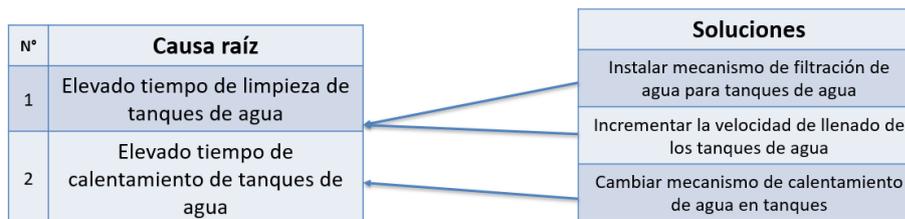


Figura 2.29 Posibles soluciones para el tratamiento hidrotérmico

Recepción

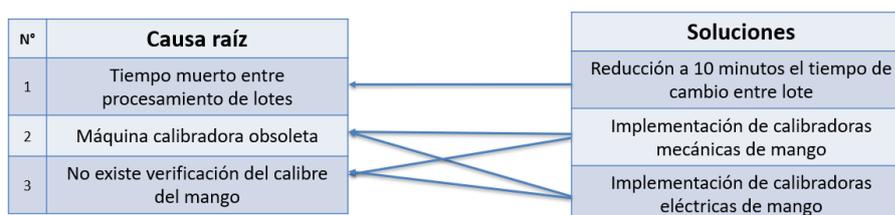


Figura 2.30 Posibles soluciones para el área de recepción

Empaque

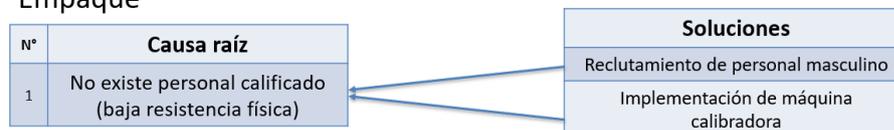


Figura 2.31 Soluciones propuestas para el área de empaque

Cada una de las posibles soluciones enlistadas en la tabla 2.10 fueron evaluadas por medio de una matriz esfuerzo-impacto, en donde el esfuerzo se representa económicamente el costo de la implementación y el impacto es reflejado en el incremento de cajas producidas por hora.

Tabla 2.10 Soluciones propuestas

N°	Soluciones
1	Instalar mecanismo de filtración de agua para tanques
2	Incrementar la velocidad de llenado de los tanques
3	Implementar mecanismo de calentamiento por resistores eléctricos de agua en tanques hidrotérmicos
4	Reducción a 10 min el tiempo de cambio entre lotes
5	Implementación de clasificadora de mangos mecánica en la recepción
6	Implementación de clasificadora de mangos eléctrica en la recepción
7	Reclutamiento de empacadores masculinos
8	Adquisición de clasificadora eléctrica para empaque

A continuación, en la tabla 2.11, se muestra la estimación de costos y beneficios de cada una de las soluciones:

Tabla 2.11 Estimación costos-beneficios de soluciones

Estimación de Costos									
	Tratamiento Hidrotérmico			Recepción				Empaque	
Soluciones	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Costo	\$ 6,000	\$ 13,000	\$ 25,000	N/A	\$ 40,000	\$ 143.471	\$ 5,000	\$ 500	\$ 160.000
Obs.	N/A	N/A	Por tanque	N/A	Por máquina	Por máquina	-	-	Por máquina
Estimación de Beneficios									
Incremento (cajas/hora)	95	38	327	794	4142	3389	1000	423	3290

Al ubicar cada solución dentro de los cuadrantes de la figura 2.32, se determinaron las soluciones que causan mayor incremento de la productividad de la línea y a su vez no incurrir en costos asociados tan elevados en comparación a los demás.

