

**DESARROLLO DE UN MODELO QFD Y SEIS SIGMA PARA LA SOLUCIÓN DE
UNDERWEIGHT EN UNA EMPRESA DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL**

MATEO SÁNCHEZ ALZATE

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2018

**DESARROLLO DE UN MODELO QFD Y SEIS SIGMA PARA LA SOLUCIÓN DE
UNDERWEIGHT EN UNA EMPRESA DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL**

MATEO SÁNCHEZ ALZATE

Proyecto de grado para optar por el título de

Ingeniero mecánico

Director: Ph.D. Libardo Vanegas Useche

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas aquellas personas que en el transcurso de estos años me apoyaron y enseñaron a crecer profesionalmente y en especial como persona.

En primer lugar, agradezco a mi director de tesis, quien con su gran conocimiento y paciencia me ayudo paso a paso en la construcción de este proyecto; gracias por su dedicación y apoyo durante este proceso.

Al ing. Nixon Cuenca y Esteban Zapata por enseñarme y compartirme sus amplias experiencias; quienes con sus alegres y particulares personalidades se convirtieron en grandes amigos.

A mi hermano por ser mi compañero de vida y mi fortaleza en las dificultades.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es solucionar un problema actual del sector agroindustrial en Colombia; este desarrollo es del sector de exportación de frutas (aguacates), cuya exportación se realiza desde Colombia al continente europeo. Lo más importante es entender la necesidad real del cliente en destino y para esto se propondrá una solución al problema actual que se fundamenta en el peso de la fruta fuera de especificación, cuyos rangos los suministra la UNECE (Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa). Esto es una continua reclamación del cliente. En este trabajo se propone utilizar QFD y seis sigma, los cuales son modelos de gestión y calidad, utilizados para encontrar soluciones realizando un análisis cuantitativo y cualitativo de las diferentes causas, buscando la causa raíz.

Para el desarrollo de este modelo se tomará la información actual y se desarrollará el modelo seis sigma usando DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar, controlar) para la variación actual y se caracterizará para analizar cuántos pesos están fuera de especificación por cada uno de los tamaños y se realizará un análisis cuantitativo como soporte para la formulación de proyectos para mitigar este suceso, en donde se verán reflejadas mejoras significativas para la solución de esta problemática.

El modelo presentado tuvo un gran éxito, ya que se redujeron significativamente los errores en la toma del peso de los frutos en las dos líneas de procesamiento, hasta valores promedio inferiores a los exigidos por la norma, incluso a valores cercanos o mayores al 50% del valor inicial de la investigación. Lo cual conlleva a la disminución notoria de las reclamaciones del cliente en destino.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.3. OBJETIVOS.....	10
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	10
2. MARCO DE REFERENCIA.....	11
2.1. ANTECEDENTES EN LA INDUSTRIA DEL AGUACATE	11
2.2. ESTADO DEL ARTE.....	12
3. DESARROLLO DE METODOLOGÍA QFD.....	15
3.1. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERISTICAS RELEVANTES DEL PROCESO.....	15
3.2. CREACIÓN DE LA CASA DE CALIDAD	18
4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA.....	22
4.1. ANÁLISIS DEL MODELO SEIS SIGMA Y DESARROLLO DEL MÉTODO.....	22
4.1.1. DEFINIR.....	22
4.1.2. MEDIR	24
4.1.3. ANALIZAR	28
4.1.4. MEJORAR	30
4.1.5. CONTROL.....	35
5. CONCLUSIONES	39
6. BIBLIOGRAFÍA.....	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Porcentajes de aplicación de lean, seis sigma y sostenibilidad en.....13 diferentes países del mundo	13
Figura 2. Estructura Jerárquica del proceso.....16	16
Figura 3. Casa de calidad.....21	21
Figura 4. Gráfico comparativo de los pesos relativos de cada una de las.....23 alternativas analizadas	23
Figura 5. Formato de control de pesos.....25	25
Figura 6. Pesos estandarizados.....26	26
Figura 7. Comparación de Promedios con respecto al Calibre (ambas líneas)28	28
Figura 8. Comparación de Promedios con respecto a la Semana (ambas líneas)29	29
Figura 9. Bomba antigua del sistema de aspersión.....31	31
Figura 10. Nueva bomba del sistema de aspersión.....31	31
Figura 11. Cambio de la instalación del sistema de alimentación de los aspersores.....32	32
Figura 12. Antigua correa posicionadora de fruta de la celda de carga.....32	32
Figura 13. Nueva correa posicionadora de fruta de la celda de carga.....32	32
Figura 14. Aspersores de limpieza de los carros transportadores de fruta.....33	33
Figura 15. Antigua banda transportadora de fruta.....34	34
Figura 16. Nueva banda transportadora de fruta.....34	34
Figura 17. Adaptación de ventilador centrifugo con cabina de secado.....34	34
Figura 18. Variación de la comparación de Promedios con respecto al.....37 Calibre (ambas líneas)	37
Figura 19. Variación de la comparación de Promedios con respecto a la..... 37 Semana (ambas líneas).	37

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Matriz difusa.....	16
Tabla 2. Matriz consistente.....	17
Tabla 3. Resultados Promedio de la Línea 1.....	27
Tabla 4. Resultados Promedio de la Línea 2.....	27
Tabla 5. Variación de los resultados Promedio de la Línea 1.....	36
Tabla 6. Variación de los resultados Promedio de la Línea 2.....	36

1. INTRODUCCIÓN

En el campo de la administración de empresas, los modelos de gestión hacen referencia al conjunto de tareas que parametrizan el desarrollo de un proceso o actividad comercial. En el presente trabajo de grado se hará uso de una de las variaciones que nacen de este concepto, como lo son los modelos de calidad. Estos modelos hacen referencia al compendio de labores tales como planear, controlar y mejorar aquellos componentes de una empresa que influyen en el logro de los objetivos de la organización. Entre estos modelos, se seleccionaron dos herramientas ampliamente usadas e investigadas en la actualidad, como lo son QFD y seis sigma.

La primera herramienta llamada el despliegue de la función de calidad o QFD (Quality Function Deployment) es un modelo de gestión, cuyo pilar fundamental es convertir las demandas del usuario o cliente en los estándares de calidad de un producto o servicio, por medio de funciones y metodologías que aporten a la mejora y retroalimentación de la calidad en la organización. La segunda herramienta es una metodología que nació en Motorola a principios de la década de los 80 en Japón, llamada seis sigma la cual busca la disminución de una variable influyente en un proceso, para reducir cualquier evento en que un producto o servicio no logre cumplir los requisitos del cliente o los estándares de calidad.

Por otro lado, en Colombia se ha venido desarrollando el sector agroindustrial. En el caso específico de la fruta de aguacate, se ha presentado un crecimiento sustancial en la última década. Consecuentemente, la comercialización del aguacate es una gran oportunidad para este sector, ya que éste presenta una demanda mayor que la oferta y un buen rendimiento a nivel global. A pesar de esto, este sector es una industria inexperimentada y con mucho por aprender, debido a las características de nuevos desarrollos en la oferta de maquinaria y características específicas de la exportación.

Cartama es una empresa de origen antioqueño que cuenta con 17 años de experiencia en la comercialización de fruta de aguacate de alta calidad, debido a esta trayectoria y una excelente gestión se ha posicionado como el mayor exportador de aguacate Hass en Colombia según ANALDEX. Debido a esto la empresa busca hacer uso de tecnologías, procesos y métodos de

manufactura innovadores, para mejorar cada día en búsqueda de su visión y misión empresarial; es en este punto donde nace la idea de implementar modelos de gestión de calidad.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa cuenta con una planta de procesamiento y empaque de fruta en la ciudad de Pereira; se dispone de una máquina Ser Mac, la cual ha venido desempeñando esta labor desde el año 2015 hasta la fecha. Esta máquina cumple la función de seleccionar la fruta según la normatividad de la UNECE en intervalos de peso, los cuales reciben el nombre de “calibres” que van desde el número 14 hasta el número 32 (258 g a 313 g y 95 g a 133g respectivamente) (UNECE, 2017). Esta norma estipula que el porcentaje máximo de error no puede ser del **10%** en una muestra; para esta actividad la máquina cuenta con dos líneas gemelas de producción que reciben el nombre de línea 1 y línea 2. Por los diferentes factores mencionados, se ha identificado la oportunidad de desarrollar modelos que buscan, a través de características metodológicas, encontrar la causa raíz de la problemática de la selección de fruta fuera de rango.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Se plantea la iniciativa del uso de QFD (despliegue de la función de la calidad) y seis sigma, como método de solución a estos problemas. Estas herramientas buscan estructurar un conjunto de acciones y protocolos que al ser implementados produzcan resultados positivos sobre todo el sistema, creando un proceso de retroalimentación y mejora continua en cada uno de los eslabones que componen la organización.

