



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Gestión Industrial

**APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UN BENEFICIO SECO DE CAFÉ**

**Lic. Víctor Manuel López Fernández**

Asesorado por el MSc. Ing. Edwin Geovani Turcios Flores

Guatemala, enero de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UN BENEFICIO SECO DE CAFÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LIC. VICTOR MANUEL LÓPEZ FERNÁNDEZ**

ASESORADO POR EL ING. EDWIN GEOVANI TURCIOS FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTE EN GESTIÓN INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ENERO DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval
EXAMINADORA	Dra. Aura Marina Rodríguez Pérez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UN BENEFICIO SECO DE CAFÉ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 19 de enero de 2012.



**Lic. Victor Manuel López Fernández**



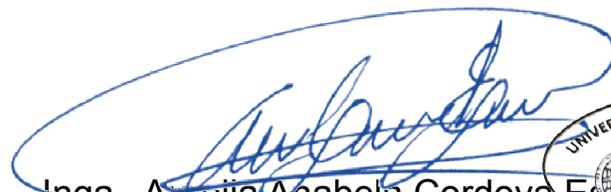
Facultad de Ingeniería

Decanato  
24189101-  
24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.022.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UN BENEFICIO SECO DE CAFÉ**, presentado por: **Víctor Manuel López Fernández**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión industrial, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aureilia Anabela Cordova Escobar



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DECANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Decana

Guatemala, enero de 2022

AACE/gaoc





**Guatemala, enero de 2022**

LNG.EEP.OI.022.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UN BENEFICIO SECO DE CAFÉ”**

presentado por **Víctor Manuel López Fernández** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión industrial** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 14 de agosto de 2021

Maestro  
Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente.

Estimado Mtro. Álvarez:

Por este medio le informo que he revisado y aprobado el **informe final** de graduación titulado: **“APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UN BENEFICIO SECO DE CAFÉ.”**. Del estudiante Victor Manuel López Fernández, del programa de Maestría en **Artes en Gestión Industrial**.

Con base en la evaluación realizada hago constar la originalidad, calidad, validez, pertinencia y coherencia según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobados por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Cumpliendo tanto en su estructura como en su contenido, por lo cual el protocolo evaluado cuenta con mi aprobación.

*“Id y Enseñad a Todos”*



**M.A. Carlos Humberto Aroche Sandoval**  
**Coordinador de Gestión Industrial**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**



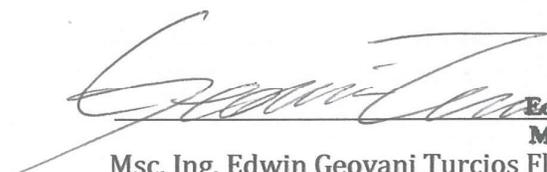
Guatemala, 23 de julio de 2021.

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **“APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE UN BENEFICIO SECO DE CAFÉ”** del estudiante **Victor Manuel López Fernández** del programa de Maestría en **Gestión Industrial**, identificado con número de carné: **100019468**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



**Edwin Geovani Turcios Flores**  
**M. Sc. en Ingeniería Sanitaria**  
**Msc. Ing. Edwin Geovani Turcios Flores Ingeniero Civil**  
**Colegiado 14,170**

Colegiado No. 14170

Asesor de Tesis



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por todas las bendiciones recibidas.
<b>Mis padres</b>	Irma Yolanda Fernández y Víctor Manuel López, por ser mi ejemplo a seguir.
<b>Mis hermanos</b>	Alicia Marisela y Manuel Fernando López, por su apoyo incondicional.
<b>Mis docentes</b>	Especialmente a la doctora Aura Marina Rodríguez Pérez, por motivarme a seguir adelante.
<b>Mi amigo</b>	Ronald Murga, por su apoyo y motivación.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios y por formarme como profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por el aprendizaje transmitido a lo largo de mi carrera.
<b>Mis catedráticos</b>	Por sus valiosas enseñanzas.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Geovani Turcios, por guiarme en el desarrollo de este trabajo de investigación.
<b>Mis amigos</b>	Especialmente a Ronald Murga, por su valiosa amistad.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Beneficio seco de café.....	1
1.1.1. Etapas del proceso productivo del beneficio seco ....	2
1.1.1.1. Tolva de prelimpieza.....	2
1.1.1.2. Retrilla .....	3
1.1.1.3. Catadoras .....	3
1.1.1.4. Máquina Oliver.....	5
1.1.1.5. Clasificadora de tamaños .....	6
1.1.1.6. Electrónica.....	6
1.1.1.7. Bandas de escogido .....	7
1.2. Calidad del café.....	8
1.2.1. Características físicas del grano.....	9
1.2.1.1. La forma .....	9
1.2.1.2. Tamaño .....	10
1.2.1.3. Color .....	11

1.3.	Principales defectos del grano de café.....	13
1.4.	Productividad .....	15
1.4.1.	Eficiencia y eficacia .....	16
1.5.	Definición de calidad .....	17
1.5.1.	Aseguramiento de la calidad .....	17
1.5.2.	Control de calidad .....	18
1.5.3.	Variabilidad en los procesos.....	19
1.6.	Control estadístico.....	20
1.6.1.	Gráficas de control por variables.....	21
1.6.2.	Indicadores de control de calidad.....	22
1.6.3.	Cálculo de los valores estadísticos .....	23
1.6.4.	Cartas de control estadístico .....	26
1.6.5.	Cartas de control de la media muestral por variables .....	27
1.6.6.	Metodología para el control estadístico.....	29
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	31
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	33
3.1.	Objetivo 1: identificar los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir con el cumplimiento de especificaciones de calidad en los lotes de café .....	33
3.1.1.	Análisis de proceso productivo en beneficio seco ..	34
3.1.2.	Mecanismos de control de calidad de los lotes de café .....	36
3.1.3.	Características de calidad para los lotes de café ...	37
3.1.4.	Costo para procesar lotes de café de exportación.....	39

3.1.5.	Diagrama de causa-raíz .....	40
3.1.6.	Principales factores que pueden incidir en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café.....	41
3.2.	Objetivo 2: analizar las etapas críticas del proceso productivo para medir las variaciones de calidad en un lote de café para exportación. ....	46
3.2.1.	Paso 1: muestreo en el proceso productivo.....	46
3.2.2.	Paso 2: medición de la variable .....	48
3.2.3.	Paso 3: definir la frecuencia del muestreo .....	48
3.2.4.	Paso 4: cálculo de los valores estadísticos .....	54
3.2.5.	Paso 5: establecer límites de control .....	56
3.2.6.	Paso 6: análisis e interpretación .....	62
3.3.	Objetivo 3: analizar los beneficios de aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo que permita mantener la eficiencia y la calidad del café. ....	70
3.4.	Objetivo 4: aplicar el control estadístico de calidad para mejorar la eficiencia del proceso productivo de un beneficio seco de café. ....	72
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	83
4.1.	Análisis de aspectos internos .....	83
4.2.	Análisis de aspectos externos .....	86
	CONCLUSIONES .....	89
	RECOMENDACIONES.....	91
	REFERENCIAS .....	93
	APÉNDICES .....	97



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Etapas del proceso productivo de café.....	2
2.	Máquina de retrilla.....	3
3.	Catadora.....	4
4.	Máquina Oliver.....	5
5.	Electrónica.....	7
6.	Mujeres clasificando granos de café.....	8
7.	Diámetro de las zarandas para granos de café.....	11
8.	Colores de los granos de café en oro.....	12
9.	Defectos extrínsecos.....	13
10.	Principales granos defectuosos.....	14
11.	Proceso de inspección de la calidad del producto.....	20
12.	Estructura de una gráfica de control.....	22
13.	Estructura de la curva de control.....	26
14.	Distribución de probabilidades de la carta $\bar{X}$ .....	28
15.	Diagrama de flujo del proceso productivo.....	36
16.	Características de calidad del café.....	38
17.	Diagrama de pescado de principales factores.....	41
18.	Ficha del lote de café objeto de estudio.....	47
19.	Límites de control en la retrilla.....	57
20.	Límites de control en la máquina catadora.....	58
21.	Límites de control de la máquina clasificadora.....	59
22.	Límites de control de la máquina Oliver.....	60
23.	Límites de control: máquina electrónica y banda de escogido.....	61

24.	Puntos de imperfección en los límites de control .....	64
25.	Límites de control nuevo en la máquina Oliver .....	67
26.	Límites de control de la banda de la máquina electrónica .....	70
27.	Toma de muestra .....	75
28.	Límites de control nuevo en la máquina Oliver .....	67
29.	Imperfecciones en los granos de café .....	80

## TABLAS

I.	Variables e indicadores.....	XX
II.	Metodología para control estadístico .....	30
III.	Lotes de café procesado para exportación .....	38
IV.	Lotes de café aprobados para exportación .....	39
V.	Costo por quintal de café oro a procesar en beneficio seco .....	40
VI.	Tipo de reparaciones en el proceso productivo.....	42
VII.	Muestreo en la máquina retrilla.....	49
VIII.	Muestreo en la máquina catadora.....	50
IX.	Muestreo en la máquina clasificadora.....	51
X.	Muestreo en la máquina Oliver .....	52
XI.	Muestreo en la máquina electrónica y banda de escogido .....	53
XII.	Cálculo de los valores estadísticos muestrales.....	55
XIII.	Control estadístico de calidad en la retrilla.....	58
XIV.	Control estadístico de calidad en la catadora .....	59
XV.	Control estadístico de calidad en la máquina clasificadora.....	60
XVI.	Control estadístico de calidad de la máquina Oliver .....	61
XVII.	Control estadístico de calidad de máquina electrónica y banda de escogido.....	62
XVIII.	Análisis de gráfica de control .....	63
XIX.	Control estadístico de calidad .....	65
XX.	Muestreo con acciones en la máquina Oliver .....	66

XXI.	Control estadístico de calidad a la máquina Oliver.....	68
XXII.	Muestreo con acciones en máquina electrónica/banda.....	69
XXIII.	Principales beneficios de aplicar control estadístico .....	71
XXIV.	Costos por incurrir si procede reproceso del lote de café .....	72
XXV.	Control estadístico de calidad .....	73
XXVI.	Ficha del lote de café .....	74
XXVII.	Ficha para toma de muestra.....	76
XXVIII.	Frecuencia para la toma de muestra.....	77
XXIX.	Cálculo de valores estadísticos .....	78
XXX.	Análisis de la aplicación del control estadístico.....	83



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>s</b>	Desviación estándar muestral
<b>LCI</b>	Límite de control inferior
<b>LCS</b>	Límite de control superior
$\bar{X}$	Media muestral
<b>n</b>	Tamaño de la muestra



## GLOSARIO

<b>Beneficio seco de café</b>	Planta que se dedica a la clasificación de los granos de café de acuerdo con sus características físicas como peso, tamaño y color; y de la eliminación de granos defectuosos.
<b>Estrictamente duro</b>	Tipo de café (SHB, <i>strictly hard bean</i> ) muy cotizado a nivel mundial por su peculiar acidez, cuerpo consistente, sabor definido y fuerte aroma.
<b>Granos defectuosos</b>	Granos de café que no poseen las características físicas de calidad y no cumplen con estándares que exigen una preparación para la exportación.
<b><i>Green Coffee Association</i></b>	Asociación que establece estándares de calidad y los tipos de imperfecciones en granos de café.
<b>Preparación europea y americana</b>	Tipo de calidad que exige el cliente en un lote de café de exportación, que implica menor cantidad de defectos y que cumpla ciertos estándares de calidad.
<b>Puntos de imperfección</b>	Cantidad de granos defectuosos de café que se agrupan para conformar un punto, de conformidad con la tabla de imperfecciones.



## RESUMEN

El propósito del presente trabajo es mejorar la eficiencia de las operaciones del proceso de transformación de café pergamino a café oro listo para la exportación, a través de la aplicación del control estadístico de calidad, siendo el objetivo general lograr el cumplimiento de los estándares de calidad que se exigen para una exportación.

La falta de herramientas para la medición del proceso productivo de café genera problemas para identificar los factores que analizan los puntos críticos en cada etapa del proceso productivo y tomar decisiones efectivas que permitan gestionar de mejor forma el beneficio seco de café objeto de estudio, lo cual podría incurrir en incumplimiento de las especificaciones de calidad, reprocesos y aumento de costos.

La metodología utilizada para desarrollar la investigación fue a través de la consulta de referencias bibliográficas relacionadas con el control estadístico de calidad, el proceso productivo en un beneficio seco de café, y los diferentes tipos de preparación para exportación y diferentes granos defectuosos que se pueden presentar en un lote de café. Asimismo, se realizaron entrevistas con el encargado del proceso y el departamento de catación y se efectuaron visitas al lugar objeto de estudio para la recopilación de información.

Se logró aplicar el control estadístico de calidad por medio de gráficas de control por variables a través del muestreo, el cálculo de valores estadísticos en cada una de las etapas del proceso productivo que se conforma por la retrilla, catadora, clasificadora, Oliver, electrónica y banda de escogido.

Con los resultados que se obtienen de los indicadores, se logró establecer los puntos de imperfección que representan la cantidad de granos defectuosos existente en cada muestra, identificar las etapas críticas y permitió al jefe encargado tomar decisiones para gestionar de forma eficiente el proceso productivo, realizar acciones correctivas oportunas, que permite la reducción de costos de operación y el cumplimiento de los estándares de calidad.

Por lo anterior, se puede concluir que la aplicación del control estadístico de calidad permite reducir la cantidad de granos defectuosos que se presentan en los lotes de café para exportación, aumentar la eficiencia del proceso productivo y el cumplir con los estándares de calidad que el cliente requiere para una exportación.

Por último, es importante desarrollar y gestionar la mejora continua en los procesos productivos a través de la medición y el uso del control estadístico de calidad dentro del beneficio seco de café, que contribuyan a la generación de valor, optimización de los recursos por medio de la medición y control e identificar los factores y puntos críticos que pueden afectar la calidad y productividad del beneficio seco de café.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS**

En Guatemala, los beneficios secos de café desempeñan una labor importante para su comercialización y consumo dentro del país y a nivel internacional, por medio de las exportaciones que se realizan del producto procesado; es importante trabajar de manera eficiente para mantener la calidad de los lotes de café, asegurando el cumplimiento de estándares mínimos y mantener la capacidad competitiva a nivel internacional.

La investigación se desarrolló en un beneficio seco de café en Guatemala, con más de 40 años de experiencia en la transformación de café pergamino a café oro, listo para la exportación. Dentro de las preparaciones de café que procesa para la comercialización se encuentra la americana y la europea, siendo esta última la más exigente para los clientes, en cumplimiento con los estándares de calidad.

El proceso productivo que se realiza consiste en quitar al café pergamino una pequeña cáscara llamada cascabillo, para dejar únicamente el grano conocido como café oro; posteriormente, el café pasa por diferentes máquinas que se encargan de clasificar el grano de acuerdo con sus características físicas, tamaño, peso y color, y de eliminar la mayor cantidad de granos defectuosos para obtener como resultado café oro listo para la exportación.

Sin embargo, después de aplicar el proceso productivo descrito anteriormente, el departamento de catación de café ha observado y detectado al momento de realizar las pruebas de análisis de calidad, la presencia de gran

cantidad de granos defectuosos en los lotes de café para exportación. De acuerdo con lo definido anteriormente acerca del proceso productivo, se plantean las siguientes interrogantes de investigación:

#### Pregunta central

¿Cómo aplicar el control estadístico de calidad que permita mejorar la eficiencia del proceso productivo en un beneficio seco de café y la reducción de la cantidad de granos defectuosos en los lotes de café para exportación?

Las preguntas específicas de investigación son:

- ¿Cuáles son los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café?
- ¿De qué forma se pueden analizar las etapas críticas del proceso productivo para medir las variaciones de calidad en un lote de café para exportación?
- ¿Cuáles son los beneficios de aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo que permita mantener la eficiencia y la calidad del café?

La presente investigación se desarrolló durante el período comprendido de marzo a junio del año 2021, en el beneficio seco de café Santa Isabel, el cual se dedica a la transformación de café pergamino a café oro listo para la exportación y que se encuentra ubicado en la zona 6 de la ciudad capital de Guatemala.

# OBJETIVOS

## General

Aplicar el control estadístico de calidad para mejorar la eficiencia del proceso productivo de un beneficio seco de café.

## Específicos

- Identificar los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café.
- Analizar las etapas críticas del proceso productivo para medir las variaciones de calidad en un lote de café para exportación.
- Analizar los beneficios de aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo que permitan mantener la eficiencia y calidad del café.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación se elaboró con el propósito de brindar una solución al problema de la existencia de gran cantidad de granos defectuosos en los lotes de café, para lo cual se busca a través del desarrollo de gráficas de control de calidad estadístico, establecer puntos fuera de control y determinar las etapas críticas del proceso productivo.