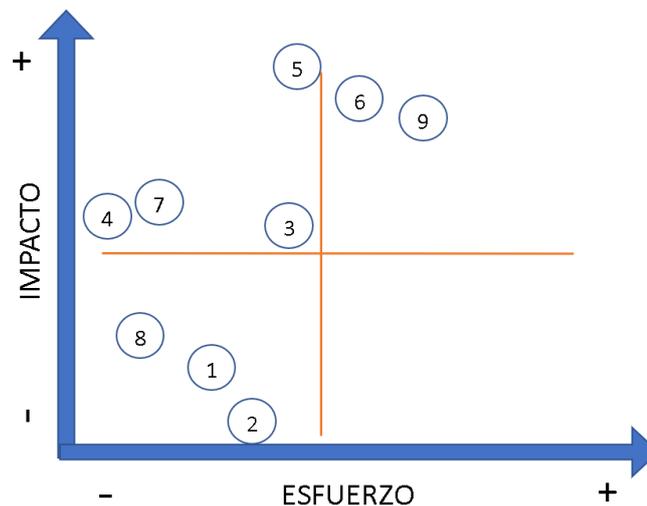


Figura 2.32 Matriz esfuerzo-impacto

Es así como se obtuvieron las soluciones a ser analizadas, las cuales son:

- ✓ Adquisición de calibradora mecánica de mango en el área de recepción.
- ✓ Reducción a 10 minutos el tiempo entre cambio de lotes en el área de recepción.
- ✓ Implementación de mecanismo de calentamiento por resistores eléctricos de agua en tanques hidrotérmicos.
- ✓ Reclutamiento de empaques masculinos en área de empaque.

La descripción de las soluciones se ilustra a continuación:

Reducción a 10 minutos el tiempo entre cambio de lotes en el área de recepción

El tiempo entre lotes en el área de recepción era de 15 minutos, el cual se estableció empíricamente y ha sido empleado a lo largo de los años. Al realizar el levantamiento del proceso de cambio de lote, se identificó que la suma total del tiempo muerto era de 5 minutos. Tiempo ocioso en el que, tanto el jefe de área como los operadores utilizaban para socializar.

Si se analiza un día de trabajo y se disminuye el cambio entre lotes a 10 minutos, se logra incrementar el procesamiento a 720 gavetas debido al ahorro del tiempo a lo largo del día. La comparación se muestra en la figura 2.33.

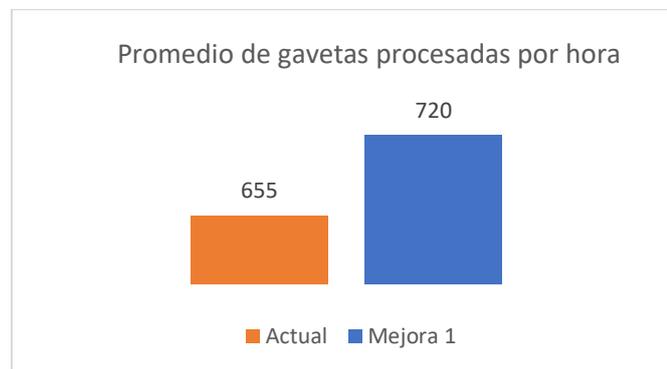


Figura 2.33 Mejora en cantidad gavetas procesadas/hora

Adquisición de calibradora mecánica de mango en el área de recepción

Actualmente las máquinas de calibración mecánica cuentan con más de 60 años de utilización, en los cuales no se ha realizado ningún tipo de mantenimiento preventivo ni correctivo. Por lo tanto, los rodillos que se encuentran a lo largo de la máquina, encargados de rotar y desplazarse para permitir la clasificación del mango por calibre, se encuentran atrofiados. Esto evita la correcta calibración de los mangos generando efectos colaterales como son:

- Disminución de la cantidad de gavetas procesadas por hora debido a reprocesamiento de más del 10% de las gavetas de mangos.
- Requerimiento de 28 personas adicionales del área de calidad para la inspección del correcto procesamiento de las dos clasificadoras mecánicas en los dos turnos del día.

Adquiriendo dos nuevas mecánicas, cotizadas por medio del análisis de sus especificaciones, se incrementa la producción a 1200 gavetas por hora en cada una de las clasificadoras mecánicas. Es así como se incrementa en 84% el procesamiento en el área de recepción, mostrado en la figura 2.34.