1.3. OBJETIVOS

Objetivo general:

- Aplicar un modelo para el reconocimiento y la mejora continua de algunos factores que constituyen e incurren en Underweight.

Objetivos específicos:

- Analizar la problemática actual y determinar los factores más influyentes en este proceso de manufactura.
- Realizar un análisis estadístico que determine qué tan influyente es cada una de las variables en el proceso.
- Aplicar herramientas y modelos de gestión para la construcción de un plan de trabajo para la solución de dichas problemáticas.
- Implementar herramientas para el control del Underweight en el proceso.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es desarrollar un modelo de gestión para aumentar la exactitud en la clasificación de los frutos (aguacates) en las líneas de producción. Para lograr esto, se fijó un tiempo de 5 semanas para la recolección de los datos utilizados en el análisis por medio de un formato diseñado por la empresa para dicha labor y de 3 semanas para verificar los efectos del modelo sobre el proceso.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES EN LA INDUSTRIA DEL AGUACATE

La organización de agroindustria, donde se planea implementar el modelo a desarrollar en esta investigación, trabaja con el cultivo y exportación de aguacate hass. Hace cerca de 7 años empezó su comercialización, y hace 3 años la exportación hacia Europa, la cual en el último año pasó de US\$10 millones a US\$35 millones, convirtiéndose así en un cultivo esperanzador para el comercio exterior y para la economía del país.

En el momento, y al ver la revaluación del dólar, existe una gran oportunidad en la exportación de aguacate hass. Más aún, se acaba de abrir la oportunidad de exportar aguacate a Estados Unidos, por lo que se espera un gran incremento de las exportaciones en el transcurso de los años 2018-2019, cuando se tenga más conocimiento de las dinámicas de este mercado y las empresas colombianas puedan cumplir con los estándares de calidad.

La especie de aguacate hass es originaria de California y es comercializada globalmente desde el año 1960. Ésta no se conocía en el país y generaba cierta desconfianza. Sin embargo, tenía ciertas características como gran espesor de la cáscara (1,2 mm), permitir mayor manipulación y adecuado porcentaje de grasa (23%), el cual garantiza un buen sabor y textura. Además de la ventaja competitiva de tiempo de tránsito a Europa, mucho menor comparado con Perú y Chile: 23 a 25 días desde estos países, comparado con Colombia que sería 13 días a Holanda y 11 días al Reino Unido. Colombia inició exportaciones en el año 2010 por un valor de US\$97.325 a Los Países Bajos. En el año 2016 las exportaciones ya totalizaban US\$35 millones, y el principal destino seguían siendo Los Países Bajos, donde llegan cerca de 7.000 toneladas con un valor aproximado de US\$14.5 millones, representando un 42% de las ventas, seguido por el Reino Unido (27%) y España (20%). La tendencia ascendente se ha mantenido este año. En enero se exportaron US\$4.152, lo cual equivale a 2.358 toneladas; esto implica aumentos anuales de 69% y 78% respectivamente, según ANALDEX.

2.2. ESTADO DEL ARTE

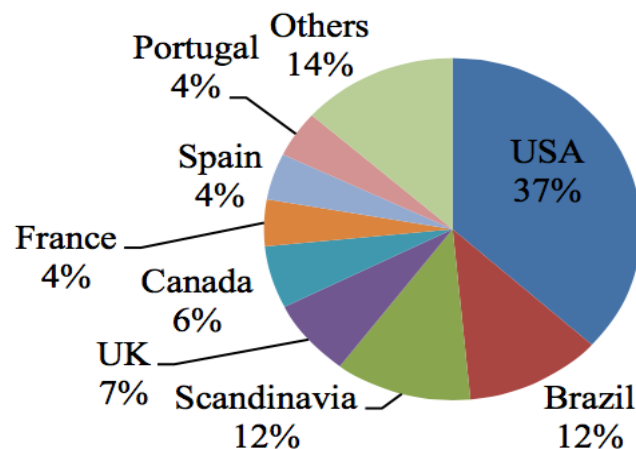
Actualmente no se cuenta con artículos del tema aplicado a la agroindustria, pero se cuenta con referentes de otros sectores industriales como lo son el automotriz, química y el sector de la salud. Autores como Pugnaa *et al.* (2016) han encontrado una oportunidad de mejora en el modelo DMAIC en la industria automotriz en donde al aplicar esta metodología redujo el número de DPM (defectos por millón) de 81.000 a 108 con la implementación de dos alternativas, que fueron: mejorar el proceso de remachado y las exigencias en la selección de los proveedores. En la industria química contamos con referentes como Akbaş *et al.* (2017) quienes implementaron la metodología QFD y TOPSIS en el proceso de selección de combustible para una planta de tratamiento de agua, con la que se obtuvieron resultados positivos reflejados en el algoritmo de selección del combustible óptimo para esta labor. Por último, encontramos el sector de la salud en donde exponentes como Agarwal *et al.* (2015) hicieron uso del modelo Lean Six Sigma en un laboratorio de caracterización cardiaca desde el año 2009 a 2012 arrojando resultados como la mejora del tiempo de espera: 43,6% a 56,6% de los clientes fueron asistidos en un tiempo óptimo y la reducción del “Sheath-pulls” de 60,7% a 22,7%. Se observa que dichas metodologías presentan una gran versatilidad en su implementación y crean un impacto positivo en cualquier sector industrial.

Un modelo de gestión de operaciones que ha mostrado excelentes resultados es el de lean, y su principal objetivo de un sistema lean es producir productos o servicios de mayor calidad, al menor costo, en el menor tiempo y eliminando las pérdidas (Dennis, 2007; Liker, 1996). Con respecto al término “pérdidas”, lean lo define como "cualquier cosa que no sea la cantidad mínima en los equipos, materiales, partes, espacio y tiempo que es absolutamente esencial para agregar valor al producto" (Russell y Taylor, 2000). Se identificaron siete tipos de pérdidas: transporte, inventario, movimiento, espera, reprocesamiento, sobreproducción y defectos. Todos estos residuos tienen un impacto directo en el rendimiento, la calidad y los costos, y todas éstas son operaciones sin valor por las que los clientes no quieren (ni deberían) pagar. Con el auge de la conciencia ambiental y social, la definición de lean ha sido ampliada para incorporar conceptos de sustentabilidad, tanto económica como social y ambiental. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2003) definió los objetivos de lean como: "Desarrollar productos de la más alta calidad, al menor costo, con el menor tiempo posible, eliminando sistemática y continuamente las pérdidas,

respetando a las personas y al medio ambiente".

Por otro lado, se observa un creciente interés en herramientas de gestión como lean, seis sigma y sostenibilidad, en el Reino Unido, Canadá, y Brasil, las cuales parecen herramientas importantes y válidas para las mipymes. Brasil y los países escandinavos también se sienten interesados por la integración de lean, seis sigma y sostenibilidad, de los cuales se originan algunos de los artículos más relevantes de la literatura (Hajmohammad *et al.*, 2013). Similarmente, hay un creciente interés de los países con un nivel muy alto de conciencia pública en temas de sostenibilidad. Este es el caso de países europeos como Francia, España y Portugal, que enfrentan altas preocupaciones de sostenibilidad y presiones para diseñar estrategias sostenibles (Gutowski *et al.*, 2009), lo cual se puede observar en la figura 1. Esto refleja probablemente el papel cada vez más importante de los países desarrollados para promover la integración de lean, seis sigma y sostenibilidad. Sin embargo, se observa una falta de interés en muchos países subdesarrollados y en desarrollo (Cherrafi *et al.*, 2016).

Figura 1. Porcentajes de aplicación de lean, seis sigma y sostenibilidad en diferentes países del mundo.



Anass Cherrafi, Said Elfezazi, Andrea Chiarini, Ahmed Mokhlis, Khalid Benhida *et al.*, 2016.

Por lo anterior, se considera necesario el desarrollo de un modelo de gestión de operaciones que impacte positivamente el desempeño, la eficiencia económica y la sostenibilidad de las mipymes.

También, es necesaria la implementación del mismo en una empresa de este tipo, para así validar la efectividad y las ventajas del modelo con datos tangibles y medidos en el tiempo.

Los modelos de gestión se han constituido a través de la historia en marcos generales que sirven de guía para tomar posición frente a situaciones que por sus características particulares representen algún grado de dificultad. Aunque algunos piensen en éstos como una panacea en la solución de sus problemas, el concepto real debe ir mucho más allá en el sentido de explicar las relaciones, funciones, dificultades y limitaciones (Guerrero, 2006).

La no aplicación de modelos de excelencia en la gestión de operaciones se traduce en baja productividad, desaprovechamiento de insumos y materias primas, bajo potencial en cuanto a la agregación de valor por parte del talento humano vinculado a estas áreas y bajo índice en cuanto a la utilización de máquinas y equipos, reflejado en la subutilización de la capacidad (Guerrero, 2006).