La metodología de la investigación tiene las siguientes características:

- Enfoque mixto, debido a que tiene variables cualitativas, las cuales se identificaron mediante observaciones directas y entrevistas realizadas a los involucrados en el proceso productivo, y cuantitativas porque se realizó un muestreo en cada etapa del proceso productivo para obtener datos de los puntos de imperfecciones que representan los granos defectuosos que se observan en los lotes de café; los resultados fueron analizados a través de valores estadísticos de la muestra y gráficas de control.
- Diseño no experimental, debido que no se efectuaron pruebas de laboratorio ni experimentos para el desarrollo de la investigación.
- El tipo de estudio es explicativo y el alcance es descriptivo, ya que es una propuesta para la aplicación del control estadístico de calidad en el proceso de transformación de café pergamino a café oro listo para la exportación, para brindar una herramienta por medio de una serie de pasos.

Como fundamento para el desarrollo de la investigación se tomaron muestras de un lote de café para exportación, para identificar por medio de los puntos de imperfección, la cantidad de granos defectuosos que se observan en cada etapa del proceso productivo.

El lote de café objeto de estudio fue de una preparación europea para exportación de 1100 sacos de café pergamino (550 sacos café oro), para lo cual se calculó el tamaño de la muestra de 40, con base en un nivel de confianza del 90 % y margen de error de 0.5. Se realizó el muestreo en cada etapa del proceso productivo durante un lapso de tiempo de treinta minutos por cada muestra, con el propósito de establecer la cantidad de puntos de imperfección, calcular los valores estadísticos, desarrollar las gráficas de control y establecer si el proceso productivo se encuentra bajo control estadístico; en caso contrario brindar las sugerencias para la toma de decisión en la realización de las acciones correctivas. A continuación, se detallan las variables y los indicadores utilizados:

Tabla I. **Variables e indicadores**

Objetivo	Variable	Tipo de variable	Indicador	Técnicas
Identificar los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café.	Identificar factores			
Analizar las etapas críticas del proceso productivo para medir las variaciones de calidad mediante la muestra en un lote de café para exportación.	Análisis del proceso productivo	- Dependiente  - Cuantitativa	- Puntos de imperfecciones  - Granos defectuosos de café	- Observación directa  - Entrevistas
Detallar los beneficios de aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo que permita mantener la eficiencia y calidad del café.	Beneficios de la aplicación de controles estadísticos	- Cualitativa		- Muestreo
Aplicar el control estadístico de calidad para mejorar la eficiencia del proceso productivo de un beneficio seco de café.	Control y medición estadística en las etapas del proceso			

Fuente: elaboración propia.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en la aplicación del control estadístico de calidad en el proceso productivo, con el propósito de contribuir a mejorar la eficiencia en la transformación de café pergamino a café oro listo para exportar y lograr el cumplimiento de los estándares de calidad que el cliente exige.

La problemática dentro del beneficio seco de café radica en la existencia de gran cantidad de granos defectuosos en los lotes de café de exportación, posterior a realizar una clasificación y eliminación por medio de las diferentes máquinas que conforman el proceso productivo.

La importancia en la aplicación del control estadístico de calidad radica en que no se dispone de herramientas de medición y control que permitan establecer los factores internos que inciden en el cumplimiento de los estándares de calidad e identificar las etapas críticas y causas que generan las variaciones en el proceso productivo, para tomar mejores decisiones y efectuar acciones correctivas necesarias para lograr resultados favorables para el beneficio seco de café.

La investigación se desarrolló a través de un enfoque mixto, ya que posee variables cualitativas debido a que se realizaron observaciones directas por medio de visitas y entrevistas a los involucrados en el proceso productivo, y cuantitativas porque se efectuaron muestreos en cada etapa del proceso productivo con base en un lote de café de exportación con preparación europea. Además, el tipo de estudio es explicativo y el alcance descriptivo, ya que se trata

de una propuesta para la aplicación del control estadístico por medio de gráficas de control por variables; luego, es un diseño no experimental, ya que no se realizaron pruebas de laboratorio ni experimentos.

La investigación que se presenta está conformada por los siguientes capítulos: el primero expone el marco teórico que contiene información sobre el proceso de control estadístico de calidad y aspectos relacionados con el beneficio seco de café, tipos de granos defectuosos y preparaciones; en el segundo, se expone el desarrollo de la investigación, en el cual se definen las fases de la metodología utilizada para la recopilación de información, por medio de entrevistas, observación y visitas realizadas; En el tercero se presentan los resultados con la identificación de los factores internos, el análisis de las etapas críticas y los beneficios que se lograron con la recopilación de los datos, el muestreo, el cálculo de valores estadísticos, las gráficas de control y el análisis e interpretación.

Por último, en el cuarto capítulo, se realizó la discusión de los resultados alcanzados a través de un análisis interno y externo. En el análisis interno se valida si la investigación resuelve objetivamente el problema fundamental, y en el externo, se hace una comparación y contraste con el marco referencial de la investigación.

El resultado de la investigación aporta al beneficio seco de café la herramienta estadística para efectuar la medición y control que permita gestionar de manera eficiente las operaciones en el proceso productivo, con el fin de eliminar la mayor cantidad de granos defectuosos en los lotes de café y lograr el cumplimiento de los estándares de calidad en el proceso de exportación.

# **1. MARCO TEÓRICO**

En esta sección se hace la exposición y análisis de las teorías y enfoques teóricos y conceptuales utilizados para fundamentar la investigación relacionada con la aplicación del control estadístico de calidad para mejorar la eficiencia del proceso productivo de un beneficio seco de café.

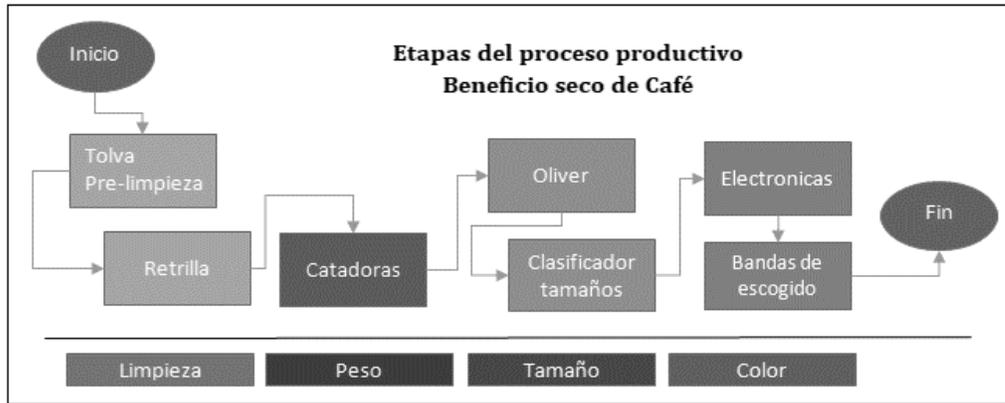
## **1.1. Beneficio seco de café**

Generalmente, los beneficios secos de café en Guatemala funcionan como empresas de servicio (maquiladora) que trabajan para una o varias compañías exportadoras, o bien para un productor-exportador que envía directamente su café al exterior. El productor-exportador no tiene la capacidad económica para invertir en un beneficio seco propio y que este sea lo suficientemente rentable.

El beneficio seco de café es una planta cuyo proceso productivo consiste en transformar el café pergamino a café oro, con el fin de remover o quitar al café pergamino la cáscara que trae, llamada cascabillo, para dejar únicamente el grano conocido como café oro. Por medio de la utilización de diferentes máquinas especializadas se realiza una clasificación de acuerdo con sus características físicas peso, tamaño, color y eliminación de granos defectuosos, para obtener finalmente un grano limpio listo para la exportación.

Según Anacafé (2005), es necesario realizar una clasificación de granos para obtener un café oro de mejor calidad. El beneficio seco no provoca en el grano cambios químicos ni bioquímicos, solamente realiza cambios físicos; el beneficio seco no tiene impacto en el sabor individual de cada grano de café. Deben retirarse los granos defectuosos que se presenten en los lotes de café.

Figura 1. **Etapas del proceso productivo de café**



Fuente: elaboración propia.

### 1.1.1. **Etapas del proceso productivo del beneficio seco**

Para realizar este proceso de producción el café debe pasar por las diferentes máquinas que se utilizan en el beneficio seco, siendo las siguientes:

#### 1.1.1.1. **Tolva de prelimpieza**

El proceso de transformación del café pergamino inicia en la tolva de recibo. La tolva prelimpieza posee un enrejado con el fin de eliminar objetos grandes ajenos al café que podrían dañar la maquinaria. Todo café que se deposite aquí abastecerá a las máquinas restantes que forman parte del proceso. Los materiales ajenos o desechos que pueda traer el café tales como pita, piedras, basura, entre otros, son descartados con el fin de que, al entrar el café pergamino al proceso, esté limpio y libre de objetos que puedan dañar la máquina.

### 1.1.1.2. Retrilla

La trilla del café es el acto por medio del cual se separa la envoltura o cáscara llamada cascabillo a la almendra o grano pergamino, para dejar el grano limpio, en estado de café oro. Al momento de salir de la retrilla, es pasado por un succionador que remueve todo el pergamino eliminado.

Figura 2. Máquina de retrilla



Fuente:100Mex. *Retrilla*. Consultado el 12 de octubre de 2021. Recuperado de <https://mye100mex.com.mx/beneficio-seco.html>.

Se aparta el grano y el cascabillo por medio de un sistema de aire, trasladando el café a la siguiente etapa del proceso y el cascabillo a la bodega de cascabillo.

### 1.1.1.3. Catadoras

La selección y limpieza del café inicia en el momento en que ingresa a las catadoras. Éstas efectúan una clasificación por densidad, eliminando granos que no tienen el peso de un grano normal, tales como granos quebrados, verdes, vanos y argeñados. La estructura de estas máquinas es de forma vertical y

poseen un ventilador en la parte inferior. Estas son alimentadas en la parte superior, dejando caer el café sobre la fuente de aire que es impulsada hacia arriba. De esta manera son eliminados los granos menos densos, arrastrados por la corriente de aire a la que son sometidos.

Figura 3. **Catadora**



Fuente: Solocafé. *Catadora*. Consultado el 10 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.solocafe.com.mx/shop/catadora-neumatica/>.

El resultado que se obtiene de esta etapa de clasificación por peso es separar los granos de café que no poseen el peso normal y el café de primera el

cual posee dicho peso, este último será el que ingrese a la siguiente máquina del proceso productivo, según Anacafé (2006).

#### 1.1.1.4. Máquina Oliver

Esta es una máquina clasificadora que funciona con aire, gravedad y vibraciones. En la parte superior tiene ondulaciones con cuatro salidas; en la primera elimina granos grandes y deformes; en la segunda, grano de primera; en la tercera y cuarta, el café pequeño y poco denso que las clasificadoras anteriores no pudieron eliminar.

Figura 4. Máquina Oliver



Fuente: Solocafé. *Clasificadoras*. Consultado el 10 de octubre de 2021. Recuperado de <http://www.solocafe.com.mx/shop/clasificadora-densimetrica-tipo-oliver/>.

Es un equipo de precisión y de alto rendimiento que separa los granos de café de acuerdo con su peso específico, es decir, por densidad, para que de esta forma se puedan eliminar los defectos y con ello, mejorar la calidad del producto que se logrará al final de todo el proceso productivo. De esta máquina se obtiene café en las clasificaciones de: primera, segunda y tercera. Hasta esta fase se llega cuando el contrato que se está trabajando es para una preparación americana.

#### **1.1.1.5. Clasificadora de tamaños**

Frecuentemente, las preparaciones europeas exigen un tamaño de grano homogéneo o con un porcentaje de grano pequeño como mínimo. El café es sometido a las zarandas, las cuales efectúan una clasificación por tamaño. El tamaño puede variar desde 12 hasta 20/64 pulgadas, que es el tamaño de los agujeros, oscilando las exigencias de la preparación de uno en uno.

#### **1.1.1.6. Electrónica**

La mayoría de los países europeos y algunos americanos son consumidores de café fino y bien seleccionado, preparación que a menudo necesita una selección minuciosa, para dejar los granos de mejor calidad. Para ello se necesita máquinas de selección electrónica, las que se encargan de eliminar todo aquel grano que no encaje dentro del patrón de color (verde normal) que se haya predeterminado.

Los granos de café que ingresan a la máquina pasan por un conducto, en donde se ubican los analizadores electrónicos, los cuales se encargan de apartar los granos por un impulso de aire, si los mismos fueran reconocidos por la máquina como defectuosos.

Figura 5. **Electrónica**



Fuente: Bühler GmbH. *Seleccionadora de café*. Recuperado de <https://www.agriexpo.online/es/prod/buehler-gmbh/product-168626-130251.html>.

#### **1.1.1.7. Bandas de escogido**

Como todas las máquinas mencionadas anteriormente que forman parte del proceso productivo en el beneficio seco de café no efectúan una selección 100 % perfecta, se debe emplear mano de obra directa para el escogido de café; es esta la clasificación final, que se realiza en el proceso productivo. Esto se hace en las bandas de escogido donde se esparce el café a medida que la banda corre, para que los granos defectuosos puedan ser escogidos fácilmente.

En la mayoría de los beneficios secos las personas que escogen el café en las bandas son mujeres. La carga que se le ponga a dichas bandas y la velocidad con que estas funcionen, será en virtud de qué tan exigente sea la preparación.

Figura 6. **Mujeres clasificando granos de café**



Fuente: Istock. *Niñas y mujeres clasificando granos de café*. Consultado el 20 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.istockphoto.com/es/foto/las-ni%C3%B1as-y-mujeres-clasificar-granos-de-caf%C3%A9-la-%C3%A1frica-del-este-gm815381358-13191267>.

## 1.2. **Calidad del café**

La calidad del café se determina mediante la evaluación de una serie de características definidas, que varían con las necesidades y gustos del mercado consumidor. Las características o cualidades que se evalúan y que determinan la calidad del producto se pueden agrupar por un lado en las que dependen del aspecto físico del grano, y por otro, en aquellas que se refieren específicamente a la bebida, es decir, organolépticamente.

La determinación de la calidad no es más que calificar las características físicas y organolépticas del café, cuya actividad deberá realizarla una persona que tenga amplio conocimiento, experiencia y habilidad para percibir cada uno de los atributos y defectos que pueda tener el café.

En el caso de los defectos físicos, existen diversas tolerancias que dependerán del mercado destino del café a exportar, no así en el caso de los defectos en sabor, que usualmente se espera una taza limpia, libre de sabores desagradables y con las características que el comprador exige.

Es muy importante conocer estos granos debido a que la comercialización del café, el comprador y el vendedor deben de acordar mediante un contrato, la cantidad de granos defectuosos presentes en la muestra, de acuerdo con la preparación establecida.

Actualmente, en el mercado internacional es de gran interés tomar en cuenta la apariencia general del grano, es decir, que esté presente cierto grado de homogeneidad en el tipo de preparación que se exige para la exportación. Para determinar esto, se consideran las características en la evaluación de la calidad del café.

### **1.2.1. Características físicas del grano**

De acuerdo con Anacafé (2006), los granos presentan cualidades físicas que caracterizan la calidad del café, y son las siguientes:

#### **1.2.1.1. La forma**

El grano de café tiene como base una forma plana convexa o chata, la cual se considera normal. De allí que los granos anormalmente grandes como los llamados “elefantes” y los granos caracoles y triángulos, se consideran en última instancia como defectos, aunque se presenten sanos y produzcan una bebida normal.

### **1.2.1.2. Tamaño**

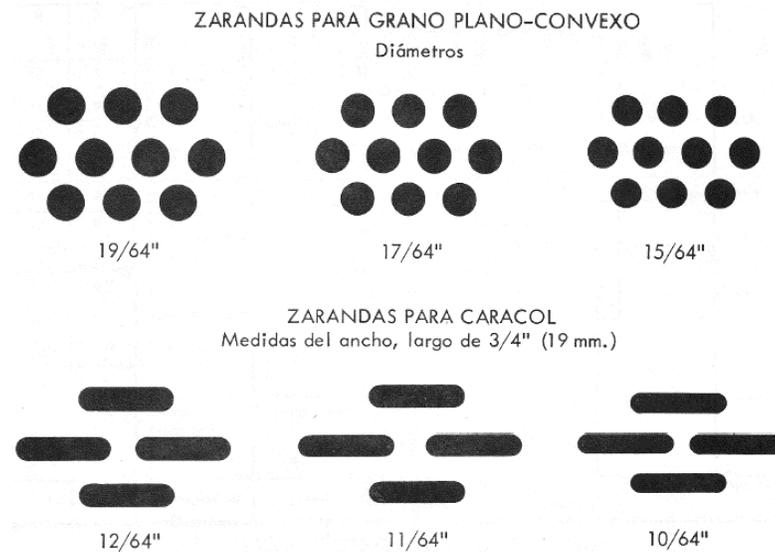
Es sumamente variable y depende en primer lugar de la variedad del café; dentro de las variedades comerciales se pueden mencionar: la Maragogipe que produce el grano más grande, luego viene el Typica y después el Bourbon y entre los más pequeños está el grano de la variedad Moka. Para una misma variedad, el tamaño del grano depende principalmente de la altura de la plantación.