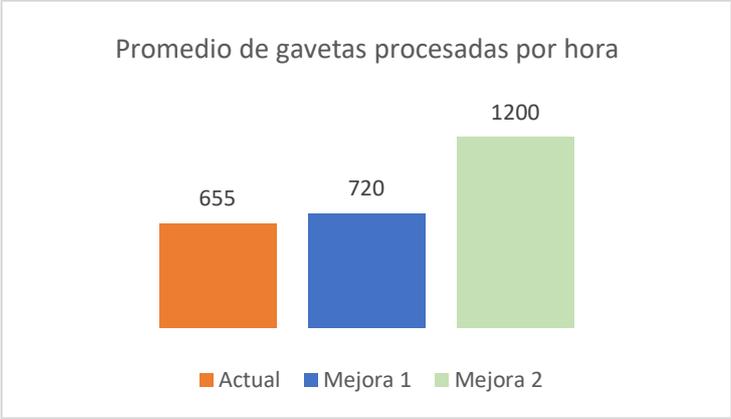


Figura 2.34 Cantidad de gavetas procesadas

Implementación de mecanismo de calentamiento por resistores eléctricos de agua en tanques hidrotérmicos

El tiempo de calentamiento actual de los 8 tanques que existen en el área de THT difieren entre ellos, sus valores se muestran en la tabla 2.12

Tabla 2.12 Tiempo de calentamiento de tanques

Tiempo de calentamiento	
Tanque 1	150 min
Tanque 2	150 min
Tanque 3	150 min
Tanque 4	60 min
Tanque 5	480 min
Tanque 6	150 min
Tanque 7	150 min
Tanque 8	60 min

Los tanques 4 y 8 cuentan con un mecanismo de calentamiento integrado, el cual, por medio de resistores eléctricos calientan el agua en el tiempo máximo de 60 minutos. Se propuso la implementación de este mecanismo para los otros 6 tanques con el fin de aprovechar los 870 minutos que se reducirían diariamente en total. De esta manera se aumenta la cantidad de tratamientos diarios en el cuello de botella pasando de procesar

973 gavetas a 1059 gavetas en promedio cada hora incrementando su productividad un 11%.

Reclutamiento de empacadores masculinos en área de empaque

En la temporada 2019, se trabajó con 3 mesas de empaque, cada una de ella con 30 empacadoras. Se realizó un estudio de tiempo en el que se analizó la variable minutos por caja por persona, en la cual se evaluó el desempeño a lo largo del día tanto de las mujeres como de los hombres.

En las figuras 2.35, 2.36 y 2.37, se presentan las gráficas de intervalos que muestran la situación en tres intervalos de tiempo en la mañana, tarde y noche.