La discusión sobre la conveniencia o no de un modelo de excelencia alternativo de gestión de operaciones debe sobrepasar lo relativo a los componentes del enfoque sistémico; es decir, unas entradas, el proceso de transformación y los outputs o salidas. Debe avanzar exhaustivamente en el estudio, análisis y características de las relaciones que se dan, no sólo entre estos elementos, sino con las variables del entorno, teniendo como premisas fundamentales las bases teóricas, prácticas y metodológicas (Guerrero, 2006).

Los modelos de excelencia conllevan a repensar la forma de abordar la gestión de las operaciones, desde un enfoque que responda efectivamente a la superación del pensamiento reduccionista, que ha estado presente a lo largo de la historia organizacional, y en particular que ha permeado enormemente los sistemas de manufactura. Se debe garantizar un reacomodamiento de estos procesos, para hacer de las organizaciones motores de crecimiento y desarrollo de las sociedades de las cuales forman parte (Guerrero, 2006).

Con la implementación de modelos de excelencia de gestión de operaciones, se logra mejorar la satisfacción de los clientes, se disminuyen los defectos, se aumenta la confiabilidad, se desarrollan nuevos productos, se reducen los tiempos de entrega, se reacciona con mayor agilidad y se es más eficiente (Guerrero, 2006).

3. DESARROLLO DE METODOLOGÍA QFD

Para hacer uso de las herramientas como QFD y Seis Sigma es necesario cumplir con una serie de pasos, los cuales se ejecutarán de la siguiente forma:

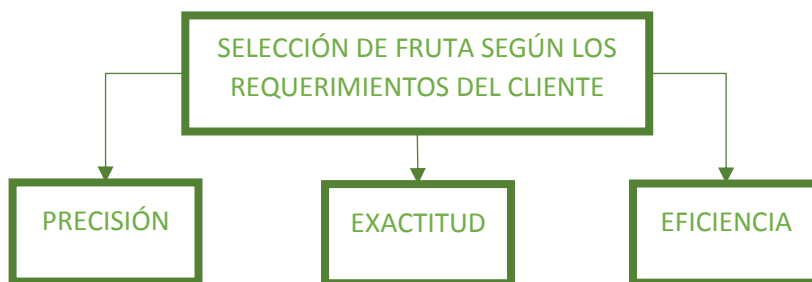
El primer paso es determinar de manera cualitativa y cuantitativa las necesidades del cliente y del proceso, para lo cual se ejecutarán las herramientas: Proceso Analítico Jerárquico Difuso (FAHP) y posteriormente se utilizará la Casa de la calidad para plantear posibles soluciones. Creando una estructura que facilite la toma de decisiones acertadas, concentrando el tiempo y recursos en los factores relevantes.

3.1. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DEL PROCESO.

El primer paso para determinar una metodología basada en QFD es identificar las características más relevantes involucradas en el proceso, tales como precisión, eficiencia, exactitud, eficacia, etc.; de las cuales nuestro cliente determinó que las características de precisión, exactitud y eficiencia eran los factores que merecían un análisis y su cuantificación; este paso se realizará a través del Proceso Analítico Jerárquico Difuso (FAHP). En este método se busca obtener un valor numérico que simboliza el peso o importancia de cada uno de los factores que constituyen la jerarquía. Este procedimiento se debe ejecutar de la siguiente forma:

- Construir la jerarquía del proceso. En este punto se seleccionan los criterios más influyentes sobre el proceso de producción dadas las especificaciones del **cliente en destino**; éstos son precisión, exactitud y eficiencia (ver Fig. 2).

Figura 2. Estructura Jerárquica del proceso.



Fuente: Autor del proyecto.

- Construir la matriz complementaria “difusa”, la cual es una matriz de comparaciones pareadas en donde se establece la importancia o peso de un criterio con respecto a otro, en una escala numérica de 0 a 1 (ver tabla 1). Para criterios iguales la calificación es de 0,5. Entre menor sea la importancia de los criterios ubicados en la primera columna, con respecto a los valores ubicados en la primera fila, menor será el valor, siendo siempre la suma entre semejantes igual a 1. Dichos valores son estimados dependiendo de las necesidades del cliente y los objetivos de la organización. Como ejemplo, en la tabla 1, el valor de la 3ª fila – 2ª columna = 0,4 < 0,5 indica que la exactitud es menos importante que la precisión y la suma con su homónimo es igual a 1 (fila 2 – columna 3 = 0.6).

Tabla 1. Matriz difusa.

Necesidades	Precisión	Exactitud	Eficiencia	Σ
Precisión	0,5	0,6	0,9	2
Exactitud	0,4	0,5	0,8	1,7
Eficiencia	0,1	0,2	0,5	0,8
Σ	1	1,3	2,2	

Fuente: Autor del proyecto.

- Luego se realiza un procedimiento matemático para convertir la matriz difusa en una matriz consistente, por medio de las siguientes ecuaciones (Guo, 2017):

$$a_i = \sum_{k=1}^n r_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$a_j = \sum_{k=1}^n r_{kj} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$a_{ij} = \frac{a_i - a_j}{2(n-1)} + 0,5 \quad (3)$$

a_i : suma de los coeficientes de cada fila

a_{ij} : coeficiente de valor relativo

a_j : suma de los coeficientes de cada columna

n : número de datos

Haciendo uso de las ecuaciones 1, 2 y 3 se recalculan los valores de la matriz difusa, dando como resultado la matriz consistente la cual se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Matriz consistente.

Necesidades	Precisión	Exactitud	Eficiencia	$\Sigma-0,5$
Precisión	0,5	0,575	0,8	1,375
Exactitud	0,425	0,5	0,725	1,15
Eficiencia	0,2	0,275	0,5	0,475

Fuente: Autor del proyecto.

- Ahora se procede a obtener el vector w_i de pesos relativos por medio de:

$$\dot{w}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} - 0,5 \quad (4)$$

$$\sum_i \dot{w}_i = \frac{n(n-1)}{2} \quad (5)$$

$$w_i = \frac{\dot{w}_i}{\sum_i \dot{w}_i} \quad (6)$$

\dot{w}_i : suma de las filas.

w_i : valores de peso absoluto.

Al hacer uso de las ecuaciones 4, 5 y 6 se obtuvo el siguiente vector de pesos relativos de los factores precisión, exactitud y eficiencia.

$$W_i = (0,458 , 0,383 , 0,158)$$

El método arrojó los valores de los pesos absolutos, los cuales representan el porcentaje de importancia que recibe cada una de estas categorías, los cuales son necesarios para determinar los pesos relativos de cada una de las posibles soluciones que posteriormente se detallan.

3.2. CREACIÓN DE LA CASA DE CALIDAD

La Casa de la Calidad es un diagrama que se asemeja a una casa, utilizado para definir la relación entre las características y las alternativas de mejora. El primer paso es determinar los “qués”. Éstos corresponden a las necesidades o problemáticas puntuales que se encuentran en el proceso, a los cuales se les asigna una calificación (entre 1 y 9) dependiendo de las quejas, reclamos y necesidades de los clientes. En la Fig. 3 se presentan seis problemas con gran impacto en el proceso:

- Bajo rendimiento de la máquina: la máquina clasificadora cuenta con un conjunto de PLC's que regulan la velocidad de giro de los motores de las diferentes bandas transportadoras que la componen; se le denomina bajo rendimiento a aquellos intervalos de tiempo en donde por razones propias del proceso tales como cambio de proveedor o la impresión de etiqueta, se disminuye la velocidad de las bandas.
- Fallas en el sistema de lavado de la fruta: el proceso de lavado es un punto clave, ya que en este punto no solo se le da un acabado estético a la fruta removiendo suciedad y algunas imperfecciones cosméticas, sino que se hace una mezcla acuosa con prochloraz, el cual es un agente químico encargado de evitar la proliferación de hongos en la superficie del fruto.
- Alto factor de deshidratación: también llamado coeficiente de deshidratación, es un fenómeno físico-químico altamente afectado por factores como lo son cambios bruscos de temperatura y la humedad residual en la superficie del fruto, ya que estos provocan

un fenómeno denominado déficit de presión de vapor ocasionando el aumento de las tasas metabólicas del fruto, por ende, la deshidratación y oxidación del mismo.

- Golpe de fruta: como su nombre lo indica, este fenómeno consiste en el daño ocasionado por un impacto, esto en consecuencia de un rompimiento vacuolar en las células de la pulpa de la fruta, ocasionando un derramamiento de aceites que facilitan el proceso de oxidación interno del fruto.
- Alta tolerancia de la celda de carga: la celda de carga es el dispositivo encargado de sensar el peso de los frutos que pasan por las líneas, dicha medición es afectada por factores como la velocidad de la fruta, la suciedad en la superficie de la fruta, la calibración de los pines o elementos mecánicos de la línea, etc.
- Humedad en la superficie de la fruta: como se explicó anteriormente, esto genera déficit de vapor en la fruta ocasionando pérdidas de peso.