En la zona suroccidente de Guatemala, el grano más pequeño se produce a las menores alturas, mientras que, en zonas con menor precipitación pluvial, los mayores tamaños de grano se producen a las mayores alturas, tal como ocurre en la zona de oriente.

El tamaño del grano es un factor de gran importancia desde el punto de vista de apariencia y uniformidad de un lote de café. Este se mide en zarandas con medidas dadas en sesentaicuatrosavos de pulgada (1/64"), con perforaciones redondas o bien alargadas.

En el primer caso es el ancho del grano el que determina su paso por la perforación y en el segundo, es el espesor el que lo determina, como se detalla a continuación:

Figura 7. Diámetro de las zarandas para granos de café



Fuente: Solocafé. *Manual de clasificación*. Consultado el 12 de octubre de 2021. Recuperado de <http://www.solocafe.com.mx/shop/zaranda-manual-de-clasificacion/>.

Para las zarandas con perforaciones redondas el grano retenido sobre los números que van del 18 al 20 se pueden considerar como grande; del 15 al 17, mediano y del 12 al 14 pequeño; las zarandas con números inferiores se usan para clasificación del caracol y bajan hasta el número 8 de esta serie.

### 1.2.1.3. Color

Anacafé (2006) afirma que el color varía de acuerdo con la región y la altura donde se produce el café; el mismo se podrá alterar radicalmente con el beneficiado húmedo.

En lo que se refiere a café lavado o suave, el de altura tiende a producir granos de color verdeazulado, en tanto que los de baja o mediana altura presentan tonalidades distintas del color verde claro.

Es indudable que el color del grano pueda cambiar por la buena o mala forma de llevar las operaciones en el beneficio húmedo, de donde más fácilmente se altera es en el secamiento, especialmente en las secadoras mecánicas.

Dentro de los colores que el grano de café puede presentar, se encuentran los siguientes:

- Color verde azulado: característico de los cafés de altura.
- Color verde claro: propio de cafés que se cultivan en zonas bajas.
- Color pálido: característico en granos que poseen un bajo contenido de humedad por excesivo secamiento.
- Color amarillento/rojizo: se puede presentar solo de color amarillento o solo de color rojizo y ocurre en granos sobrefermentados.
- Color grisáceo: resulta en granos sobrecalentados.

Figura 8. **Colores del grano de café en oro**



Fuente: Ka-fetear de libros. *Variedad de café: tipos y características*. Consultado el 8 de octubre de 2021. Recuperado de <https://kfeteardelibros.files.wordpress.com/2014/05/granos-de-cafc3a9.jpg>.

### 1.3. Principales defectos del grano de café

Para determinar la calidad del café, debe de examinarse separadamente cada uno de los componentes que afectan el grado de aceptación del producto final, por medio de procesos físicos o analizar por medio de los sentidos. De esta manera se determina el color, tamaño y forma de los granos y al final se analiza el aroma y sabor de la infusión del café, por medio de la degustación o prueba de la taza. Los defectos del café se dividen en dos categorías:

- **Intrínsecos:** se pueden originar por granos que se presentan alterados por la imperfecta aplicación de procesos agrícolas o industriales, es decir, tienen su origen en el campo por daño causado en la plantación, por enfermedades, plagas o nutrición deficiente, o por mal proceso de beneficiado húmedo.
- **Extrínsecos:** son los que resultan de la presencia de sustancias extrañas confundidas con los granos de café. Pueden enumerarse los siguientes: piedras, terrones, palos, clavos o puntillas y cualquier materia extraña, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 9. **Defectos extrínsecos**



Fuente: Anacafé, (2006). *Factores determinantes de la calidad del café*. Consultado el 6 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.anacafe.org/uploads/file/8b8b5747021840af830cb86850a9e465/Factores-determinantes-de-la-calidad-cafe.pdf>.

De los principales defectos del grano de café anteriormente mencionados, los granos defectuosos que se observan regularmente en los lotes de café, después de aplicar el proceso productivo en la transformación de café pergamino a café oro listo para la exportación. Anacafé (2006)

Dentro de los defectos intrínsecos se pueden mencionar los siguientes:

Figura 10. Principales granos defectuosos

<b>Granos negros</b>	Coloración del pardo al negro, tamaño muy inferior al normal, con cara plana hundida y hendidura muy abierta; provienen de fruto no desarrollado por ataque de enfermedades fungosas principalmente el Koleroga, Antracnosis, entre otros.	
<b>Granos sobre-fermentados</b>	Coloración pálida y apariencia cerosa, con hendidura marcadamente libre de tegumentos y el germen reventado si el daño es total. Al ser partidas, a menudo, desprenden el característico mal olor a sobre-fermentado.	
<b>Granos partidos</b>	Abertura en sentido longitudinal en uno o ambos extremos, como efecto de la trilla sobre granos húmedos. La rotura aparece generalmente blanqueada. El grano de café con más del 12% de humedad se tiende a aplastar y abrir por los extremos.	
<b>Granos mordidos</b>	Muestran roturas o alteraciones generalmente oscuras, producidos por acción mecánica sobre el grano principalmente durante la operación del despulpado, en los cafés lavados. Se puede corregir calibrando correctamente los despulpadores.	
<b>Granos carcomidos</b>	Muestran alteraciones en sus tejidos, producidos por el ataque de enfermedades fungosas sobre el fruto en la planta. Estas alteraciones en su mayoría se convierten en roturas. Por tener su peso correcto, es difícil clasificarlos durante el proceso.	
<b>Granos verdes</b>	Son granos decolorados caracterizados por poseer la típica forma de media luna con la cara plana hundida y de tamaño ligeramente inferior al normal.	
<b>Granos blanqueados o decolorados</b>	Decoloración uniforme o bien en las aristas y parches blancos irregularmente distribuidas. Se presenta debido a la humedad del ambiente, esto ocurre a todo café almacenado en malas condiciones y en partidas con más del 12% de humedad.	
<b>Grano ámbar</b>	Con tamaño y forma normales presentan una coloración ámbar y apariencia cerosa. Aparentemente, son el resultado de una deficiencia de hierro. Estos defectos son, más que todo, condiciones de mal manejo en el cultivo.	
<b>Granos manchados</b>	Tienen tamaño y forma normales, mostrando en la superficie, manchas o parches de diferentes coloraciones, pero sin alterar la textura de la porción manchada.	

Continuación de la figura 10.

<b>Granos con película rojiza</b>	Tienen tamaño y forma normales, pero al no cosecharse a tiempo o retardar el despulpado, sufren una sobre-fermentación y ciertos cambios que se manifiestan por película adherida dorada o pardo rojiza, coloración que se nota en la hendidura.	
<b>Granos deformes</b>	Granos sanos que resultan con forma distinta a la plano-convexa considerada como normal, entre los cuales están los llamados caracoles, los triángulos y los gigantes o abortados (elefantes). Se originan por defectos fisiológicos o anatómicos ocurridos durante el desarrollo del fruto.	
<b>Granos pequeños</b>	Son los que siendo sanos, son tan pequeños que pasan a través de la zaranda No. 14, y que pueden considerarse ya como defectos.	
<b>Granos cerezos</b>	Frutos enteros y secos generalmente de tamaño pequeño, se les llama "jocote", "bolitas", "cocos", etc. Proviene de frutos verdes que no fueron separados antes del despulpado y que por su tamaño pasaron las zarandas o las Cribas.	
<b>Granos brocados</b>	Son granos que presentan perforaciones en distintos sentidos y que son el resultado del ataque de la broca del café <i>Stephanoderes Hampei</i> . Por estar perforados, pueden flotar al momento de recibir el café maduro o al momento de lavar en el canal de clasificación.	
<b>Granos quebrados</b>	Proviene de los granos anormalmente grandes, elefantes o abortados que resultan quebrados por la trilla, dando origen a las llamadas "conchas", "orejas" o "muelas". Son granos resacos y sobrecalentados también tienden a quebrarse en la misma operación.	

Fuente: Anacafé, (2006). *Factores determinantes de la calidad del café*. Consultado el 6 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.anacafe.org/uploads/file/8b8b5747021840af830cb86850a9e465/Factores-determinantes-de-la-calidad-cafe.pdf>.

#### 1.4. Productividad

Es de conocimiento general que en octubre de 1887 William Cooper Procter, nieto del fundador de Procter & Gamble, dijo a sus empleados que el primer trabajo que se tiene al establecer una empresa es producir mercancía de calidad que los clientes comprarán y seguirán comprando. Si se produce de manera eficiente, y económica se obtendrá una ganancia que podrá ser compartida.

Según James R. Evans (2008) existen tres aspectos trascendentales para los administradores de las organizaciones de manufactura y servicios: productividad, costo y calidad. La productividad (medida de eficiencia definida como la cantidad de producción lograda por unidad de insumo), el costo de las

operaciones y la calidad de los bienes y servicios que crean la satisfacción del cliente contribuyen a la rentabilidad. De estos tres factores determinantes de la rentabilidad, el más significativo para decidir el éxito o fracaso de cualquier organización a largo plazo es la calidad.

Los bienes y servicios de alta calidad proporcionan una ventaja sobre la competencia. La calidad reduce costos que resultan de devoluciones, reproceso y mermas; incrementa la productividad, utilidades y otras medidas de éxito.

De acuerdo con Gutiérrez (2013) la productividad se entiende como la relación entre lo producido y los medios utilizados; por lo tanto, se mide mediante el cociente: resultados logrados entre recursos empleados. Los resultados logrados se pueden medir en unidades producidas, piezas vendidas, clientes atendidos o utilidades. Mientras que los recursos empleados se cuantifican por medio del número de trabajadores, tiempo total empleado, horas-máquina, costos, entre otros.

#### **1.4.1. Eficiencia y eficacia**

De acuerdo con Gutiérrez (2013) mejorar la productividad es optimizar el uso de los recursos y maximizar los resultados. De aquí que suele dividirse en dos componentes: eficiencia y eficacia. La primera es la relación entre los resultados logrados y los recursos empleados; se mejora principalmente optimizando el uso de los recursos, lo cual implica reducir tiempos desperdiciados, paros de equipo, falta de material, retrasos, entre otros. Mientras que la eficacia es el grado con el cual las actividades previstas son realizadas y los resultados planeados son logrados; ser eficaz es cumplir con objetivos, mejorando los resultados de equipos, materiales, y en general el proceso.

## **1.5. Definición de calidad**

La calidad puede ser un concepto confuso debido en parte a que las personas la consideran de acuerdo con diversos criterios basados en sus funciones individuales, dentro de la cadena de valor de producción-comercialización. Las definiciones incluyen: perfección, consistencia, eliminación de desperdicios, velocidad de entrega, observancia de las políticas y procedimientos; luego, proveer un producto bueno y útil, hacerlo bien la primera vez, complacer o satisfacer a los clientes, servicio y satisfacción total para el cliente.

La norma internacional ISO 9000 indica que calidad es la totalidad de las características de una entidad (proceso, producto, organismo, sistema o persona) que le confieren aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas Carro (2008).

Para Ishikawa (1972) debe haber calidad en el trabajo, servicio, compañía, objetivos y personas; su enfoque básico es controlar la calidad en todas sus manifestaciones. Calidad es el valor percibido por el cliente respecto de las características técnicas, costo y funcionalidad del producto o servicio recibido.

### **1.5.1. Aseguramiento de la calidad**

Es toda aquella actividad planeada y sistemática, dirigida a promover a los clientes, productos (bienes y servicios) de calidad apropiada, junto con la confianza de que los mismos satisfacen los requerimientos de los clientes.

De acuerdo con Evans (2008) el aseguramiento de la calidad depende de la excelencia de dos puntos focales importantes en los negocios: el diseño de los

bienes y servicios y el control de la calidad durante la ejecución de la manufactura y la entrega. Por lo general, incluye también alguna forma de actividad de medición e inspección.

En un principio, las iniciativas para la calidad se enfocaban en reducir defectos y errores en los productos y servicios mediante el uso de la medición, la estadística y otras herramientas para la resolución de problemas; las organizaciones empezaron a reconocer que no era posible lograr mejoras duraderas sin una atención significativa hacia la calidad de las prácticas administrativas cotidianas.

De conformidad con Levin (2004), los administradores empezaron a entender que los métodos que usaban para escuchar a los clientes y establecer relaciones a largo plazo, crear estrategias, medir el desempeño y analizar datos, premiar y capacitar a los empleados, diseñar y ofrecer productos y servicios y actuar como líderes en sus organizaciones son los factores que realmente dan lugar a la calidad, la satisfacción del cliente y los resultados en el negocio.

### **1.5.2. Control de calidad**

El control de calidad se realiza no solo a la entrada y salida de los productos de la fábrica, sino también durante todo el proceso de fabricación. Se suele realizar observando no toda la producción, sino muestras de esta. En cada elemento se controla bien una característica medible: longitud, peso y proporción de impurezas, que se comparan con medidas estándar o simplemente se clasifica el elemento en defectuoso o no.

El control de recepción se aplica a los materiales de entrada para comprobar que cumplen con las especificaciones establecidas. El control de fabricación se

realiza en intervalos de tiempos regulares a lo largo de todo el proceso. Los resultados se registran para realizar estudios posteriores. Esto no solo permite desechar partidas defectuosas, que no merece la pena que continúen el proceso de fabricación completo, con lo cual se logra evitar un gasto suplementario e inútil de tiempo, material y mano de obra, pues de esta forma se pueden detectar fallos en el sistema y proceder a las correcciones oportunas.

### **1.5.3. Variabilidad en los procesos**

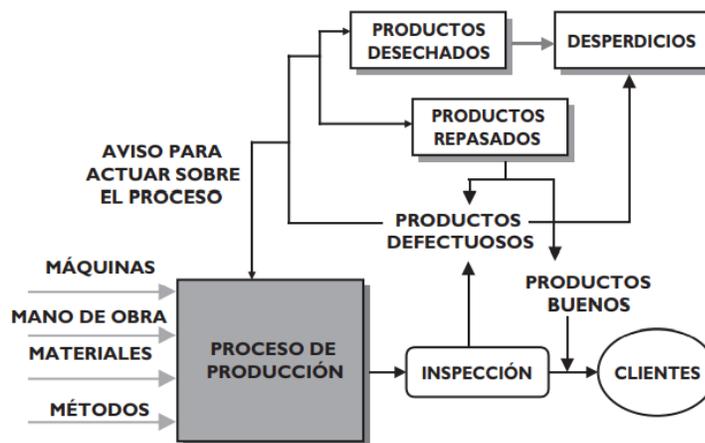
En un proceso de fabricación siempre hay una variabilidad en los productos. Esta es atribuible a una gran cantidad de causas: ligeras variaciones en los materiales, desajuste de la maquinaria, destreza de los empleados, cambios de temperatura, entre otros.

Las causas asignables se caracterizan por ser muchas de poca importancia y producir una variabilidad aceptada y que ha de ser constante a lo largo del proceso. Por lo general, si una pieza es defectuosa por alguna de estas causas no asignables, no tienen por qué ser defectuosas.

Otras causas de la variabilidad producen variaciones importantes en los productos: roturas de una máquina, indisposición o cansancio de un operario, entre otras. Estas se llaman asignables y por lo general producen una pérdida de calidad continuada. Un proceso se encuentra bajo control si las únicas causas que producen variabilidad son las no asignables y por lo tanto la variabilidad es constante y coincide con la aceptada. Mantener el proceso bajo control es una ocupación constante en un proceso industrial y es uno de los objetivos del control de calidad, que en realidad tiene como objetivo obtener un producto de la máxima calidad al menor costo y lo antes posible.