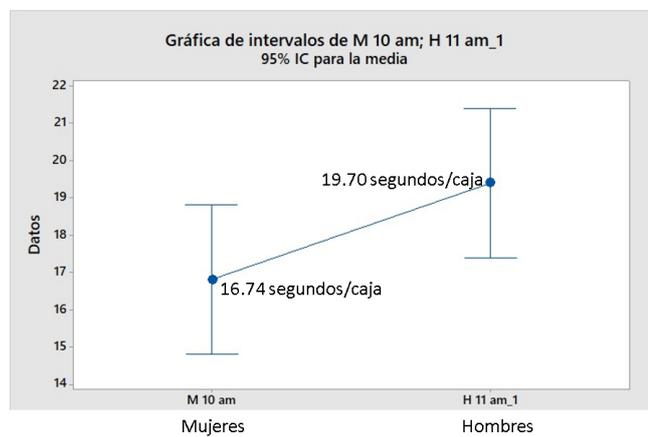


Figura 2.35 Muestra tomada en mañana

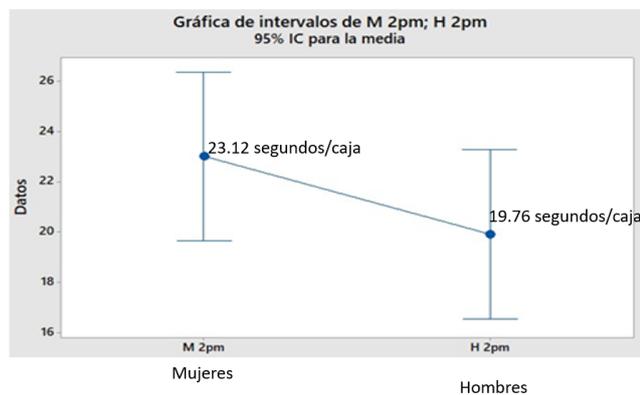


Figura 2.36 Muestra tomada en la tarde

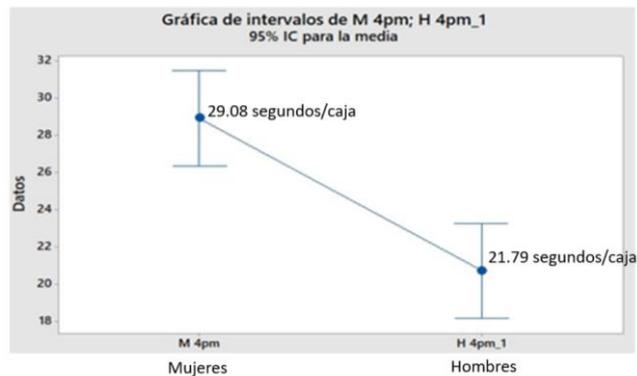


Figura 2.37 Muestra tomada en la noche

Los resultados demuestran que los hombres mantienen su eficiencia a lo largo del día con un promedio de 19 segundos por caja mientras que las mujeres incrementan este valor de 16 segundos por caja en la mañana a 29 segundos por caja en la noche. Lo cual significa que, si se desea lograr el objetivo planteado es necesario el reclutamiento de personal masculino que mantenga el ritmo de trabajo constante.

Control

Todo proyecto de mejora que se realiza debe perdurar a través del tiempo, para este proyecto se creó un plan de control que permita que cada una de las variables que, gracias a las soluciones propuestas, se encuentren dentro de las especificaciones requeridas por los clientes. En la tabla 2.13, se muestra el plan de control para cada causa raíz del problema de la compañía:

Tabla 2.13 Plan de Control

Causa Raíz	Medida	Actividad	Tamaño de muestra	Responsable	Frecuencia	¿Dónde?	Especificaciones	Límite de especificaciones	Plan de reacción
Tiempo muerto entre lotes	Tiempo entre lotes	Medir con cronómetro	Un día	Jefe de Recepción	Diariamente	Área de Recepción	10 min entre lotes	máx. 15 min entre lotes	No hay bonificación para operadores
Máquina obsoleta	Cantidad de gavetas procesadas por hora	Medir con cronómetro	Un lote	Jefe de Recepción	Diariamente	Área de Recepción	1200 gavetas/hora	min. 1000 gavetas/hora	Requerir mantenimiento de máquina inmediatamente
No existe verificación previa de tamaño de mangos	Porcentaje de fruta reprocesada por lote	Medir con balanza	Un lote	Asistente de Calidad	Diariamente	Área de Recepción	5% fruta reprocesada	máx. 7% fruta reprocesada	Requerir calibración de máquina inmediatamente
Altos tiempo de calentamiento en tanque hidrotérmico	Tiempo utilizado para calentar agua	Revisar data en sistema	Un día	Jefe de Sistemas	Diariamente	Área de THT	1 hora	>1 hora	Requerir mantenimiento de máquina inmediatamente
No existe personal calificado (baja resistencia física)	Cantidad de cajas procesadas por hora por persona	Medir por medio de sensor (data software)	Toda la producción	Asistente de Sistemas	Constantemente	Área de Empaque	180 cajas por hora	min. 170 cajas/hora	Alertar al empacador a cerca de su desempeño mostrado en un dashboard

Causa raíz

Tiempo muerto entre lotes de producción en el área de recepción

Esta causa va a ser controlada por el jefe de recepción por medio de mediciones del tiempo entre lotes diariamente. La herramienta de medición es un cronómetro. En caso de sobrepasar los 15 minutos del tiempo de esta operación se alertará al operador indicándole que no existirá bono debido al atraso de la producción.

Máquinas calibradoras de mango obsoletas

Se realizará diariamente la medición de la cantidad de gavetas procesadas en el área de recepción, al encontrarse produciendo menos de 1000 unidades por hora se requerirá inmediatamente al equipo de mantenimiento que realice la inspección de la máquina.

No hay verificación previa del tamaño del mango

Al exceder el 7% de total de fruta reprocesada en un lote, se requerirá la correcta calibración de la máquina al personal de mantenimiento. Esta verificación es diaria en un lote de producción.

Elevado tiempo de calentamiento en THT

El encargado del área de Sistemas genera reportes diarios de los tiempos de calentamiento de los tanques. Una vez al día se revisa esta información y debe alertar al departamento de mantenimiento cuando la duración del calentamiento sea mayor a una hora.