Estos seis problemas están ubicados en la columna izquierda de la casa de la calidad. En contraparte se tienen los “cómos”, los cuales son las posibles soluciones a dichas problemáticas. Se definen 9 posibles soluciones:

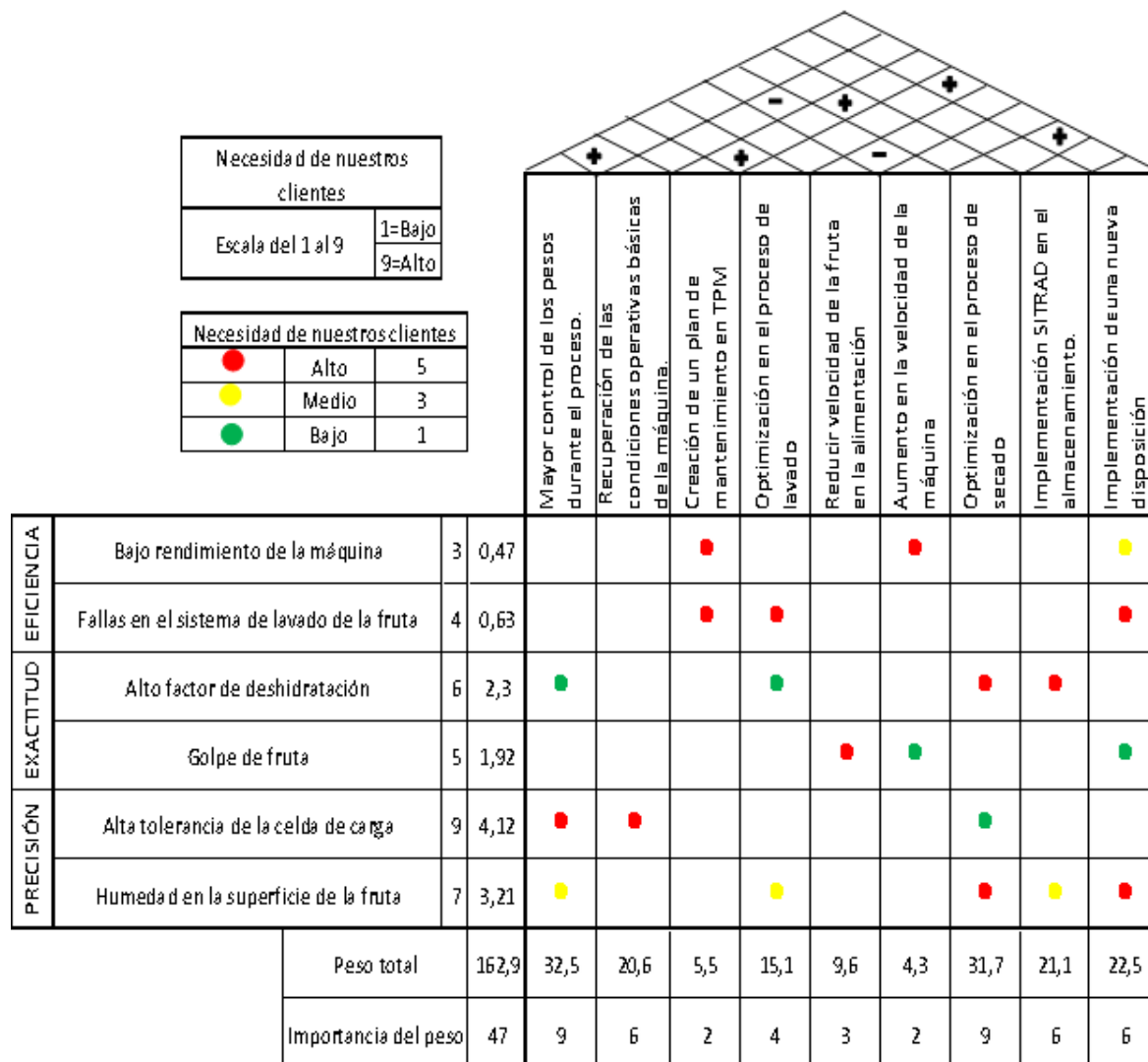
- Mayor control de los pesos durante el proceso.
- Recuperación de las condiciones operativas básicas de la máquina.
- Creación de un plan de mantenimiento.
- Optimización en el proceso de lavado.
- Reducción de la velocidad de alimentación.
- Aumento de la velocidad de la máquina.
- Optimización en el proceso de secado.
- Implementación de sistema SITRAD en el almacenamiento de la fruta.
- Cambiar la disposición de la máquina.

Estas soluciones están ubicadas debajo del techo de la casa de la calidad. A cada relación entre los “qués” y los “cómos” se le asigna un valor en una escala de colores, dependiendo del grado de afinidad, donde “rojo” indica altamente influyente, “amarillo” indica medianamente influyente y

“verde” levemente influyente (5, 3 y 1 puntos respectivamente). De esta manera se determina el peso y la trascendencia de cada una de las alternativas de mejorar el proceso.

Como ejemplo se tomara el bajo rendimiento de la máquina, la calificación asignada al “qué” corresponde a 3 que al ser multiplicado por el valor del peso relativo de la categoría eficiencia (0,158) se obtiene el valor de 0,47. Ahora se tomara el “cómo” correspondiente a mayor control de los pesos durante el proceso, en donde se suma la multiplicación del valor de afinidad (valores de 5,3 y 1 dependiendo su color) con el peso relativo de los “qué” para cada una de ellos ($2,3*1 + 5*4,12 + 3*3,21 = 32,5$), el peso total corresponde a la sumatoria de los pesos relativos obtenidos anteriormente y su importancia es la aproximación al entero superior más cercano de la división de los pesos relativos, sobre el mayor valor de los pesos relativos.

Figura 3. Casa de calidad.



Fuente: Autor del proyecto.

Se obtiene que 5 de estas soluciones presentan un peso relativo elevado con respecto a las demás, las cuales son:

- Mayor control de los pesos durante el proceso
- Recuperación de las condiciones operativas básicas de la máquina
- Optimización en el proceso de secado
- Implementación del sistema SITRAD
- Implementación de una nueva disposición.

4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA

El segundo paso de la metodología planteada para el desarrollo de este trabajo es hacer uso de la estructura anterior por medio de seis sigma; para ello se utilizará la metodología DMAIC la cual ayudará a establecer los pasos para el análisis de la problemática y el plan de acción para la corrección y control de las variables implicadas en la problemática.