La inspección puede tener diversos alcances: constituir solo una actividad de información, incluir además una decisión (aceptación, rechazo o reproceso), o desembocar, incluso, en acciones correctoras. El objetivo básico de la inspección es evitar que productos defectuosos lleguen al cliente. Su proceder consiste en establecer *a priori* unas especificaciones de calidad del producto, que deben comprobarse de forma sistemática para verificar la conformidad del producto final y separar los defectuosos para su desecho o reproceso.

Figura 11. **Proceso de inspección de la calidad del producto**



Fuente: Camisón, César. *Conceptos de calidad y enfoques de gestión*. Consultado el 12 de agosto de 2021. Recuperado de <http://www.mailxmail.com/curso-conceptos-calidad-enfoques-gestion/enfoque-como-inspeccion>.

## 1.6. Control estadístico

Según Gutiérrez (2013) la estadística está formada por un conjunto de técnicas y conceptos orientados a la recolección y análisis de datos, tomando en cuenta la variación en los mismos. El control estadístico de la calidad es la aplicación de técnicas estadísticas al control de calidad.

Reducir la variación de los procesos es un objetivo clave del control estadístico. Es necesario entender las causas de la variación, y por ello en un proceso (industrial o administrativo) interactúan materiales, máquinas, mano de obra (gente), mediciones, medio ambiente y métodos. El resultado de todo proceso se debe a la acción conjunta de las 6 M, por lo que si se da un cambio significativo en el desempeño del proceso, que sea accidental u ocasionado; su razón se encuentra en una o más de las 6 M.

El control estadístico de procesos es una metodología que permite identificar las causas de la variación y señalar la necesidad de emprender una acción correctiva en el momento apropiado. Cuando están presentes causas especiales, el proceso está destinado a quedar fuera de control. Si la variación en un proceso se debe solo a causas comunes, se dice que está en control estadístico. Una definición del control estadístico es que los promedios del proceso como las varianzas, son constantes a través del tiempo.

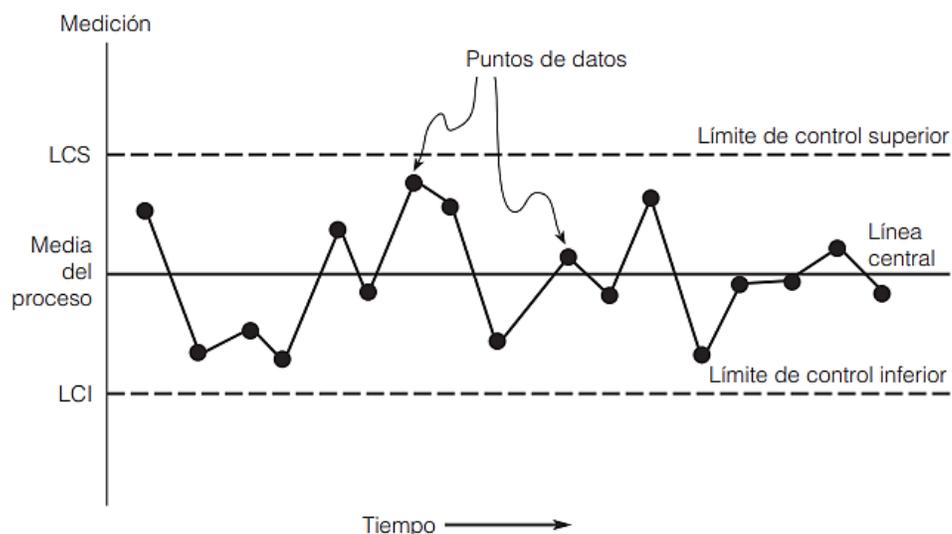
El control estadístico depende de las gráficas de control, una de las herramientas básicas de mejora de la calidad, probada para mejorar la calidad y productividad. Muchos clientes piden a sus proveedores que proporcionen evidencias de un control estadístico de sus procesos. El control estadístico ofrece un medio para demostrar la capacidad para la calidad, actividad necesaria para sobrevivir en los mercados actuales altamente competitivos. La clave está en definir los indicadores de calidad apropiados que se van a controlar.

### **1.6.1. Gráficas de control por variables**

Una gráfica de control es simplemente una gráfica dinámica a la que se agregan dos líneas horizontales llamadas límites de control: el límite de control superior (LCS) y el límite de control inferior (LCI).

Los límites de control se eligen estadísticamente para ofrecer una probabilidad alta (por lo general, mayor de 0.99) de que los puntos caigan entre estos límites si el proceso está controlado. Los límites de control facilitan la interpretación de los patrones en una gráfica dinámica, así como llegar a una conclusión acerca de las condiciones de control.

Figura 12. Estructura de una gráfica de control



Fuente: Evans y Lindsay. *Calidad para la productividad y la competitividad*. Consultado el 12 de octubre de 2021. Recuperado de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Grafico-de-control-generico-Evans-Lindsay-2008-p728\\_fig1\\_330938180](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Grafico-de-control-generico-Evans-Lindsay-2008-p728_fig1_330938180).

Según Evans (2008) si los valores de la muestra caen fuera de los límites de control o si ocurren patrones no aleatorios en la gráfica es posible que causas especiales afecten el proceso, por lo que no es estable y es preciso examinarlo y emprender las acciones correctivas adecuadas. Si la evaluación y corrección se llevan a cabo en tiempo real, se minimiza la probabilidad de crear un producto no conforme. Por tanto, como herramienta para solucionar problemas, las gráficas de control permiten a los operadores identificar los problemas de calidad,

según se presentan. Desde luego, las gráficas de control por sí solas no pueden determinar el origen del problema.

### **1.6.2. Indicadores de control de calidad**

Los indicadores del control de calidad se dividen en dos categorías: atributo y variable. Un atributo es una característica del desempeño que está presente o ausente del producto o servicio por considerar.

Los datos de atributos son discretos e indican si la característica es conforme; estos se pueden medir con la inspección visual o comparar una dimensión con las especificaciones. Por lo regular, los indicadores del atributo se expresan como proporciones o tasas; por ejemplo, la fracción de no conformidades en un grupo de artículos, el número de defectos por unidad o el índice de errores por oportunidad.

El segundo tipo de característica del desempeño conocido como variable, posee valores continuos (por ejemplo, longitud o peso). Los indicadores de la variable se ocupan del grado de conformidad con las especificaciones. Los indicadores de la variable se expresan con valores estadísticos como promedios y desviaciones estándar.

### **1.6.3. Cálculo de los valores estadísticos**

- Media muestral: a medida más usual de la tendencia central es proporcionada por la media (o promedio) muestral, que es igual a la media aritmética de todos los datos: por lo que  $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$  son las observaciones numéricas de una muestra.

La media muestral se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Se suman todos los datos y el resultado de la suma se divide entre el número total de datos (n).

- Desviación estándar muestral: es la medida más usual de variabilidad e indica qué tan esparcidos están los datos respecto de la media; se denota con la letra S y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde  $x_1, x_2, \dots, x_n$  corresponden a las observaciones numéricas de la muestra, n su tamaño y  $\bar{x}$  es la media muestral. Como se puede apreciar, S mide la distancia que en “promedio” hay entre los datos y la media; por ello, entre más grande sea el valor de S, habrá mayor variabilidad en los datos.

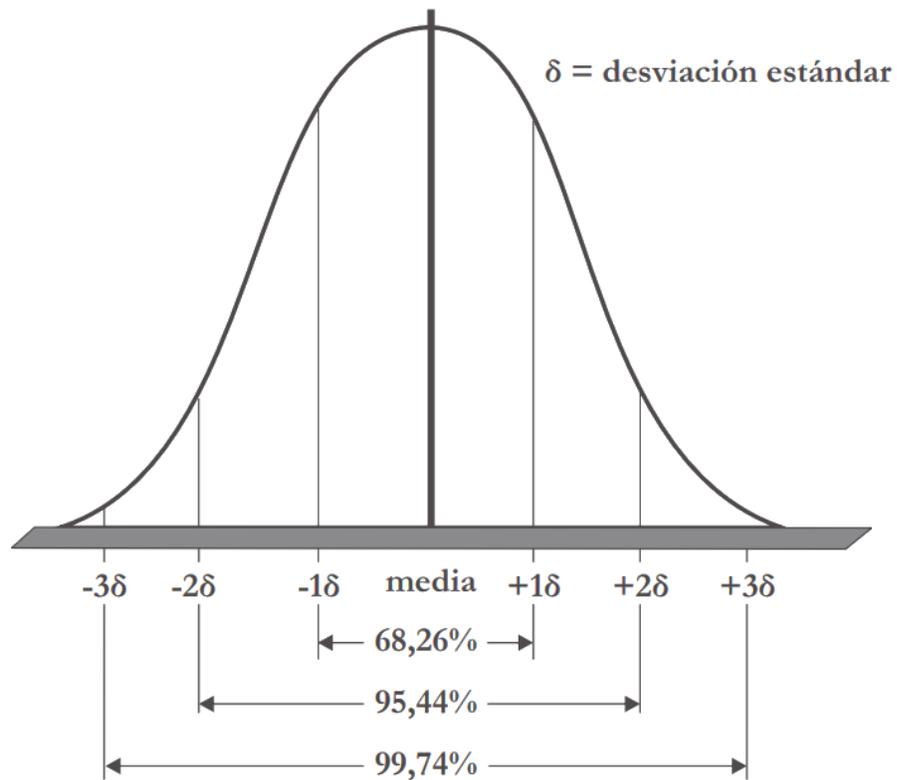
- Tamaño de la muestra: la muestra definitivamente afecta el éxito o fracaso del sistema de muestreo de aceptación adoptado. Es importante que las muestras sean obtenidas por un método estadístico aceptado (muestreo aleatorio); para determinar su tamaño se aplica la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

Donde:

- $N$  es el tamaño de la población
  - $n$  es el tamaño de la muestra
  - $\sigma$  es la desviación estándar de la población
  - $Z$  es el valor de la distribución normal para un nivel de confianza
  - $e$  es el límite aceptable del error muestral
- 
- Muestreo: el método más completo para una inspección; consiste en revisar la calidad de todos los productos o servicios en cada una de las etapas. Una inspección garantiza que las unidades defectuosas no pasarán a la siguiente operación. Un plan de muestreo proporciona el tamaño de la muestra (cantidad determinada de las observaciones de los productos del proceso seleccionadas al azar), el intervalo de tiempo (tiempo transcurrido entre dos muestras sucesivas) y las reglas de decisión (determinar cuándo entrar en acción).
  
  - Distribución de muestreo: el propósito del muestreo es calcular una variable o medida de atributos para cierta característica de calidad de la muestra. La distribución se usará después para evaluar el rendimiento del proceso mismo. La posibilidad de asignar probabilidades a los resultados de la muestra es importante para la construcción y el empleo de gráficas de control. La distribución normal permite calcular la probabilidad de que el resultado de una muestra quede fuera de ciertos límites, considerando el valor de la media y la desviación estándar, como se refleja en la siguiente curva de distribución normal:

Figura 13. Estructura de la curva de control



Fuente: Álvarez Borrego, Josué. *Control estadístico de procesos*. Consultado el 10 de octubre de 2021. Recuperado de [https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5507/1/MANUAL\\_CURSO\\_CONTROLESTADISTICODEPROCESOS.pdf](https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5507/1/MANUAL_CURSO_CONTROLESTADISTICODEPROCESOS.pdf).

#### 1.6.4. Cartas de control estadístico

Existen dos tipos generales de cartas de control: para variables y para atributos. Las cartas de control para variables se aplican a características de calidad de naturaleza continua, que intuitivamente son aquellas que entre cualquier par de sus valores siempre puede existir otro, al menos en teoría.

El nombre de una carta de control se debe al correspondiente estadístico que se representa en la carta. Este estadístico permite estudiar el comportamiento en el tiempo de algún aspecto relevante de la característica de calidad, típicamente su localización o dispersión

#### **1.6.5. Cartas de control de la media muestral por variables**

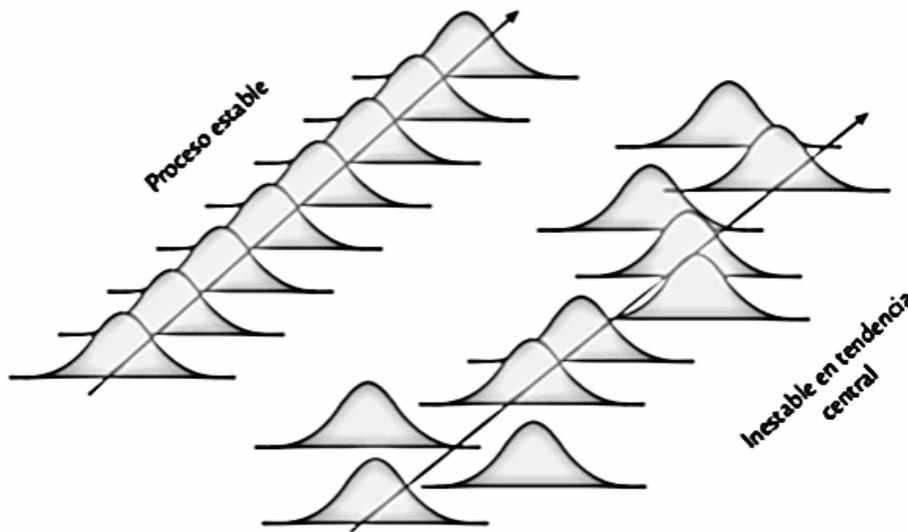
Se analiza la variación entre las medias de los subgrupos para detectar cambios en la media del proceso. Los límites de control de las cartas están determinados por la media y la desviación estándar del estadístico que se grafica en la carta, mediante la expresión  $\mu_w \pm 3\sigma_w$ . En el caso de la carta de medias, el estadístico  $\bar{X}$  es la media de los subgrupos.

Estos límites reflejan la variación esperada para las medias muestrales de tamaño  $n$ , mientras el proceso no tenga cambios importantes. De esta manera, estos límites son utilizados para detectar cambios en la media del proceso y evaluar su estabilidad; de ninguna manera se deben utilizar para evaluar la capacidad, puesto que estos límites de control no son los de especificaciones o tolerancias, ya que mientras que los primeros se han calculado a partir de la información del proceso, las especificaciones son fijadas desde el diseño del producto, de acuerdo con Gutiérrez (2013).

La interpretación correcta de los límites de control es de especial relevancia para una adecuada aplicación de la carta  $\bar{X}$ , ya que de lo contrario se caerá en el error de confundir los límites de control con las especificaciones o con los límites reales.

La carta  $\bar{X}$  detecta cambios significativos en la media del proceso. Cuando la curva se desplaza la carta manda una o varias señales de fuera de control, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 14. **Distribución de probabilidades de la carta  $\bar{X}$**



Fuente: Gutiérrez, H y De la Vara, R. *Control estadístico de calidad*. Consultado el 12 de octubre de 2021. Recuperado de <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>.

De acuerdo con Bernal (2010) una gráfica de control es una herramienta muy útil en el proceso de implementación de sistemas de medición. Registra los distintos datos de la característica de calidad que se desea medir y, posteriormente, controlar. Cuenta con una línea de tendencia central que representa el promedio histórico de los datos tomados; además, se deben calcular unos límites de control, conocidos como límites de control superior e inferior.

Para indicar cuándo las variaciones observadas en la calidad son mayores que las que causaría la casualidad, se usa el método de análisis y presentación de datos llamado gráfica de control. El método de la gráfica de control para variables es un medio de visualizar las variaciones que se presentan en la tendencia central y en la dispersión de un conjunto de observaciones. Es un registro gráfico de la calidad de determinada característica.

Según Besterfield (2009), la frecuencia con que el operador inspecciona un producto en determinado centro de trabajo está determinada por la calidad del producto. Cuando el proceso está bajo control y no se encuentran dificultades, puede requerir menos inspecciones; y al revés, cuando el proceso está fuera de control o durante el arranque, se podrán necesitar más inspecciones. La frecuencia de inspección en un centro de trabajo se puede determinar también por la cantidad de tiempo que debe dedicarse a las actividades que no sean de inspección.

#### **1.6.6. Metodología para el control estadístico**

Las gráficas de control, al igual que las demás herramientas básicas para mejorar la calidad, son relativamente fáciles de usar.

Las gráficas de control tienen tres aplicaciones básicas: establecer un estado de control estadístico, hacer el seguimiento de un proceso e indicar cuando este se sale de control y determinar la capacidad del proceso.