No existe personal calificado para el proceso de empaque

Por medio del dataman, encargado de codificar las cajas de mangos, se medirá el rendimiento de los operadores manuales. En un panel a la vista de todos se colocará una plantilla que indica la cantidad de cajas que llevan procesando y, si disminuyen de 170 cajas por hora su rendimiento, se comunicará al personal para que tome medidas correctivas.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE SOLUCIONES

3.1. Simulación

Con el fin de evaluar el flujo del mango a lo largo de la línea empacadora, se simuló el proceso productivo actual de la planta. En la figura 3.1 se muestra sobre el plano en 2 dimensiones de la planta, el layout del proceso. Es decir, desde el arribo de camiones a la planta, pasando por la calibración en el área de recepción para llegar al tratamiento hidrotérmico, requerimiento necesario para el destino Estados Unidos. Posteriormente llega el proceso de reposo donde los mangos terminan su maduración y son colocados en cajas en el área de empaque.

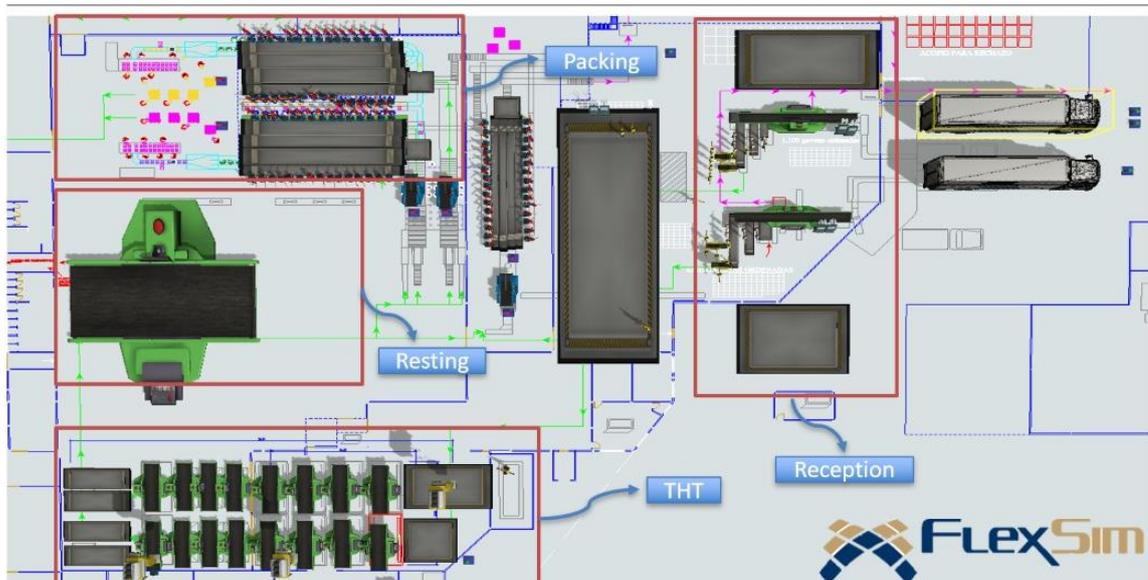


Figura 3.1 Simulación del proceso de empaque de mangos

Se realizó un análisis estadístico por medio de una diferencia de medias para verificar si los resultados de lo simulado se asemejan a la realidad de la compañía. Con un valor p de 0,28 y un intervalo de confianza de 95% se demostró que no existe diferencia significativa entre la muestra tomada de la simulación y la realidad de la compañía actualmente, mostrada en la figura 3.2.

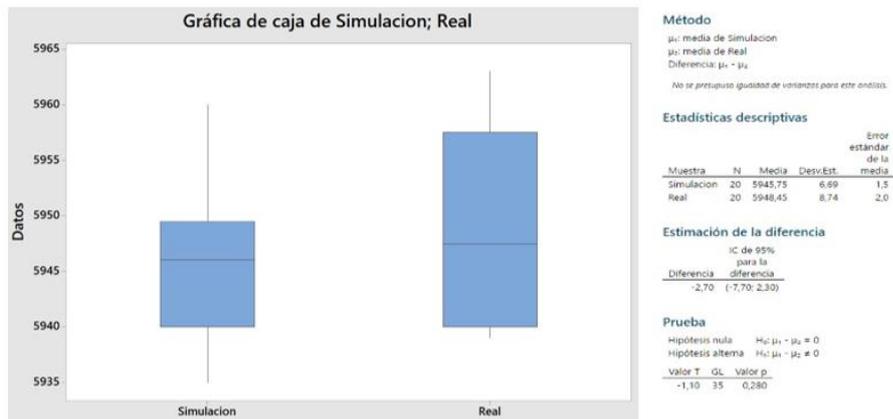


Figura 3.2 Prueba T diferencia de medias (simulación vs real)