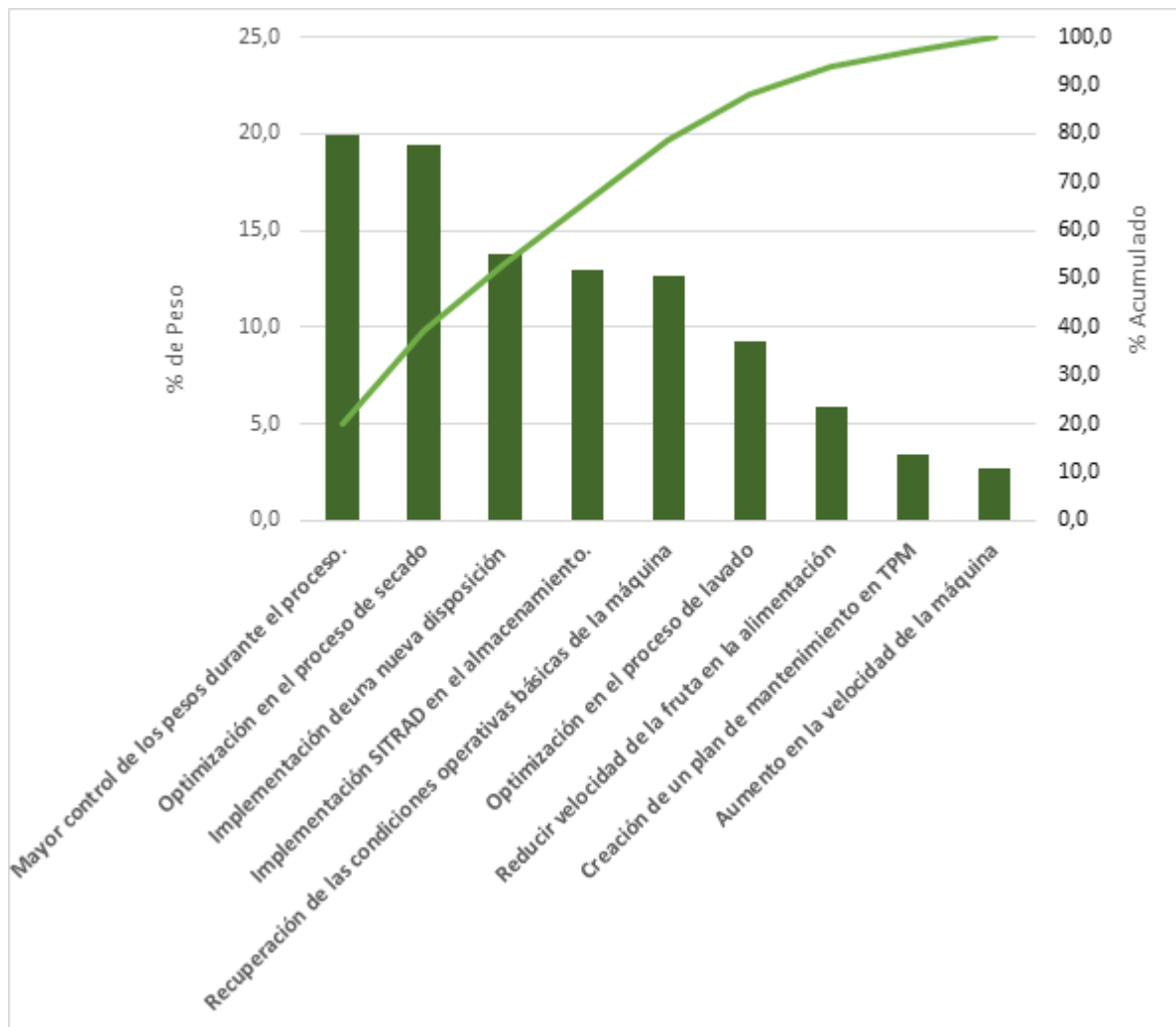
4.1. ANÁLISIS DEL MODELO SEIS SIGMA Y DESARROLLO DEL MÉTODO

La metodología seis sigmas establece un protocolo a seguir para lograr un objetivo de mejora continua en diferentes sectores de la industria. Existen diferentes formas de implementar este modelo, pero en este caso se usará DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar); éste ayuda a conocer más el proceso y las partes que lo componen de manera cualitativa y cuantitativa. De esta forma se encontrarán las oportunidades y puntos de optimización y la propuesta de mejoras para buscar soluciones a dichas problemáticas. Además, el DMAIC permite estructurar un modelo para el control de las variables involucradas en el proceso.

4.1.1. DEFINIR

Por medio de un análisis de Pareto se puede determinar cuáles son las alternativas más influyentes, considerando que algunas de estas influirán de manera positiva sobre otras, generando un proceso de retroalimentación y facilitando la mejora continua. Para realizar el análisis se usó el porcentaje en peso de cada una de las alternativas, sobre la sumatoria de la totalidad de alternativas. (ver Fig. 4).

Figura 4. Gráfico comparativo de los pesos relativos de cada una de las alternativas analizadas.



Fuente: Autor del proyecto.

Se puede observar que el 80% del peso se encuentra en 5 posibles soluciones. Como se había mencionado antes un proceso es el compendio de sus partes, las cuales funcionan de manera íntegra; de esta forma al modificar cualquiera de ellas se genera un cambio en las demás. Por esta razón se seleccionaron las siguientes 4 posibles alternativas considerando su peso e impacto en el proceso:

- Optimización en el proceso de lavado.
- Optimización en el proceso de secado.


- Recuperación de las condiciones operativas básicas de la máquina.
- Implementación del sistema SITRAD en el almacenamiento.

Cabe aclarar que la tercera alternativa con más peso, que corresponde a la implementación de una nueva disposición de la máquina, no se llevará a cabo debido a los grandes costos que incide, además de que esta alternativa requiere un análisis más minucioso, esto dado de que afectaría toda la logística interna de la planta, como lo es la disposición de los elementos, y por ende generaría confusiones en el personal interno, peor aún en el personal temporal y de rotación, ocasionando un caos que en últimas repercutiría en mayores pérdidas económicas.

4.1.2. MEDIR

En este punto se analizó la principal causa de los defectos y objetos de reclamación que es el control de los pesos. Actualmente se cuenta con un histórico de esta variable por parte del departamento de calidad, el cual hace uso de un formato diseñado por ellos mismos, observado en la figura 5, en donde diariamente de lunes a sábado se registran los pesos de 20 frutos aleatorios de cada calibre y en ocasiones dependiendo de los volúmenes que ingresan a la planta, se puede realizar 2 o 3 veces en el transcurso del día.

Figura 5. Formato de control de pesos.

	FORMATO DE CONTROL DE PESOS									
	FECHA:									
CALIBRES	ENCARGADO:									
14										
16										
17										
18										
20										
22										
24										
26										
28										
30										
32										

Fuente: CARTAMA, Departamento de calidad.

Lo cual plantea la hipótesis de que los errores no se cometen solamente por la ausencia de la norma o herramienta, sino también por el manejo que se le dé a esta. Haciendo uso de las mediciones presentes en el histórico, las cuales son muestras aleatorias de las líneas 1 y 2 durante un periodo de 5 semanas, estos datos son comparados con la norma (Figura 6) y posteriormente se calcula el porcentaje de frutos por fuera de ella. Dichos resultados se presentan bajo los criterios de semana y calibre, los cuales se observan en las tablas 3 y 4.

Figura 6. Pesos estandarizados.

<i>Size code</i>	<i>Weight range (g)</i>
4	781 to 1220
6	576 to 780
8	456 to 576
10	364 to 462
12	300 to 371
14	258 to 313
16	227 to 274
18	203 to 243
20	184 to 217
22	165 to 196
24	151 to 175
26	144 to 157
28	134 to 147
30	123 to 137
S*	Less than 123

UNECE, 2017.

Tabla 3. Resultados Promedio de la Línea 1.

SEMANA	1	2	3	4	5
Calibre	<i>PROMEDIOS</i>				
14	23,33%	12,14%	32,56%	26,79%	N/A
16	17,50%	22,08%	22,50%	2,50%	25,00%
18	10,00%	27,78%	13,33%	2,50%	18,89%
20	3,33%	18,33%	11,67%	10,00%	10,00%
22	13,33%	25,00%	18,33%	2,50%	12,50%
24	1,67%	5,00%	11,67%	7,50%	10,00%
26	10,00%	16,67%	10,00%	20,00%	25,00%
28	5,00%	10,00%	13,33%	5,00%	12,50%
30	3,33%	1,67%	10,00%	15,00%	5,00%
32	1,67%	0,00%	6,67%	2,50%	12,50%
S	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Promedio % Fuera de Rango	8,92%	13,87%	14,73%	9,43%	15,65%

Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 4. Resultados Promedio de la Línea 2.

SEMANA	1	2	3	4	5
Calibre	<i>PROMEDIOS</i>				
14	15,83%	4,76%	31,48%	2,50%	N/A
16	6,67%	0,00%	2,56%	6,25%	5,63%
18	3,33%	0,00%	31,67%	2,78%	2,50%
20	1,67%	1,67%	0,00%	2,50%	2,50%
22	5,00%	10,00%	0,00%	0,00%	2,50%
24	1,67%	5,00%	5,00%	0,00%	5,00%
26	3,33%	1,67%	5,00%	10,00%	2,50%
28	5,00%	3,33%	0,00%	2,50%	10,00%
30	1,67%	0,00%	1,67%	0,00%	0,00%
32	1,11%	0,00%	0,00%	0,00%	2,50%
S	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Promedio % Fuera de Rango	4,03%	2,80%	8,60%	2,66%	4,86%

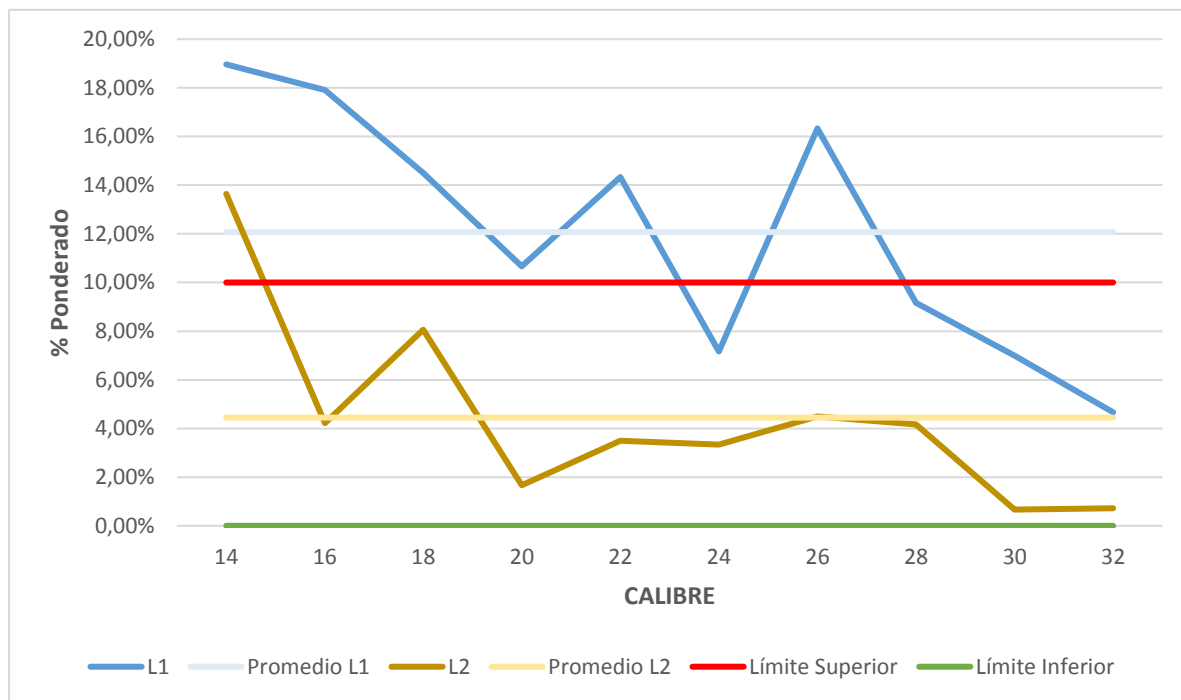
Fuente: Autor del proyecto.