A continuación, se indican los pasos necesarios para el desarrollo y utilización de las gráficas de control; los pasos 1 al 4 se enfocan en establecer un estado de control estadístico; en el paso 5, las gráficas se utilizan para el

seguimiento continuo; por último, en el paso 6, los datos se usan para el análisis de la capacidad del proceso:

Tabla II. **Metodología para control estadístico**

<ol style="list-style-type: none"><li><b>1. Preparación</b><ol style="list-style-type: none"><li>a) Seleccionar la variable o atributo que será medido.</li><li>b) Determinar la base, tamaño y frecuencia del muestreo</li><li>c) Crear la gráfica de control.</li></ol></li><li><b>2. Recopilación de datos</b><ol style="list-style-type: none"><li>a) Registrar los datos.</li><li>b) Calcular los valores estadísticos relevantes: promedios, rangos, proporciones, etc.</li><li>c) Graficar los valores estadísticos.</li></ol></li><li><b>3. Establecimiento de los límites de control de prueba</b><ol style="list-style-type: none"><li>a) Trazar la línea central (promedio del proceso) en la gráfica.</li><li>b) Calcular los límites de control superior e inferior.</li></ol></li><li><b>4. Análisis e interpretación</b><ol style="list-style-type: none"><li>a) Investigar la gráfica para detectar la falta de control.</li><li>b) Eliminar los puntos que están fuera de control.</li><li>c) Volver a calcular los límites de control, si es necesario</li></ol></li><li><b>5. Uso como herramienta para solucionar problemas</b><ol style="list-style-type: none"><li>a) Continuar con la recopilación de datos y su trazo en la gráfica.</li><li>b) Identificar las situaciones fuera de control y emprender acciones correctivas.</li></ol></li><li><b>6. Determinación de la capacidad del proceso con los datos de la gráfica de control</b></li></ol>
---

Fuente: elaboración propia.

## 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación surgió por la necesidad de la aplicación del control estadístico de calidad, para ser eficientes en el proceso productivo que se realiza en un beneficio seco de café.

Por medio de fases se explica la metodología empleada para el desarrollo de la investigación:

- Primera fase: investigación bibliográfica y recolección de información teórica: se elaboró un marco teórico, en el que se recopiló información de libros, artículos, antecedentes e información de la empresa sobre la transformación de café pergamino a café oro para exportación y la existencia de granos defectuosos de café en los lotes de café, con el objetivo de poseer los conocimientos que sirvieron de base en la investigación.
- Segunda fase: se identificaron los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café. Se desarrolló un análisis de la situación actual del beneficio seco de café en relación con la eficiencia del proceso productivo. Asimismo, se realizó una entrevista al responsable del proceso productivo y al jefe del departamento de catación.
- Tercera fase: aplicación del control estadístico de calidad en un lote de café para exportación que se procesa en el beneficio seco del producto en mención. Se tomó un lote de café para exportación como objeto de estudio

para el control estadístico de calidad del proceso productivo, y del mismo se tomaron muestras en cada etapa, con el propósito de analizar la cantidad de granos de café defectuosos; considerando la variable de puntos de imperfecciones; se calcularon los valores estadísticos, los límites superior e inferior, y se desarrollaron las gráficas de control de calidad.

- Cuarta fase: análisis e interpretación de resultados. Se identificaron los puntos críticos en las gráficas de control, se plantearon las acciones correctivas en las etapas necesarias del proceso productivo. Se tomó una nueva muestra en las etapas críticas para calcular la cantidad de granos defectuosos y verificar el ajuste en la gráfica del control de calidad.
- Quinta fase: describir los beneficios obtenidos de la aplicación del control estadístico de calidad en el proceso productivo en el beneficio seco de café. Se detalló la discusión de los resultados y una propuesta para aplicar el control estadístico de calidad que permita mantener la eficiencia en el proceso productivo y lograr el cumplimiento de calidad en los lotes de café. Finalmente, se desarrolló la redacción del informe final de la investigación realizada en el beneficio seco de café, objeto de estudio.

### 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación se desarrolló con el fin de aplicar el control estadístico de calidad para mejorar la eficiencia del proceso productivo en un beneficio seco de café, por lo que se identificaron los factores que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir en la calidad en los lotes de café que se va a exportar; asimismo por medio de gráficas de control se analizaron las etapas críticas; con base en el cálculo de los valores estadísticos y límites de control, se logró identificar las causas de las variaciones y si el proceso productivo se encuentra bajo control estadístico. Finalmente se definieron los principales beneficios del control estadístico de calidad y la propuesta al beneficio seco de café para su aplicación. De conformidad con los objetivos de investigación establecidos, se detallan a continuación los resultados alcanzados:

#### **3.1. Objetivo 1: identificar los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir con el cumplimiento de especificaciones de calidad en los lotes de café**

Se realizó el análisis de la situación, siendo necesario efectuar visitas en el lugar objeto de estudio; se realizó una entrevista al encargado responsable del beneficio seco, con el propósito de observar e identificar los factores que pueden influir en el proceso de transformación del café pergamino a café oro y pueda incidir en la calidad en los lotes de café que se van a exportar.

### **3.1.1. Análisis de proceso productivo en beneficio seco**

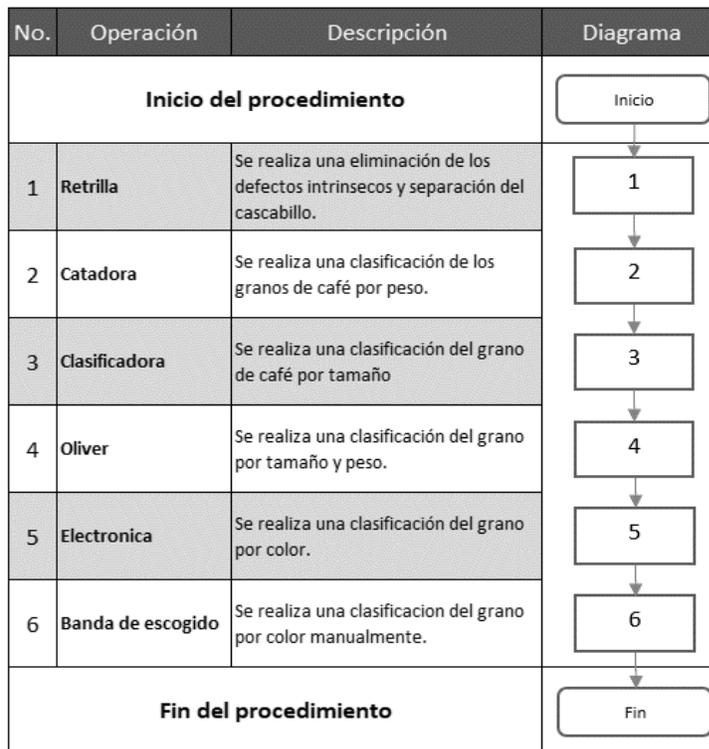
Se realizó un análisis de la secuencia de etapas que conlleva el proceso productivo en el beneficio seco objeto de estudio, siendo las siguientes actividades necesarias para la eliminación de los granos defectuosos en los lotes de café:

- El proceso inicia con la recepción de una solicitud de orden para producción, lo cual detalla la cantidad de los sacos de café que se requiere, tipo de preparación y la fecha para la exportación del lote de café.
- Posteriormente, se trasladan los sacos de café y se depositan en la tolva prelimpieza, para efectos de separar de los granos de café todas aquellas materias ajenas que conlleve como palos, piedras, clavos, entre otros. Después, los granos de café se transportan por medio de elevadores verticales para abastecer a la siguiente máquina que se conoce como retrilla, cuya función es quitar y limpiar la cáscara conocida como pergamino al grano de café, para obtener como resultado el grano conocido como café oro.
- El café pasa por una máquina que se llama catadora, la cual se encarga de separar los granos defectuosos, quebrados o impurezas, para dejar únicamente los granos en buen estado y los que disponen el peso adecuado.
- La máquina siguiente en la que se trasladan los granos de café, se llama Oliver, que consiste en una mesa rectangular ligeramente inclinada hacia uno de los extremos, con el fin de separar en distintos compartimientos de la máquina, los granos de café que no cumplen con el peso normal y que

en la etapa anterior no se lograron eliminar; esto por medio de un sistema de vibración y aire.

- Seguidamente, se lleva a cabo una clasificación del grano por tamaño, los cuales fluyen a través de diferentes planchas de metal con agujeros de diversos diámetros, llamados zarandas. Dicha clasificación se realiza por medio de un sistema vibratorio para separar y obtener los granos que cumplan con el tamaño normal. Esto permite presentar una mayor uniformidad y mejor apariencia en los lotes de café para exportación.
- El café se transporta a una máquina que se conoce como “electrónica”, cuya función es detectar y clasificar los granos que no cumplen con los requerimientos de calidad respecto de su apariencia en color. La actividad se realiza por medio de sensores electrónicos, los cuales se pueden graduar, dependiendo de la exigencia de producción.
- Finalmente, el café que egresa de las máquinas electrónicas, se transporta a las bandas de escogido, en las cuales las personas conocidas como “escogedoras” se encargan de separar los granos de café que no cumplen con sus características en color, como los granos negros, con película rojiza, pálidos, entre otros. A continuación, se detalla el diagrama de flujo que detalla la secuencia de etapas del proceso de transformación de café pergamino a café oro, listo para exportar:

Figura 15. Diagrama de flujo del proceso productivo



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Mecanismos de control de calidad de los lotes de café

Una vez que en el proceso productivo finaliza la clasificación y eliminación de granos defectuosos en los lotes de café, el departamento conocido como Catación de café toma una muestra de cada lote de café. Para establecer si el lote de café en oro cumple con las especificaciones de calidad que se requieren, dependiendo del tipo de preparación que exige el cliente, se analizan las características organolépticas y físicas (tamaño, color y cantidad de granos defectuosos) en la muestra que se tomó.

El beneficio seco se rige por un control de la calidad en los lotes de café para exportación, propiamente de conformidad con la *Green Coffee Association* de Nueva York que detalla la tabla de imperfecciones; por lo que en una preparación americana se tolera un máximo de 12 defectos (puntos de imperfección) y para una preparación europea el máximo son 8 defectos sobre una muestra de 300 gramos netos de café oro.

En relación con la cantidad de granos defectuosos, si estos son menores al parámetro que se requiere, dependiendo del tipo de preparación de café, se acepta el lote de café para la exportación; en caso contrario, se debe realizar un reproceso que implica colocar nuevamente el lote de café en las máquinas para realizar la clasificación y lograr la reducción de la cantidad de granos defectuosos que aún se presenten.

### **3.1.3. Características de calidad para los lotes de café**

Es importante que los lotes de café que se procesan cumplan con los estándares de calidad, en cuanto a sus características físicas, organolépticas y la cantidad de granos defectuosos. Los principales clientes del beneficio seco son los compradores en el extranjero, los cuales, en su mayoría, son de países europeos, como Alemania, Holanda, Bélgica, entre otros; así también Estados Unidos y Japón.

Características críticas del grano de café: a continuación, se detallan las principales características de calidad que deben presentar los lotes de café para exportación, independiente del tipo de preparación que requiera el cliente, sea tipo americano o europeo.

Figura 16. **Características de calidad del café**



Fuente: Café EnSoñación. *Características del café de buena calidad* Consultado el 8 de octubre de 2021. Recuperado de <https://cafegourmetensonacion.com/las-especificaciones-del-cafe-de-buena-calidad/>

Durante el período de enero a marzo de 2021, el beneficio seco de café ha procesado un total de 26 lotes de café para exportación, de los cuales 17 requirieron una preparación europea y el resto, americana; conforme a los registros de las órdenes para producción en el presente año.

Tabla III. **Lotes de café procesado para exportación**

Tipo de preparación	Cantidad
Europea	17
Americana	9
Total de lotes de café	26

Fuente: elaboración propia.

El departamento de catación evalúa la calidad de granos de café, con base en una muestra representativa que se toma de cada lote de café, señalando a través de un dictamen, que del total, 11 lotes de café cumplieron con los requerimientos de calidad que se establecen para una preparación europea.

Asimismo, se determinó que 7 lotes de café del total fueron rechazados, debido a que no cumplieron con los estándares de calidad que se requieren para la exportación, y el beneficio seco procedió a realizar una reproceso para minimizar la cantidad de los granos defectuosos que se observaron en cada unos de los lotes en mención.

Tabla IV. **Lotes de café aprobados para exportación**

Tipo de preparación	Decisión para los lotes de café a exportar		Total
	Aceptación	Rechazo	
Preparación americana	08	01	09
Preparación europea	11	06	17
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>07</b>	<b>26</b>

Fuente: elaboración propia.

#### 3.1.4. Costo para procesar lotes de café de exportación

Efectuar un segundo proceso, implica que el beneficio seco de café incurra en aumento de costos, debido que se tiene un nuevo consumo de energía eléctrica y mano de obra directa, los cuales se tienen asignados de la siguiente manera para cada etapa del proceso de transformación:

Tabla V. **Costo por quintal de café oro a procesar en beneficio seco**

<b>Maquinaria del proceso productivo (precio en dólares)</b>				
Retrilla	Catadora	Oliver	Clasificadora	Electrónicas y bandas de escogido
1.52	0.22234	0.346	0.78	1.49

Fuente: elaboración propia.

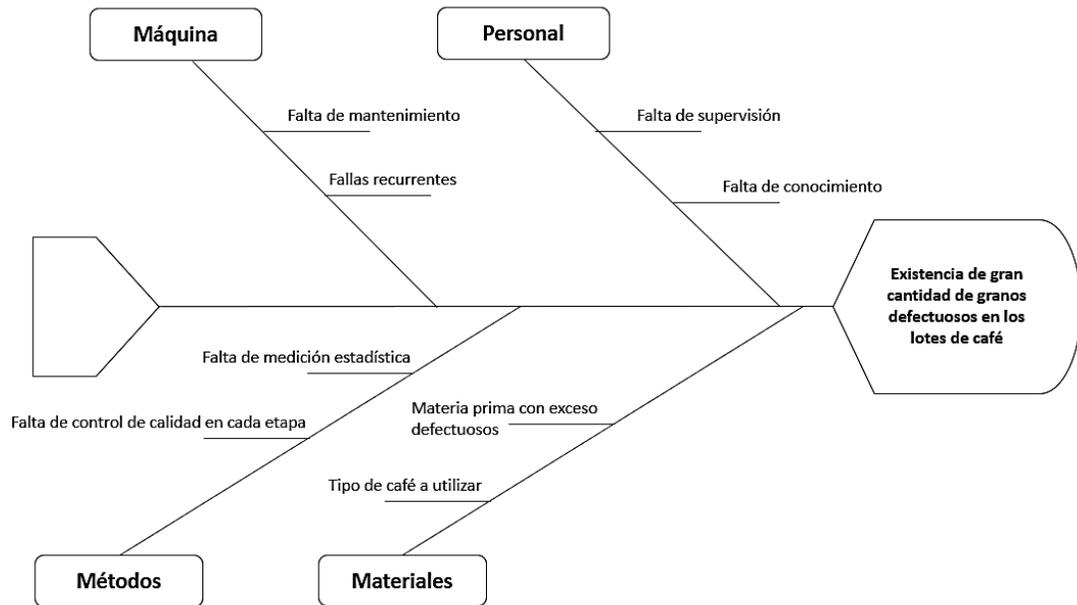
Adicional, el reproceso conlleva en la operación un atraso en la programación de producción; por lo que en algunos casos se ha considerado trabajar horas extras o jornada nocturna, y así cumplir con los tiempos para la exportación de los lotes de café oro.

Los factores que se verán influenciados en la transformación del café pergamino al café oro, considerando que se realiza control de calidad por medio del departamento de catación para determinar la cantidad de los granos defectuosos existentes en cada lote de café listo para exportar, son los que se detallan a continuación:

### **3.1.5. Diagrama de causa-raíz**

Una vez analizado el proceso de transformación de café pergamino a café oro listo para la exportación, se identificaron posibles causas que intervienen en la eficiencia del beneficio seco de café; lo que provoca la existencia de gran cantidad de granos defectuosos y con ello el incumplimiento de los estándares de calidad que se requieren para la exportación, con base en las exigencias del cliente al realizar una preparación de café en específico.

Figura 17. Diagrama de pescado de principales factores



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, existen varios factores que pueden incidir en la eficiencia del proceso productivo y la calidad de café para exportación, por lo que es importante analizar cada uno de ellos.

### 3.1.6. Principales factores que pueden incidir en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café

- **Materia prima a utilizar:** el beneficio seco recibe partidas de sacos de café pergamino que provienen de los diferentes caficultores locales; se realiza una inspección al momento de ingresar para clasificar y movilizar los sacos por tipo de café, sea estrictamente duro, semiduro o extra prime, que son

las clasificaciones establecidas en relación con el café, dependiendo de las características físicas y organolépticas del grano.