A partir de la situación inicial verificada y validada se procedió a simular las soluciones propuestas y determinar su impacto a la variable respuesta del proyecto. En la figura 3.3 y 3.4 se muestran las variables de interés de la simulación, las cuales miden el impacto de las soluciones:

- ✓ Gavetas procesadas por hora en la recepción.
- ✓ Jaulas procesadas por hora en el tratamiento hidrotérmico.
- ✓ Cajas producidas por hora al final de las 3 mesas de empaque.

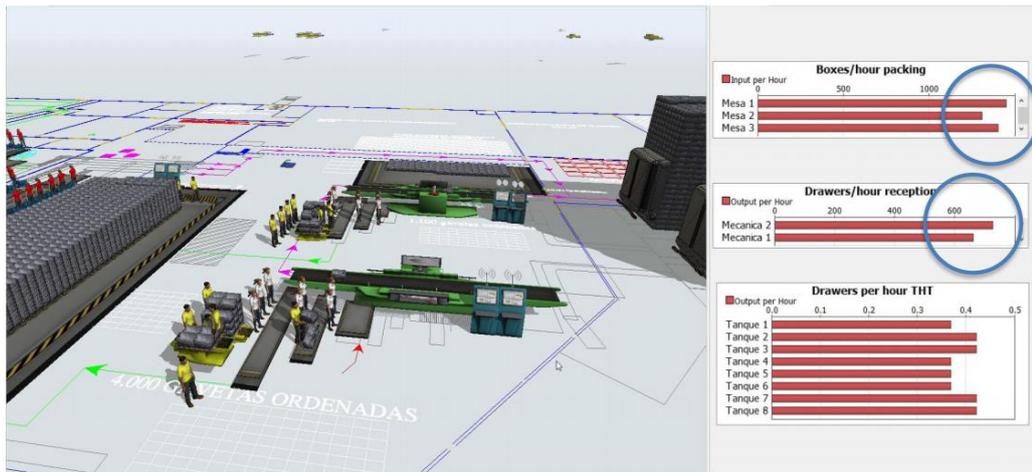


Figura 3.3 Situación inicial

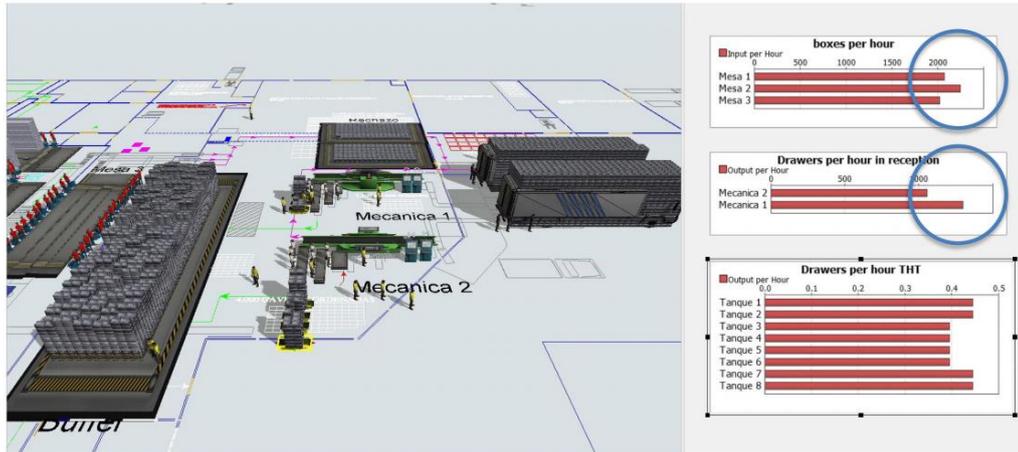


Figura 3.4 Situación mejorada

3.2. Resultados

Como resultado de la simulación realizada el throughput al final de la línea de empaque aumentó a 7,370 cajas por hora como se aprecia en la figura 3.5:

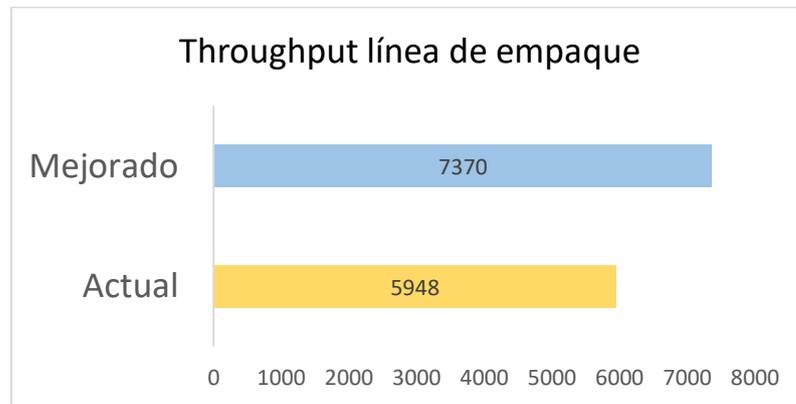


Figura 3.5 Throughput línea de empaque

Con esta información se realizó el análisis de capacidad con el propósito de confirmar que la variable que mide el proceso se encuentra dentro de las especificaciones de los clientes. Con un valor de Ppk de 1.34 se pudo concluir que el proceso se encuentra por encima del límite de especificación inferior validando el éxito de las soluciones prototipadas. La gráfica es mostrada en la figura 3.6.

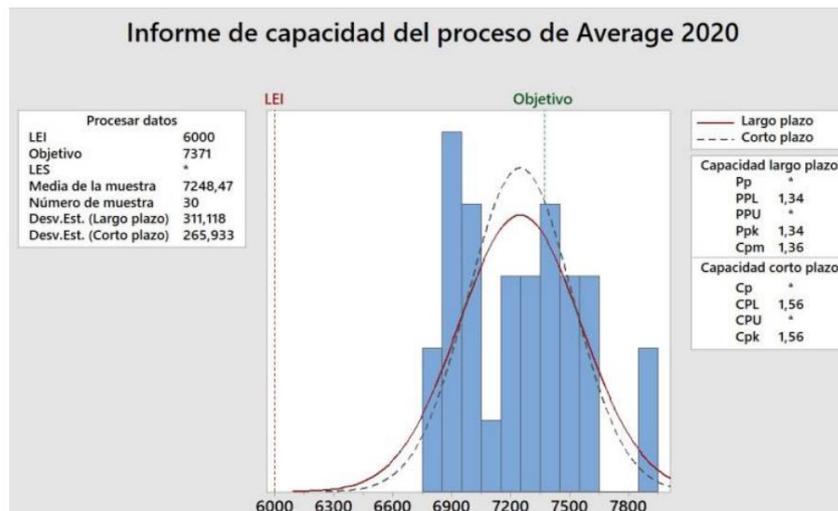


Figura 3.6 Análisis de capacidad de proceso mejorado

Beneficios económicos

Para poder determinar el impacto económico, factor crítico en la toma de decisiones de implementación de una propuesta de inversión, se determinó el ROI (Return on investment) en el cual se debe calcular los beneficios netos de dicho proyecto sobre la inversión total realizada:

$$ROI = \frac{\text{beneficios} - \text{inversión}}{\text{inversión}} \times 100\%$$

A partir del desglose del flujo de caja del 2018 compartido por el departamento de Finanzas, quienes guiaron y verificaron el correcto uso de la información proporcionada.

Para simplicidad del análisis financiero se asumieron las siguientes afirmaciones:

- ✓ El precio de la caja de mango no varía a través de los años. Su valor en el 2018 fue \$3.1 y los ingresos se calcularon a partir de este número.
- ✓ Los gastos financieros se consideran valores fijos al no depender de la cantidad de mango producido, por lo que no ingresó al análisis.
- ✓ El aumento de los costos variables es directamente proporcional a la cantidad de cajas producidas.
- ✓ Se redujo el costo de mano de obra en \$3,000.00 diarios por disminución de horas extras trabajadas en la recepción.
- ✓ Se presentan ganancias de alrededor de \$55,000.00 por temporada por el aumento de cajas gracias a las mejoras implementadas.

El retorno de la inversión se obtiene al final de la temporada 2024 a partir de los mismos beneficios otorgados por el proyecto. El ROI es de 3.12%, es decir que, por cada dólar

invertido se obtienen tres dólares de utilidad neta. De esta manera se sustenta la inversión económica propuesta en el proyecto y se determina su éxito.