Se puede observar que los resultados no presentan anomalías y se encuentran dentro de los rangos esperados, aunque se hace evidente la gran dispersión que presentan los datos entre sí.

4.1.3. ANALIZAR

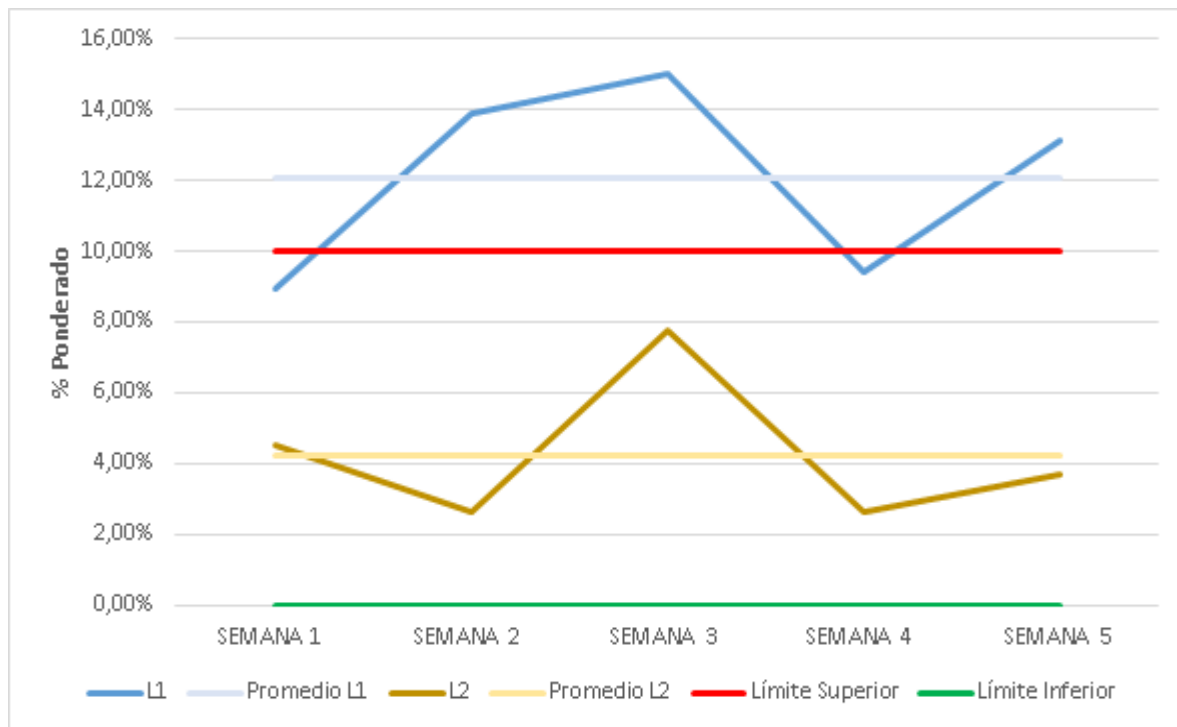
Con los resultados obtenidos se realizaron gráficos de control (ver Fig. 7 y 8); para determinar el estado actual de ambas líneas con respecto a las especificaciones de la norma, la cual estipula que el porcentaje máximo de error no puede ser mayor al 10%.

Figura 7. Comparación de promedios con respecto al calibre (ambas líneas).



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 8. Comparación de promedios con respecto a la semana (ambas líneas).



Fuente: Autor del proyecto.

Al realizar este proceso se puede inferir:

- La gran diferencia entre la línea 1 y la línea 2 de la máquina, siendo la línea 1 la que presenta mayor número de irregularidades como se puede observar en ambas figuras, Lo cual puede ser la respuesta de las inconformidades y fallos en el proceso.
- Se puede detallar en la figura 7 que la tendencia en ambas líneas es decreciente, en consecuencia, es más probable encontrar un fruto fuera de rango en los calibres de menor nomenclatura (frutos de mayor peso) que en los frutos con un calibre mayor (frutos pequeños).
- La figura 8 nos revela el comportamiento de las dos líneas en el transcurso de las semanas, en donde se observa que la línea 2 es más estable en el tiempo, mientras que la línea 1 no tiene un comportamiento predecible. Basado en ello, la semana 3 presenta

un punto crítico que se podría atribuir a un factor externo que afectó a ambas líneas, pero que desapareció o disminuyó en las semanas siguientes y reestableció el comportamiento de las líneas; esto inferido del comportamiento de la línea 2.

4.1.4. MEJORAR

La siguiente etapa corresponde a la ejecución de las soluciones planteadas por medio de las herramientas QFD. Los proyectos que representarían una gran alternativa de mejora en el proceso son:

- **Optimización en el proceso de lavado:**

La bomba del sistema de aspersión ubicada en la línea de producción siempre ha presentado fallas en el histórico de la máquina. Al realizar el debido seguimiento se encontró que en septiembre del 2015 se produjo un daño en el sistema y se tomó la decisión de reducir el diámetro del impulsor de 200 mm a 170 mm, lo cual disminuye su caudal, haciendo uso de las leyes de afinidad de las turbomáquinas, por medio de las ecuaciones:

$$\text{Caudal: } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (7)$$

$$\text{Cabeza o presión: } \frac{H_1}{H_2} = \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad (8)$$

$$\text{Potencia: } \frac{BHP_1}{BHP_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \quad (9)$$

D_1 : diámetro antes de la reducción.

D_2 : diámetro después de la reducción.

Q_1 : caudal antes de la reducción.

Q_2 : caudal después de la reducción.

H_1 : cabeza antes de la reducción.

H_2 : cabeza después de la reducción.

P_1 : presión antes de la reducción.

P_2 : presión después de la reducción.

BHP_1 : potencia antes de la reducción.

BHP_2 : potencia después de la reducción.

Obtenemos como resultado una disminución del caudal en un 15%, la presión en 28% y la potencia al freno en 39%. Debido a esto la bomba funciona con un filtro diferente el cual en ocasiones ha permitido el ingreso de suciedad a la bomba, provocando infinidad de daños y fallas en el correcto funcionamiento de la máquina.

Dada estas circunstancias se tomó la decisión de instalar y poner en marcha una nueva bomba para el proceso, adicionalmente basados en la experiencia personales dentro de la empresa se cambiaron las mangueras que componen el sistema por una tubería de PVC de ½" y se instaló un depósito extra para el cambio de la solución de prochloraz entre proveedores.

Figura 9. Bomba antigua del sistema de aspersión.



Figura 10. Nueva bomba del sistema de aspersión.



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 11. Cambio de la instalación del sistema de alimentación de los aspersores.



Fuente: Autor del proyecto.

- **Recuperación de las condiciones básicas operativas de la máquina:**

La máquina nunca ha recibido una intervención minuciosa en la totalidad de sus elementos, por ende, se realizó una limpieza, lubricación y se cambiaron aquellos que no estén en condiciones óptimas. Adicionalmente se instaló un sistema de aspersores que limpian la suciedad de las líneas durante su operación para obtener una mejor medida del peso.

Figura 12. Antigua correa posicionadora de fruta de la celda de carga.



Figura 13. Nueva correa posicionadora de fruta de la celda de carga.



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 14. Aspersores de limpieza de los carros transportadores de fruta.



Fuente: Autor del proyecto.