- Tipo de preparación para exportación: la mayoría de las partidas de café pergamino son de tipo estrictamente duro; este se utiliza en preparaciones europeas; en una preparación americana se utiliza café tipo “prime”, ambos para exportación. Para la clasificación por el tipo de café a recibir en pergamino, se toma una muestra para analizar las características físicas y organolépticas del grano y la cantidad de granos defectuosos que se observan en cada partida de café pergamino que se recibe.
- Fallas en el funcionamiento de la maquinaria: el jefe encargado del mantenimiento de la maquinaria realiza junto con los encargados de taller, un mantenimiento correctivo a las máquinas que conforman el proceso productivo, cada vez que presentan una falla, sea por un daño de las fajas, sistema de ventilación, bandas transportadoras o en la mayoría, por mal funcionamiento en el motor.

A continuación, se detallan las principales reparaciones que se realizan en el departamento de taller a las máquinas que conforman el proceso productivo:

Tabla VI. **Tipo de reparaciones en el proceso productivo**

Máquina	Tipo de reparaciones
Retrilla	Cambio de piezas por daños con material ajeno al café, como piedras grandes, palos y otros tipos. Cambio de fajas, reparación mayor al motor. Las principales fallas son por calentamiento en los motores. Limpieza del polvo que se origina por el cascabillo que se eliminó del grano de café en pergamino.

Continuación de la tabla VI.

Catadora	Limpieza en los ventiladores, ajustes en la velocidad y cantidad de aire, cambios en las fajas y revisión y cambios de los depósitos que reciben el café que cumplen con el peso del grano.
Clasificadora	Limpieza de las perforaciones en las zarandas, cambio de piezas en el motor, calibración de los brazos de movimiento, mantenimiento en los ductos para el depósito de los granos en menor tamaño, ajustes en los canales que distribuyen los granos de café que se va depositando y calibración en la velocidad del movimiento para las zarandas.
Oliver	Calibración en la fuerza del aire, ajustes en la velocidad de las vibraciones, limpieza en los canales de distribución, cambio de piezas, reparaciones en el motor, ventilación en los ductos de aire y ajustes en las salidas de café.
Electrónicas	Ajustes en el lector de color, calibraciones en el flujo de aire en los canales de la máquina electrónica, ajustes en la configuración de los tipos de colores a identificar en el grano, limpieza de los ductos de aire, reparaciones en las mangueras que generan la presión del aire. Esta máquina requiere de un conocimiento técnico especializado para realizar las configuraciones en el tablero de lectura.
Banda de escogido	Ajustes en la velocidad de rotación de la banda, reparación en las poleas, cambios en los rodillos, reparaciones en las costuras de la banda y ajustes en los cojinetes.

Fuente:elaboración propia.

- Mantenimiento a la maquinaria: el beneficio seco de café realiza mantenimientos preventivos y correctivos, siendo estos últimos los que presentan mayor ocurrencia, sea por atasco en una máquina, calibración, limpieza, cambio de piezas, reparación del motor, cambio de fajas, cojinetes, filtros, poleas, canales, o limpieza de zarandas y lubricación a piezas internas de las máquinas. Asimismo, se observó que el encargado de taller dispone de un área específica para realizar las reparaciones y

almacenar ciertos repuestos; los encargados informaron que no manejan una programación detallada para realizar los mantenimientos preventivos a las máquinas durante el año.

- Falta de control de calidad en las etapas del proceso productivo: actualmente, el beneficio seco de café dentro del área de producción dispone de un jefe de producción, un bodeguero, pesadores-cosedores y las escogedoras de café. Para la carga y descarga de los sacos de café, se subcontrata a personas conocidas como peones. El jefe de producción coordina la recepción, almacenaje, traslado, entrega y despacho de los lotes de café, para lo cual se reciben órdenes de producción, en donde se especifica el tipo de preparación, la cantidad de materia prima a utilizar y el tipo de café a procesar, de conformidad con las exigencias del cliente. Sin embargo, durante el proceso de transformación no existe una persona encargada físicamente de supervisar cada etapa del proceso productivo, que identifique mediante muestras la cantidad existente de granos defectuosos en los lotes de café.
- Falta de mediciones estadísticas: el beneficio seco de café dentro de sus registros en las gestiones administrativas, producción, inventario y control de calidad, no hacen uso de herramientas estadísticas para su planificación, organización y control, que permita tomar mejores decisiones con base en datos históricos, estadísticos, gráficas y resultados que faciliten las mediciones a través de indicadores por la productividad, calidad, ingresos y costos. La mayoría de registros son numéricos; se lleva control de las cantidades de lotes de café que se despachan, el inventario de las partidas de café pergamino disponible y los costos del proceso productivo. En el caso del departamento de catación, no se utilizan controles estadísticos para evaluar la eficiencia del proceso productivo en relación con la cantidad

y calidad de lotes de café que se han logrado exportar y que cumplen con los estándares que exige la preparación para la exportación.

- Falta de supervisión: el personal del beneficio seco de café realiza varias actividades, desde que ingresan las partidas de café pergamino hasta que se obtienen los lotes de café para exportación. Dentro de las acciones de supervisión están: revisión del tipo de café que se va a utilizar en cada lote, cantidad de sacos de café pergamino, revisión de fechas de entrega y cantidad de quintales que se requiere en cada lote. Se observó que el personal operativo no efectúa una supervisión constante del buen funcionamiento de cada máquina para que realicen correctamente la clasificación y eliminación de granos defectuosos; las únicas revisiones que se realizan son al momento de preingreso del café en pergamino y al finalizar el proceso para su transformación a café oro, con el apoyo del encargado de catación.
- Conocimiento del personal: con base en la entrevista realizada: se puede indicar que el personal, tanto administrativo como operativo, posee el conocimiento de las actividades que se desarrollan dentro del beneficio seco de café, desde los diferentes tipos de café que se disponen, las preparaciones que se procesan y los cuidados que se deben disponer para su manejo correcto dentro de las instalaciones. Asimismo, el encargado del departamento de catación posee la experiencia y conocimiento para evaluar con base en cada muestra que se obtiene al finalizar el proceso productivo y toma la decisión de indicar si cumple o no con los estándares de calidad un lote de café, conforme a la cantidad de imperfecciones que se acepta para cada tipo de preparación que se va a exportar, así como evaluar las características físicas y organolépticas del café.

### **3.2. Objetivo 2: analizar las etapas críticas del proceso productivo para medir las variaciones de calidad en un lote de café para exportación.**

El propósito de la investigación fue observar y analizar el comportamiento en cada una de las etapas del proceso productivo para la clasificación y eliminación de granos defectuosos en un lote de café para exportación, correspondiente a una preparación europea. Para lo cual se trató de identificar de dónde a dónde varía la cantidad de granos defectuosos y cómo estos cambian a lo largo del tiempo en que se procesa cada lote de café; asimismo, se consideraron las acciones que deberían realizarse para el control, y así mejorar las decisiones en relación con la calidad de café que se exporta. A continuación, se detallan las etapas del proceso que se desarrollaron para medir las variaciones de calidad en un lote de café:

#### **3.2.1. Paso 1: muestreo en el proceso productivo**

Para analizar cada etapa del proceso productivo se consideró tomar una serie de muestras del lote de café de exportación para una preparación europea, considerando el tiempo en que se procesó.

Figura 18. **Ficha del lote de café objeto de estudio**

BENEFICIO SECO DE CAFÉ	
Ficha de lote de café	
Fecha:	10-abr-21
Lote de café No.	11-927-156
Tipo de café:	Estrictamente Duro
Cantidad de sacos oro:	550 sacos
Tipo de preparación:	
Europea	<input checked="" type="checkbox"/>
Americana	<input type="checkbox"/>



Fuente: elaboración propia.

La población objeto de estudio fue un lote de 1 100 sacos de café pergamino, cantidad que se requiere para obtener finalmente un lote de 550 sacos de café oro de una preparación europea, que corresponde a la cosecha 2020-2021 en el beneficio seco.

Es importante indicar que cada muestra se tomó por una cantidad de 300 gramos, con base en los estándares de medición que se definen en la tabla de imperfecciones del café. El propósito fue evaluar el funcionamiento del proceso para la clasificación y eliminación de granos defectuosos que se presentan en los lotes de café y medir las variaciones.

- Determinación del tamaño de la muestra: se realizó el cálculo del tamaño de la muestra para una media que sea representativa de la población, que corresponde a un lote de 550 sacos de café oro de exportación. Además, se consideró un nivel de confianza del 90 % y un margen de error permitido de 0.5.

Para efectos de la presente investigación se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

Datos:

e = 0.5

N = 550

$\Sigma = 2$

Confianza = 90 %

Z = 1.64

n = 40

$$n = \frac{550 * 2^2 * 1.64^2}{(550 - 1) 0.5^2 + 1.64^2 * 1.64^2}$$
$$n = 40.1979 \approx 40$$

El tamaño es de 40 muestras de café oro de un lote de café con preparación europea para exportación.

### 3.2.2. Paso 2: medición de la variable

La característica del café que se evaluó fue la cantidad de granos defectuosos que se observan en un lote de café, con base en la medición de la variable que es la cantidad de puntos de imperfecciones que se encuentran en cada muestra. Para una preparación europea la cantidad de imperfecciones aceptable es de 8 puntos y para una preparación americana, 12 puntos.

### 3.2.3. Paso 3: definir la frecuencia del muestreo

Es importante realizar una evaluación de cada etapa crítica del proceso productivo dentro del beneficio seco y para dicho fin se consideró analizar un lote de café para exportación, del cual se tomaron muestras en cada etapa para evaluar cuáles inciden en la correcta clasificación y eliminación de los granos defectuosos. Por lo que se tomó una serie de muestras cada media hora y en cada una se analizó la cantidad de granos defectuosos para establecer el número de

puntos de imperfecciones; todo con el apoyo del departamento de catación del beneficio seco de café.

El propósito de tomar muestras cada 30 minutos en las diversas etapas del proceso productivo fue de identificar los puntos críticos, evaluar las variaciones y determinar si dicho proceso se encuentra bajo control estadístico de calidad. A continuación, se presenta la toma de muestras que se realizó en cada etapa del proceso con base en un lote de café para exportación con tipo de preparación europea, como se indicó anteriormente:

- Máquina retrilla: se realizó el muestreo conforme el café oro salía de la máquina de retrilla, una vez que se ha eliminado el cascabillo al café pergamino:

Tabla VII. **Muestreo en la máquina retrilla**

BENEFICIO SECO DE CAFÉ					
Ficha de frecuencia para toma de muestra					
No. Lote de café	11-927-156				
Maquinaria	Retrilla				
Hora	No.	Cantidad de imperfecciones	No.	Cantidad de imperfecciones	
08:00:00 - 08:30:00	1	13	21	12	
08:30:00 - 09:00:00	2	13	22	14	
09:00:00 - 09:30:00	3	12	23	11	
09:30:00 - 10:00:00	4	15	24	9	
10:00:00 - 10:30:00	5	13	25	14	
10:30:00 - 11:00:00	6	12	26	9	
11:00:00 - 11:30:00	7	10	27	13	
11:30:00 - 12:00:00	8	14	28	11	
12:00:00 - 12:30:00	9	16	29	13	
12:30:00 - 13:00:00	10	12	30	14	
13:00:00 - 13:30:00	11	12	31	10	
13:30:00 - 14:00:00	12	9	32	9	
14:00:00 - 14:30:00	13	11	33	9	
14:30:00 - 15:00:00	14	10	34	12	
15:00:00 - 15:30:00	15	15	35	13	
15:30:00 - 16:00:00	16	12	36	9	
16:00:00 - 16:30:00	17	14	37	7	
16:30:00 - 17:00:00	18	12	38	11	
17:00:00 - 17:30:00	19	8	39	13	
17:30:00 - 18:00:00	20	11	40	10	

Fuente: elaboración propia.

- Máquina catadora: se obtuvieron muestras del café que fluye hacia la siguiente máquina; estos granos fueron clasificados por su peso por medio de la corriente de aire a la que fueron expuestos:

Tabla VIII. **Muestreo en la máquina catadora**

<b>BENEFICIO SECO DE CAFÉ</b>				
Ficha de frecuencia para toma de muestra				
No. Lote de café	<u>11-927-156</u>			
Maquinaria	<u>Catadora</u>			
Hora	No.	Cantidad de imperfecciones	No.	Cantidad de imperfecciones
08:00:00 - 08:30:00	1	12	21	10
08:30:00 - 09:00:00	2	9	22	9
09:00:00 - 09:30:00	3	9	23	12
09:30:00 - 10:00:00	4	13	24	8
10:00:00 - 10:30:00	5	14	25	9
10:30:00 - 11:00:00	6	16	26	13
11:00:00 - 11:30:00	7	15	27	12
11:30:00 - 12:00:00	8	14	28	10
12:00:00 - 12:30:00	9	9	29	11
12:30:00 - 13:00:00	10	11	30	12
13:00:00 - 13:30:00	11	9	31	12
13:30:00 - 14:00:00	12	9	32	9
14:00:00 - 14:30:00	13	11	33	7
14:30:00 - 15:00:00	14	10	34	10
15:00:00 - 15:30:00	15	14	35	10
15:30:00 - 16:00:00	16	7	36	10
16:00:00 - 16:30:00	17	13	37	9
16:30:00 - 17:00:00	18	14	38	12
17:00:00 - 17:30:00	19	13	39	11
17:30:00 - 18:00:00	20	11	40	9

Fuente: elaboración propia.

- Máquina clasificadora de tamaños: se recolectaron las muestras posterior a que los granos de café pasaran por la clasificación de tamaño por medio de las zarandas; se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla IX. **Muestreo en máquina clasificadora**

<b>BENEFICIO SECO DE CAFÉ</b>				
Ficha de frecuencia para toma de muestra				
No. Lote de café	11-927-156			
Maquinaria	Clasificadora			
Hora	No.	Cantidad de imperfecciones	No.	Cantidad de imperfecciones
08:00:00 - 08:30:00	1	10	21	6
08:30:00 - 09:00:00	2	13	22	6
09:00:00 - 09:30:00	3	8	23	11
09:30:00 - 10:00:00	4	9	24	8
10:00:00 - 10:30:00	5	8	25	7
10:30:00 - 11:00:00	6	12	26	9
11:00:00 - 11:30:00	7	9	27	8
11:30:00 - 12:00:00	8	11	28	7
12:00:00 - 12:30:00	9	12	29	7
12:30:00 - 13:00:00	10	9	30	9
13:00:00 - 13:30:00	11	10	31	8
13:30:00 - 14:00:00	12	12	32	7
14:00:00 - 14:30:00	13	12	33	9
14:30:00 - 15:00:00	14	10	34	8
15:00:00 - 15:30:00	15	11	35	10
15:30:00 - 16:00:00	16	9	36	10
16:00:00 - 16:30:00	17	10	37	9
16:30:00 - 17:00:00	18	10	38	11
17:00:00 - 17:30:00	19	9	39	9
17:30:00 - 18:00:00	20	10	40	8

Fuente: elaboración propia.

- Máquina Oliver: las muestras se obtuvieron conforme los granos de café fueron clasificados por tamaño y peso, los cuales pasan por los apartados que posee la máquina:

Tabla X. **Muestreo en la máquina Oliver**

<b>BENEFICIO SECO DE CAFÉ</b>				
Ficha de frecuencia para toma de muestra				
No. Lote de café	<u>11-927-156</u>			
Maquinaria	<u>Oliver</u>			
Hora	No.	Cantidad de imperfecciones	No.	Cantidad de imperfecciones
08:00:00 - 08:30:00	1	9	21	8
08:30:00 - 09:00:00	2	13	22	7
09:00:00 - 09:30:00	3	12	23	9
09:30:00 - 10:00:00	4	11	24	11
10:00:00 - 10:30:00	5	14	25	10
10:30:00 - 11:00:00	6	13	26	7
11:00:00 - 11:30:00	7	12	27	7
11:30:00 - 12:00:00	8	13	28	13
12:00:00 - 12:30:00	9	8	29	11
12:30:00 - 13:00:00	10	7	30	10
13:00:00 - 13:30:00	11	9	31	12
13:30:00 - 14:00:00	12	13	32	12
14:00:00 - 14:30:00	13	12	33	13
14:30:00 - 15:00:00	14	13	34	12
15:00:00 - 15:30:00	15	13	35	11
15:30:00 - 16:00:00	16	10	36	12
16:00:00 - 16:30:00	17	9	37	9
16:30:00 - 17:00:00	18	12	38	11
17:00:00 - 17:30:00	19	11	39	10
17:30:00 - 18:00:00	20	12	40	9

Fuente: elaboración propia.