Beneficios ambientales

Con respecto al aspecto ambiental, uno de los criterios de calidad de la compañía es la cantidad de energía consumida por día en la planta. Al implementar las soluciones, en el área de recepción se trabajará un solo turno durante el día sumando 12 horas de trabajo, de los cuales el 80% se toma ventaja de la iluminación natural. A su vez, se está disminuyendo el consumo energético de las máquinas clasificadoras mecánicas al reducir las horas de trabajo de 24 a 12 horas, aun sabiendo que de acuerdo con sus especificaciones el uso de las nuevas mecánicas incrementa en 20% el consumo energético. De esta manera, se lograría reducir un 35% el uso de energía eléctrica dentro del proceso de recepción.

Beneficios sociales

Por otro lado, analizando el aspecto social, existía mucha inconformidad con las horas de salida de los operadores en el área de recepción. En el pico de producción, el personal permanecía en promedio 14 horas dentro de la planta trabajando, lo cual generaba desgaste y disminución del rendimiento.

Esto a su vez incrementaba la tasa de ausentismo laboral disminuyendo la productividad de la línea.

Se estima que, con la disminución a 0 horas del tiempo extra de los operadores incrementa la productividad de las personas al tener 12 horas de descanso al día.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La simulación realizada demostró que las soluciones mejoran la salida al final de cada proceso permitiendo a la compañía tomar la decisión de invertir en esta propuesta para la temporada de cosecha en el año 2020.
- Las soluciones presentadas muestran mejoras significativas para la compañía en cuanto a flujo de proceso tomando en cuenta que el cuello de botella sigue siendo THT.
- La implementación de las soluciones permite a la compañía aumentar en un 24% la productividad de la línea empacadora de mangos, alcanzando el objetivo de producir 7371 cajas por hora al final del proceso, generando ganancias de \$55,000 por temporada.
- La adquisición de nuevas máquinas mecánicas clasificadoras de mango genera la disminución de 28 operadores en el área de recepción de la fruta, ahorrando en \$30,000 los costos de mano de obra por temporada.
- Al mismo tiempo, la disminución del tiempo extra disminuye en 35% el consumo energético diario en el área de recepción.

4.2. Recomendaciones

- Para obtener los resultados propuestos del proyecto, es necesario la implementación en conjunto de todas las soluciones, caso contrario la línea no se encontrará balanceada generando inventario entre procesos ocasionando que no se cumpla el número de cajas esperado.
- Se debe mantener constante monitoreo de la productividad de los operadores en las operaciones manuales, dado a que, el proceso de empaque es repetitivo lo cual impacta negativamente en su rendimiento a lo largo del día.
- Después del reclutamiento de nuevos operadores en el área de empaque se debe realizar la capacitación correspondiente previo al inicio de temporada para poder desarrollar la habilidad de empacar mangos en cajas.

- Realizar plan de mantenimiento preventivo periódico de las nuevas clasificadoras mecánicas con el fin de prolongar su vida útil, evitando que se generen paros no programados debido a daños en las máquinas.

BIBLIOGRAFÍA

Antony, J., Singh Bhuller, A., Kumar, M., Mendibil, K., & Montgomery, D. C. (2012). Application of Six Sigma DMAIC methodology in a transactional environment. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 29(1), 20-53.

Lynch, D. P., Bertolino, S., & Cloutier, E. (2003). How to scope DMAIC projects. *Quality progress*, 36(1), 37-41.

DeWald, S. G., Litz, R. E., & Moore, G. A. (1989). Maturation and germination of mango somatic embryos. *J. Am. Soc. Hortic. Sei*, 114.

Rosado Miranda, M. A. Propuesta de mejora en el proceso de empacado de mangos para exportación.

Saúco, V. G. (2009). *El cultivo del mango*. Mundi-Prensa Libros.

Chakraborty, R. K., Biswas, T. K., & Ahmed, I. (2013). REDUCING PROCESS VARIABILITY BY USING DMAIC MODEL: A CASE STUDY IN BANGLADESH. *International Journal for Quality Research*, 7(1).

Rasmusson, D. (2006). *SIPOC picture book: A visual guide to SIPOC/DMAIC relationship*. Oriel Incorporated.

Shankar, R. (2009). *Process improvement using six sigma: a DMAIC guide*. Quality Press.

Eckes, G. (2006). *El six sigma para todos*. Editorial Norma.