- **Optimización en el proceso de secado:**

Los frutos llegan a la etapa de empaque con su superficie húmeda por lo que se implementó un sistema para reducirla, optimizando el proceso y garantizando así la reducción de los DPV (déficit de presión de vapor), disminuyendo las tasas metabólicas de la fruta. Para ello se instaló un nuevo ventilador con el objetivo de aumentar el flujo másico de aire, se cambió la banda transportadora por una banda agujereada de nylon de alta densidad para evitar la generación de espacios muertos en el contacto fruto-banda y por último se acopló una recámara para generar un flujo turbulento dentro de ella, aumentando la transferencia de calor y masa de agua en la superficie del fruto hacia el aire.

Figura 15. Antigua banda transportadora de fruta.



Figura 16. Nueva banda transportadora de fruta.



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 17. Adaptación de ventilador centrífugo con cabina de secado.



Fuente: Autor del proyecto.

- **Implementación del sistema SITRAD en el almacenamiento:**

La temperatura juega un papel muy importante en cualquier proceso alimentario, en el caso en cuestión se tiene que ser precavido con la velocidad con que esta cambia y mayor aún con el control en los cambios positivos de esta, ya que el fruto de aguacate es termosensible, lo que indica que su sabor y cualidades están en función de la temperatura, fuera de que esta aumenta sus tasas metabólicas. Para esto se implementó un sistema de monitoreo remoto (SITRAD) en los equipos de refrigeración, tanto de la planta como los del almacenamiento de fruta.

4.1.5. CONTROL

Como ya se había mencionado antes, el uso adecuado de la herramienta de control estadístico y cartas de control es crucial en todo proceso, una herramienta que emita datos errados o mal procesados puede provocar re-procesos, sobrecostos, fallos e incluso la obsolescencia del sistema. Es por esto que en esta se etapa se debe estructurar de la mejor manera posible el protocolo a seguir para que las soluciones que se tomaron no se conviertan en problemas futuros y poder mejorar los estándares de calidad de la organización.

Después de la implementación de las 4 alternativas de mejora se realizaron muestreos aleatorios durante 3 semanas para determinar el nuevo estado de la máquina, los cuales se presentan en las Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5. Variación de los resultados promedio de la Línea 1.

SEMANA	11	12	13
Calibre	<i>PROMEDIOS</i>		
14	-	0,00%	5,00%
16	20,00%	15,00%	15,00%
18	10,00%	5,00%	0,00%
20	0,00%	10,00%	0,00%
22	0,00%	5,00%	5,00%
24	0,00%	5,00%	0,00%
26	10,00%	35,00%	0,00%
28	50,00%	0,00%	0,00%
30	0,00%	10,00%	0,00%
32	0,00%	0,00%	0,00%
S	-	-	-
Promedio % Fuera de Rango	10,00%	8,50%	2,50%

Fuente: Autor del proyecto.

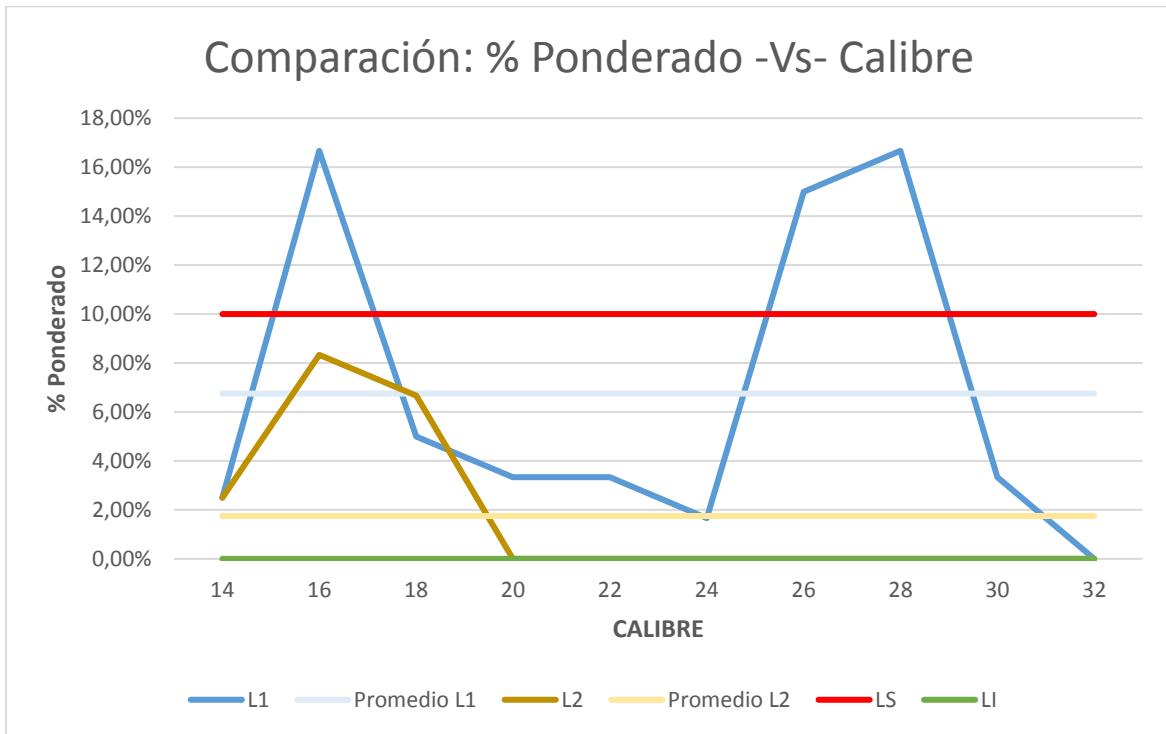
Tabla 6. Variación de los resultados promedio de la Línea 2.

SEMANA	11	12	13
Calibre	<i>PROMEDIOS</i>		
14	-	5,00%	0,00%
16	20,00%	5,00%	0,00%
18	0,00%	15,00%	5,00%
20	0,00%	0,00%	0,00%
22	0,00%	0,00%	0,00%
24	0,00%	0,00%	0,00%
26	0,00%	0,00%	0,00%
28	0,00%	0,00%	0,00%
30	0,00%	0,00%	0,00%
32	0,00%	0,00%	0,00%
S	-	-	-
Promedio % Fuera de Rango	2,22%	2,50%	0,50%

Fuente: Autor del proyecto.

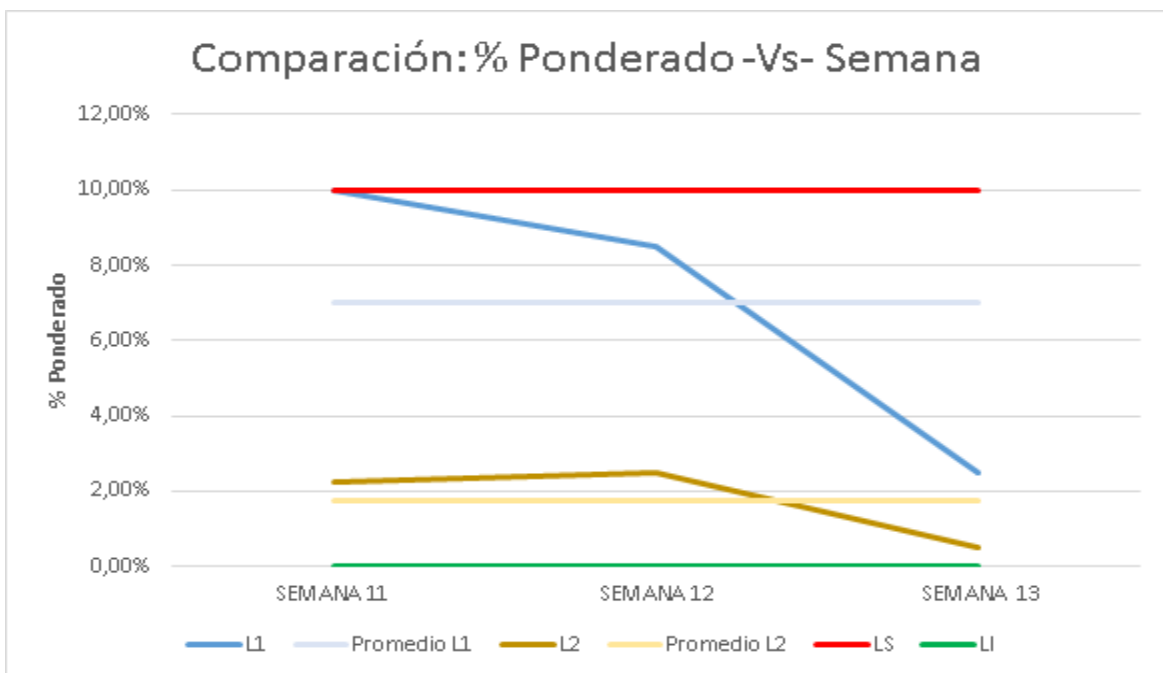
Con los resultados obtenidos, nuevamente se realizaron gráficos de control (ver Fig. 18 y 19) para visualizar el estado de las líneas.

Figura 18. Variación en la comparación de promedios con respecto al calibre (ambas líneas).