- Máquina electrónica y banda de escogido: las muestras de granos de café se recolectaron al pasar la máquina electrónica y finalizar en las bandas de escogido, por lo que el café que sale se deposita para posteriormente proceder a pesar y envasar en los sacos de café oro a exportar.

Tabla XI. **Muestreo en la máquina electrónica y banda de escogido**

<b>BENEFICIO SECO DE CAFÉ</b>				
Ficha de frecuencia para toma de muestra				
No. Lote de café		11-927-156		
Maquinaria		Electronica/Banda escogido		
Hora	No.	Cantidad de imperfecciones	No.	Cantidad de imperfecciones
08:00:00 - 08:30:00	1	7	21	11
08:30:00 - 09:00:00	2	8	22	6
09:00:00 - 09:30:00	3	10	23	7
09:30:00 - 10:00:00	4	6	24	9
10:00:00 - 10:30:00	5	8	25	8
10:30:00 - 11:00:00	6	8	26	9
11:00:00 - 11:30:00	7	10	27	7
11:30:00 - 12:00:00	8	14	28	10
12:00:00 - 12:30:00	9	7	29	8
12:30:00 - 13:00:00	10	8	30	12
13:00:00 - 13:30:00	11	6	31	10
13:30:00 - 14:00:00	12	9	32	10
14:00:00 - 14:30:00	13	11	33	9
14:30:00 - 15:00:00	14	10	34	9
15:00:00 - 15:30:00	15	8	35	8
15:30:00 - 16:00:00	16	7	36	11
16:00:00 - 16:30:00	17	9	37	7
16:30:00 - 17:00:00	18	12	38	8
17:00:00 - 17:30:00	19	6	39	10
17:30:00 - 18:00:00	20	10	40	8

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.4. Paso 4: cálculo de los valores estadísticos

Con el propósito de desarrollar el control estadístico de calidad en el proceso productivo, se determinaron, con base en los datos de la cantidad, los puntos de imperfecciones en cada muestra de las diversas máquinas. Los valores estadísticos que para efectos de la presente investigación se utilizaron son: la media muestral y la desviación estándar.

- Determinación de la media muestral: las observaciones en las muestras son la cantidades de puntos de imperfecciones que representan la cantidad de granos defectuosos; por lo que se busca calcular la tendencia central de los datos, que corresponde a la media muestral:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- Determinación de la desviación estándar muestral: es importante conocer la variabilidad de los datos en las muestras, lo cual permite establecer el comportamiento de la cantidad de granos defectuosos que se presentan en el lote de café, considerando qué tan dispersos se encuentran los puntos de imperfección en relación con la media muestral. La desviación estándar se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

La desviación estándar considera los puntos de imperfección y los resta de la media muestral, para posteriormente sumar todos y dividir sobre la diferencia

del valor del tamaño de la muestra menos 1; luego se obtiene la raíz cuadrada de este dato.

A continuación, se detalla el conjunto de datos de las muestras que se tomaron de cada máquina del proceso productivo y los valores estadísticos muestrales:

Tabla XII. **Cálculo de los valores estadísticos muestrales**

<b>BENEFICIO SECO DE CAFÉ</b>									
Cálculo de valores estadísticos (media-desviación estandar)									
No. Lote de café		11-927-156							
Preparación:		Europea							
Retrilla		Catadora		Clasificadora		Oliver		ElectBand.	
13	12	12	10	10	6	9	8	7	11
13	14	9	9	13	6	13	7	8	6
12	11	9	12	8	11	12	9	10	7
15	9	13	8	9	8	11	11	6	9
13	14	14	9	8	7	14	10	8	8
12	9	16	13	12	9	13	7	8	9
10	13	15	12	9	8	12	7	10	7
14	11	14	10	11	7	13	13	14	10
16	13	9	11	12	7	8	11	7	8
12	14	11	12	9	9	7	10	8	12
12	10	9	12	10	8	9	12	6	10
9	9	9	9	12	7	13	12	9	10
11	9	11	7	12	9	12	13	11	9
10	12	10	10	10	8	13	12	10	9
15	13	14	10	11	10	13	11	8	8
12	9	7	10	9	10	10	12	7	11
14	7	13	9	10	9	9	9	9	7
12	11	14	12	10	11	12	11	12	8
8	13	13	11	9	9	11	10	6	10
11	10	11	9	10	8	12	9	10	8

<b>Valores estadísticos muestral:</b>					
Promedio	12	11	9	11	9
Desviación estandar	2	2	2	2	2

Fuente: elaboración propia.

El promedio muestral corresponde a un valor de entre 9 a 12 puntos de imperfecciones y la desviación estándar del proceso es de  $\pm 2s$ ; esto significa que un 0.9545 de los datos se encuentran alrededor de la media.

### 3.2.5. Paso 5: establecer límites de control

Con base en los datos (puntos de imperfecciones) y los valores estadísticos obtenidos, se procedió a realizar las gráficas de control, para reflejar el promedio del proceso productivo y los límites de control.

Se calculó el límite inferior y superior utilizando la regla empírica de la distribución normal, para lo cual dichos límites se comparan con las especificaciones para la variable en estudio, que en este caso es la cantidad de puntos de imperfecciones en la muestras que representan la cantidad de granos defectuosos que se observan en un lote de café. Los límites se obtuvieron de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} LCS &= \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ \text{Línea central} &= \mu \\ LCI &= \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{aligned} \quad \mu_x = \bar{X} \text{ y } \sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

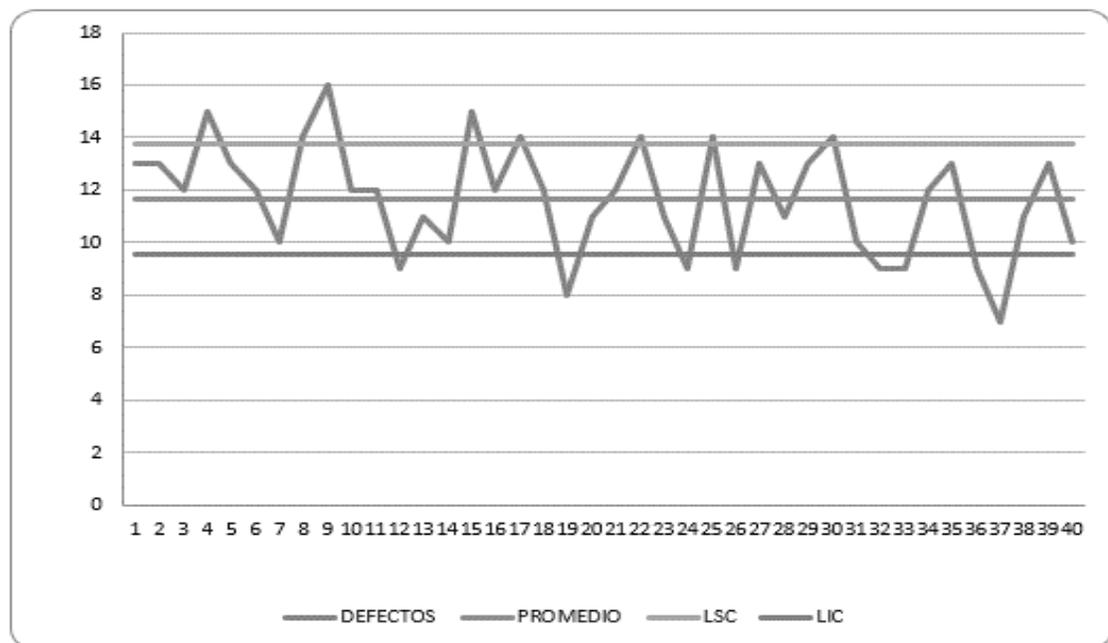
Para efectos de la presente investigación se consideraron los límites de control estadístico a una desviación estándar, debido a que los límites no deben ser muy amplios bajo condiciones de control estadístico y que los datos a graficar puedan reflejar con mayor certeza si el lote de café cumple con los estándares de calidad y si el proceso productivo presenta variaciones. Otra de las principales razones es limitar a que se pueda disponer de un control más ajustado que permita identificar qué puntos de imperfección se encuentran fuera de los límites,

y con ello establecer si el proceso productivo está bajo control estadístico. De esta forma se garantiza que los lotes de café puedan cumplir con los estándares de calidad que se requieren en una preparación para exportación, ya sea americana o europea.

A continuación, se exponen las gráficas de control de cada máquina que conforma el proceso productivo, con el fin de reflejar la cantidad de puntos de imperfecciones que se observan en cada muestra.

- Retrilla: se colocó cada punto de imperfección en la gráfica de control, para representar la cantidad de granos defectuosos que se encontraron dentro de las muestras de café en la máquina de retrilla.

Figura 19. Límites de control en la retrilla



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Como se puede observar, la línea central es de 12 puntos de imperfecciones; las variaciones en la máquina de retrilla corresponden a causas normales del proceso productivo; las estadísticas de la cantidad de puntos que se encuentran fuera de los límites de control son los siguientes:

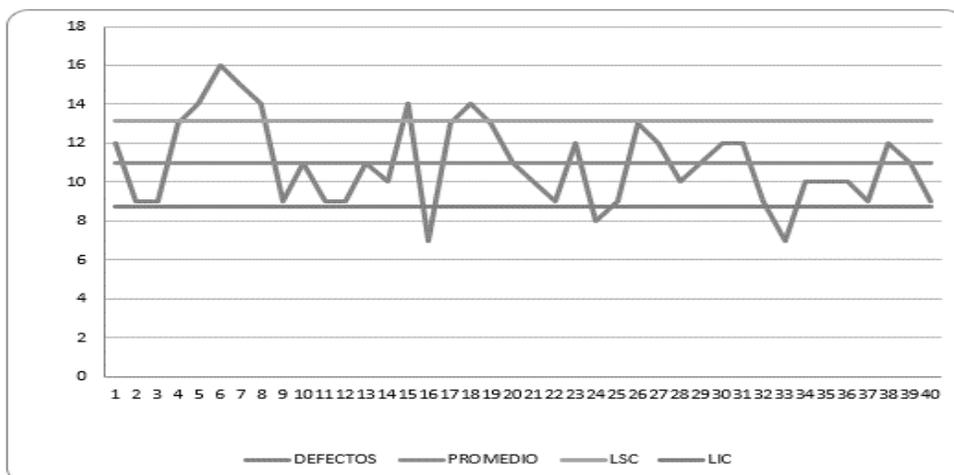
Tabla XIII. **Control estadístico de calidad en la retrilla**

Cantidad de puntos (imperfecciones)	
Dentro de los límites	Fuera de los límites
26	14
65 %	35 %

Fuente: elaboración propia.

- Catadora: se puede observar en la gráfica de control que los límites se encuentran por arriba del punto de imperfección aceptable para una preparación europea, que es de 8 puntos:

Figura 20. **Límites de control en la máquina catadora**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Se puede indicar que la línea central fue de 11 puntos de imperfecciones; la etapa de clasificación por peso del grano se encuentra bajo control estadístico de calidad, debido a que las variaciones corresponden a causas comunes; la cantidad de puntos fuera de los límites de control son:

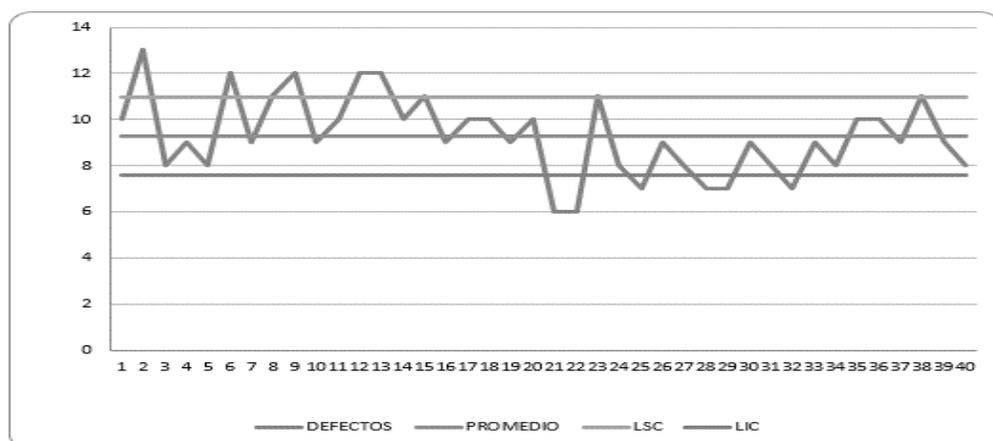
Tabla XIV. **Control estadístico de calidad en la catadora**

Cantidad de puntos (imperfecciones)	
Dentro de los límites	Fuera de los límites
32	8
80 %	20 %

Fuente: elaboración propia.

- Clasificadora: la cantidad de puntos de imperfección que refleja la gráfica de control indica que la mayoría de los puntos se encuentran dentro del límite inferior y superior.

Figura 21. **Límites de control de la máquina clasificadora**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

La línea central de la gráfica de control fue de 9 puntos de imperfecciones y la cantidad de puntos fuera de los límites de control se describe a continuación:

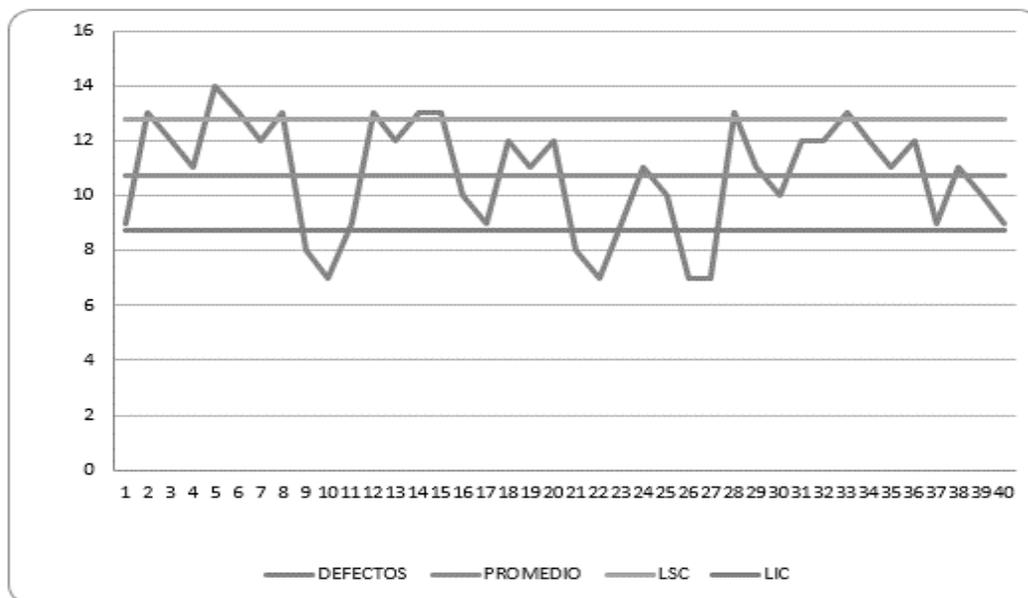
Tabla XV. **Control estadístico de calidad en la máquina clasificadora**

<b>Cantidad de puntos (imperfecciones)</b>	
Dentro de los límites	Fuera de los límites
29	11
73 %	28 %

Fuente: elaboración propia.

- Oliver: la clasificación por tamaño y peso que se realiza en la máquina Oliver indica que existen puntos fuera de los límites de control.

Figura 22. **Límites de control de la máquina Oliver**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Se puede indicar que la línea central de la gráfica de control fue de 11 puntos de imperfecciones; la cantidad de puntos fuera de los límites se describe a continuación:

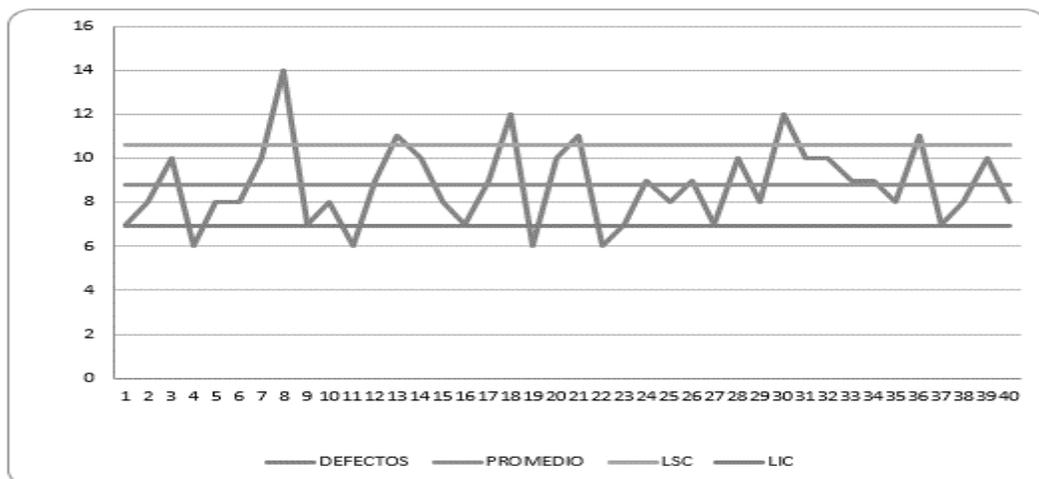
Tabla XVI. **Control estadístico de calidad de la máquina Oliver**

Cantidad de puntos (imperfecciones)	
Dentro de los límites	Fuera de los límites
28	12
70 %	30 %

Fuente: elaboración propia.