Fuente: Autor del proyecto.

Figura 19. Variación en la comparación de promedios con respecto a la semana (ambas líneas).



Fuente: Autor del proyecto.

De lo anterior podemos observar:

- La muy evidente mejora de ambas líneas, en donde de manera macro se detalla el mismo comportamiento en ambas, siendo la línea 1 la que presenta un mayor rango de error. Es preciso resaltar que en promedio se cumple con los estándares de la norma (error inferior al 10%).
- La figura 18 nos revela que los frutos de mayor calibre son los de menor porcentaje de error, en donde la línea 1 mejoró en su totalidad a excepción del calibre 28 que presentó un mayor número de fallas, por su parte en la línea 2 se logró desaparecer desde los calibres 20 hasta el 32 y disminuirlo en los calibres del 14 al 18. La disminución de los resultados promedio fueron **5,32%** para la línea 1, en donde disminuyó de 12,07% a 6,75% y en la línea 2, desde 4,45% hasta 1,75% con una diferencia de **2,7%**.
- Se puede detallar en la figura 19 que los errores tienen una tendencia decreciente en el tiempo, lo cual se puede atribuir a la adaptación de los sistemas al proceso y de la manipulación del personal, en promedio se observa la disminución de errores de **5,07%** y **2,5%** en la línea 1 y 2 respectivamente, desde valores como 12,07% hasta 7% para la línea 1 y en la línea 2 desde 4,25% hasta 1,74%.

Para mantener o mejorar estos resultados se han tomado medidas como:

- Un mayor control en la programación del mantenimiento.
- Capacitación del personal en el uso apropiado de los diferentes mecanismos que componen la máquina.
- Aumentar el número de muestras tomadas a diario en cada una de las líneas, pero con intervalos de tiempo diferente (5 muestras cada hora) para determinar que otros factores influyen en esta medición.
- Disponer de una persona permanentemente para el monitoreo del sistema SITRAD de manera online.

5. CONCLUSIONES

- Esta investigación consistió en la implementación de un modelo de gestión que disminuyera la problemática de Underweight en Cartama. El underweight consiste en la diferencia entre los valores obtenidos por la máquina en relación a los valores estandarizados por la norma. Para ello se implementaron las metodologías despliegue de la función de calidad (QFD) y Seis Sigma. Para dicho objetivo fue necesario cumplir una serie de pasos, que consistieron en determinar las necesidades actuales del cliente por medio de sus reclamaciones, para luego cuantificarlas y por medio de un proceso analítico jerárquico difuso (FAHP) se determinara su importancia en el proceso, a continuación por medio de la metodología de la casa de calidad se pudiesen hallar posibles soluciones a los factores que componen la problemática global (Underweight). Una vez determinadas estas soluciones se llevó a cabo la metodología DMAIC la cual estipula el protocolo a seguir para ejecutar estas soluciones de la mejor manera y determinar el impacto que tienen sobre la organización.
- Se puede concluir que el modelo de calidad QFD es una gran herramienta que resalta lo más importante de una organización, que es cumplir con los estándares de calidad de manera eficiente. También se debe de resaltar la gran utilidad a la hora de validar cuantitativamente las alternativas de mejora, ya que da trazabilidad y criterios técnicos que fundamentan de manera sólida la toma de decisiones dentro de la organización, lo cual no puede ser obtenido por medio de soluciones simples a las problemáticas visibles, como claro ejemplo de esto tenemos el criterio de descartar la alternativa de “nueva disposición de la máquina” que aparentemente sería una buena decisión, pero que al hacer uso de la metodología expuesta en este trabajo encontramos que se puede realizar impactos significativos sin incurrir en repercusiones negativas.
- La fuerza de la metodología seis sigma no consisten en los resultados a corto plazo obtenidos durante su ejecución, la verdadera fuerza de este modelo se encuentra en la forma en que retroalimenta continuamente los estándares de calidad del proceso. Es por esto que se debe seguir realizando de manera metódica la medición de las variables y buscando la correcta implementación del modelo para no incurrir en gastos mayores.

- La falta de conocimiento de los equipos involucrados en el proceso y el poco personal técnico dentro de la empresa han generado una desinformación en el uso adecuado de los equipos y por ende de su mantenimiento. Esto genera múltiples fallos en la correcta operación del sistema y en ocasiones paros repentinos de la producción, se puede validar esta información con los resultados obtenidos del presente trabajo, donde se puede observar que después de recuperar las condiciones operativas de la máquina y de instruir al personal se ve una mejora consecuente en el transcurso de las semanas.
- El modelo presentado tuvo un gran éxito, ya que se redujo significativamente los errores en la toma del peso de los frutos en ambas líneas, hasta valores promedio inferiores a los exigidos por la norma, incluso a valores cercanos o mayores al 50% del valor inicial de la investigación. Lo cual conlleva a la disminución notoria de las reclamaciones del cliente en destino.

6. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Agarwal, Shikhar. Gallo, Justin J. Parashar, Akhil. Agarwal, Kanika K. Ellis, Stephen G. Khot, Umesh N. Spooner, Robin. Tuzcu, Emin Murat. Kapadia, Samir R. (2015). Impact of lean six sigma process improvement methodology on cardiac catheterization laboratory efficiency. *Cardiovascular Revascularization Medicine*.
- 2) Akbas, Halil. Bilgen, Bilge. An integrated fuzzy QFD and TOPSIS methodology for choosing the ideal gas fuel at WWTPs. *Energy*.
- 3) Anass Cherrafi, Said Elfezazi, Andrea Chiarini, Ahmed Mokhlis, Khalid Benhida (2016). The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. *Journal of Cleaner Production* 139.
- 4) Andriani, Carlos. Et. al (2003). *El nuevo sistema de gestión para PYMES de Clase Mundial*. Ed. 2. Bogotá. Editorial Norma.
- 5) Bastardo Francisco e. (2010) Tesis diseño de un modelo de gestión para la administración y control de los proyectos en desarrollo de la empresa impsa caribe, c.a. Universidad nacional experimental politécnica “Antonio José de Sucre”. Maestría en ingeniería industrial.
- 6) Besterfield, Dale. Et. al (1999). *Total Quality Management*. Ed. 2 New Jersey: Prentice Hall.
- 7) Cengel, Yunus A., Boles, Michael A. (2012). *Termodinámica*. Ed. 7. México. Editorial Mc Graw Hill.
- 8) Chen, Aoyu. Dinar, Mahmoud. Gruenewald, Thomas. Wang, Max. Rosca, Justinian. Kurfess, Thomas R. (2017). *Manufacturing apps and the Dynamic House of Quality: Towards an industrial revolution*. *Manufacturing Letters*.

- 9) Dirección de asuntos económicos. (2016). Exportaciones de aguacate 2015. Analdex.
- 10) Guerrero, German Rubio (2006). Modelo conceptual desde la perspectiva ambiental compleja para la gestión de las operaciones de las empresas del sector manufacturero de la ciudad de Ibagué. Trabajo de tesis de Maestría en Administración. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- 11) Guo, Qi. Sheng, Kuangjie. Wang, Zheng. Zhang, Xilin. Yang, Hengyi. Miao, Rui. (2017). Research on Element Importance of Shafting Installation Based on QFD and FMEA. *Procedia Engineering*.
- 12) Gutowski, T.G., Branham, M.S., Dahmus, J.B., Jones, A.J., Thiriez, A. and Sekulic, D. (2009) 'A thermodynamic analysis of resources used in manufacturing processes', *Environmental Science and Technology*, Vol. 43, pp.1584–1590.
- 13) Hajmohammad, S., Vachon, S., Klassen, R.D., Gavronski, I., (2013). Lean management and supply management: their role in green practices and performance. *J. Clean. Prod.* 39, 312e320.
- 14) Mataix, Claudio (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Ed. 2. Madrid. Editorial Ediciones del castillo S.A.
- 15) Pugnaa, Adrian. Negreaa, Romeo. Micleaa, Serban (2016). Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company. *Procedia Engineering*.
- 16) Revista Dinero. (2017), Acopi, Anif, Universidad Nacional, Confecámaras. Recuperado: <https://www.dinero.com/economia/articulo/exportaciones-de-las-mipymes-en-colombia/241893>

- 17) Revista Dinero. (2017). Aguacate: el oro verde de la economía colombiana. Recuperado: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/informe-especial/articulo/aguacate-exportacion-y-mercado-en-colombia/243434>

- 18) Revista Dinero. (2017). Los retos que enfrentan las mipymes en Colombia. Recuperado: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/pymes/articulo/los-retos-que-enfrentan-las-mipymes-en-colombia/241586>

- 19) UNECE. (2017). STANDARD FFV-42 Avocados. New York and Geneva: United Nation.

- 20) Zapata, César A. (2015). Gráficos de control. Editorial Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ingeniería Industrial.