- Máquina electrónica y banda de escogido: el proceso productivo finaliza con la clasificación y eliminación de granos defectuosos con base en el color; los puntos de imperfección son los siguientes:

Figura 23. **Límites de control: máquina electrónica y banda de escogido**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Se puede reflejar que la línea central de la gráfica de control fue de 9 puntos de imperfecciones; la cantidad de puntos fuera de los límites de control se señala en la tabla siguiente:

Tabla XVII. **Control estadístico de calidad de máquina electrónica y banda de escogido**

<b>Cantidad de puntos (imperfecciones)</b>	
Dentro de los límites	Fuera de los límites
30	10
75 %	25 %

Fuente: elaboración propia.

La mayoría de los puntos de imperfección se ubican dentro de los límites de control y se encuentran por debajo de los 8 puntos que se exigen para una preparación europea; no obstante, se puede decir que el proceso aún se encuentra fuera de control estadístico debido a causas especiales.

### **3.2.6. Paso 6: análisis e interpretación**

Con base en las gráficas y límites de control que se lograron establecer para cada etapa del proceso productivo, se presenta a continuación un análisis detallado:

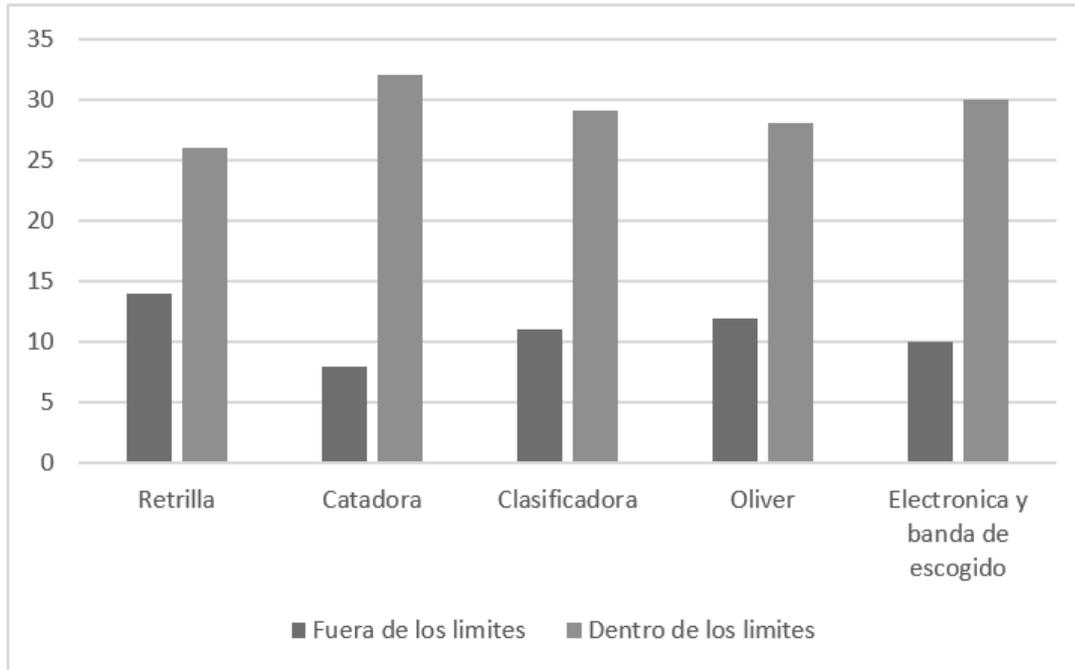
Tabla XVIII. **Análisis de gráfica de control**

Máquina	Interpretación	Análisis
Retrilla	Se observa que existe una gran cantidad de granos defectuosos, derivado a que se encuentran granos defectuosos como pequeños palos y piedras, tamaño de grano variante, quebrados, con granos con color rojizos y negros.	El proceso productivo se encuentra fuera de control no obstante se considera a que no ha pasado por el resto de máquinas que realizan la clasificación por tamaño, peso, color y eliminación de granos defectuosos.
Catadora	En las muestras se observa una gran cantidad de imperfecciones que se encuentran por arriba de los 8 puntos de imperfecciones aceptados para la exportación. Existen granos negros y brocados.	La gráfica muestra 08 puntos que se encuentran fuera de los límites de control. Se refleja un promedio de 11 puntos de imperfecciones. Existen un 20% del total de las muestras que se encuentran fuera de control.
Clasificadora	Se observa una menor cantidad de granos defectuosos en las muestras, derivado a que se realizó una clasificación por tamaño y peso.	La gráfica muestra un promedio de 09 puntos de imperfecciones, existe solo un 28% del total de las muestras que se encuentran fuera de control.
Oliver	Existen granos de café defectuosos como granos negros, rojizos y arañados. Se observan puntos que se encuentran por arriba de lo aceptado, siendo mayor al principio y final de la frecuencia de toma de muestras.	Se observa un aumento en el promedio de 11 imperfecciones del total de las muestras, no obstante se observan solo 8 puntos de imperfección mayor al límite superior.
Electrónicas y bandas de escogido	Se observa un promedio de 9 puntos, existe un acercamiento al estándar de los 8 puntos que se requieren, no obstante se observa aun la existencia de gran cantidad de granos defectuosos, como son negros, rojizos y algunos arañados.	Existen 16 puntos de imperfecciones que se encuentran por arriba de lo aceptado en relación a los 8 puntos que indica el estándar de calidad. Existe un 15% de puntos que se encuentran por arriba del límite superior.

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente gráfica se refleja por cada máquina que conforma el proceso productivo, la cantidad de puntos de imperfección fuera y dentro de los límites de control estadístico.

Figura 24. Puntos de imperfección en los límites de control



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

- Eliminar puntos fuera de control: como se observó en las gráficas anteriores, es importante analizar las etapas críticas del proceso productivo, en relación con la cantidad de granos defectuosos que se presentan en los lotes de café. A continuación, se presenta un detalle de la cantidad de puntos que se encuentran fuera de los límites de control, tipo de causa y la cantidad de puntos que se encuentran arriba de los 8 puntos que se requieren en una preparación europea para exportación.

Tabla XIX. **Control estadístico de calidad**

Máquina	Cantidad de puntos fuera de control	Estatus del proceso productivo	Tipo de causa	Cantidad de puntos mayor al estandar de calidad	Cumplimiento de calidad en la preparación de café
Retrilla	14	Bajo control	Comunes	38	No
Catadora	8	Bajo control	Comunes	37	No
Clasificadora	11	Bajo control	Comunes	26	No
Oliver	12	Fuera de control	Especiales	25	No
Electronica Banda de escogido	10	Fuera de control	Especiales	12	No

Fuente: elaboración propia.

En las máquinas de retrilla, catadora y clasificadora se realiza una eliminación de los defectos intrínsecos y la clasificación de los granos de café por tamaño y peso, siendo las primeras etapas del proceso que se realizan para la eliminación de los granos defectuosos; por lo que las variaciones corresponden a causas de tipo común, derivado de las condiciones inherentes del lote de café y que conforme se avanza en las etapas restantes del proceso productivo se debe reducir la cantidad de granos defectuosos.

La máquina Oliver que realiza la mayor clasificación de los granos defectuosos por peso y tamaño se encuentra fuera de control estadístico por causas especiales, como se indica en la tabla anterior, debido a que se observó un aumento en la cantidad de puntos fuera de los límites de control estadístico.

Asimismo, en la máquina electrónica y banda de escogido se analizó una disminución de puntos que se encuentran por arriba de la especificación de imperfecciones aceptada; no obstante, para una preparación las exigencias de calidad son mayores, por lo que se requiere que el lote de café cumpla como

máximo los 8 puntos de imperfecciones y que el proceso productivo se encuentre bajo control estadístico.

- Realizar acciones correctivas: por lo anterior, se realizaron al finalizar la jornada los ajustes necesarios a la máquina Oliver, tanto en la velocidad del aire a utilizar como en la calibración para las vibraciones que se generan para la clasificación de los granos de café por tamaño y peso. Una vez que se realizó el ajuste en la máquina Oliver, se tomaron nuevamente muestras para evaluar los puntos de imperfecciones, y establecer si el proceso se encuentra bajo control estadístico con los cambios realizados; los resultados de la evaluación se detallan a continuación:

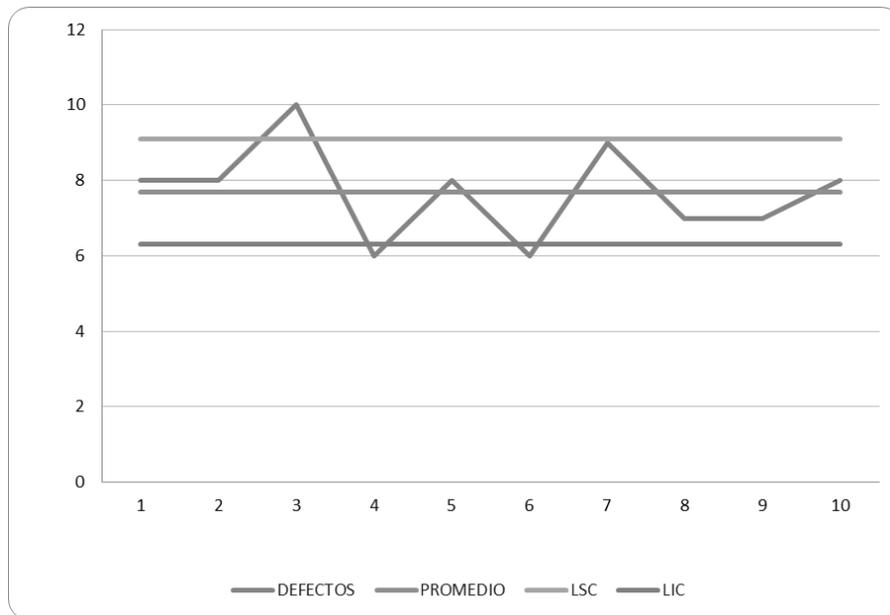
Tabla XX. **Muestreo con acciones en la máquina Oliver**

<b>BENEFICIO SECO DE CAFÉ</b>			
Ficha de frecuencia para toma de muestra			
No. Lote de café		<u>11-927-156</u>	
Maquinaria		<u>Oliver</u>	
00:30			
No.	Hora		Cantidad de imperfecciones
1	9:00	- 09:30:00	8
2	09:30:00	- 10:00:00	8
3	10:00:00	- 10:30:00	10
4	10:30:00	- 11:00:00	6
5	11:00:00	- 11:30:00	8
6	11:30:00	- 12:00:00	6
7	12:00:00	- 12:30:00	9
8	12:30:00	- 13:00:00	7
9	13:00:00	- 13:30:00	7
10	13:30:00	- 14:00:00	8

Fuente: elaboración propia.

Con base en los datos anteriores del muestreo en la máquina Oliver, se reflejaron los puntos de imperfecciones en la siguiente gráfica de control:

Figura 25. Límites de control nuevo en la máquina Oliver



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Se puede verificar que únicamente 1 punto se encuentra por arriba del límite superior, por lo que se asegura que el proceso se encuentra bajo control estadístico. Asimismo, la mayoría de los puntos cumplen con la cantidad de imperfecciones (8) para una preparación europea; los puntos que se encontraron fuera de los límites de control, fueron los siguientes:

Tabla XXI. **Control estadístico de calidad a la máquina Oliver**

<b>Cantidad de puntos (imperfecciones)</b>	
Dentro de los límites	Fuera de los límites
<b>7</b>	<b>3</b>
70 %	30 %

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se realizó la calibración en la máquina electrónica para lograr con mayor precisión la eliminación de los granos defectuosos, considerando que la clasificación se realiza por medio de un lector que reconoce los tipos de colores en los granos de café oro.

Finalmente, en la banda de escogido se disminuyó la velocidad del movimiento de la cinta, se ajustaron los rodillos para que los operadores puedan de manera oportuna observar y separar la mayor cantidad de granos defectuosos que aún se presenten en el lote de café.

Se tomó nuevamente una serie de muestras posterior a los cambios y ajustes realizados; los datos se presentan a continuación:

Tabla XXII. **Muestreo con acciones en máquina electrónica/banda**

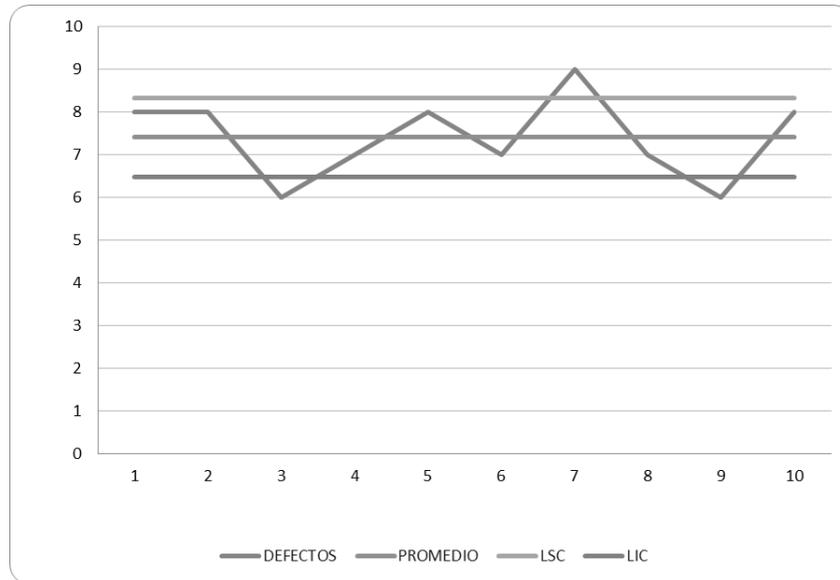
<b>BENEFICIO SECO DE CAFÉ</b>			
Ficha de frecuencia para toma de muestra			
No. Lote de café		<u>11-927-156</u>	
Maquinaria		<u>Electronica/Banda escogido</u>	
00:30			
No.	Hora		Cantidad de imperfecciones
1	9:00	- 09:30:00	8
2	09:30:00	- 10:00:00	8
3	10:00:00	- 10:30:00	6
4	10:30:00	- 11:00:00	7
5	11:00:00	- 11:30:00	8
6	11:30:00	- 12:00:00	7
7	12:00:00	- 12:30:00	9
8	12:30:00	- 13:00:00	7
9	13:00:00	- 13:30:00	6
10	13:30:00	- 14:00:00	8

Fuente: elaboración propia.

Se realizó nuevamente el cálculo de los límites y el desarrollo de la gráfica de control, cuyo propósito es identificar los puntos fuera de control y establecer si la máquina electrónica y banda de escogido realizan correctamente la clasificación de los granos y la eliminación de los defectuosos.

Por lo anterior, se presenta la grafica de control para la máquina electrónica y banda de escogido:

Figura 26. Límites de control de la banda de la máquina electrónica



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Considerando las acciones correctivas a la máquina Oliver, electrónica y banda de escogido y al analizar las gráficas de control se pudo establecer que el proceso de transformación del café pergamino a café oro se encuentra bajo control estadístico; asimismo, al observar en cada muestra, la cantidad de los granos defectuosos, se comprobó que estos cumplen con la cantidad de puntos de imperfección aceptada para una exportación con una preparación europea.

### **3.3. Objetivo 3: analizar los beneficios de aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo que permita mantener la eficiencia y la calidad del café**

Una vez que se logró aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo, se presentan los principales beneficios que se alcanzaron;

Tabla XXIII. **Principales beneficios de aplicar control estadístico**

<b>Beneficio</b>	<b>Descripción</b>
<b>Identificar puntos fuera de control estadístico</b>	El beneficio seco de café, por medio de las gráficas de control, puede identificar la cantidad de puntos que se encuentran por arriba/debajo de los límites de calidad, con base en el promedio de imperfecciones que se encuentra en cada muestra y la cantidad de desviación estándar a definir.
<b>Identificar etapas críticas del proceso productivo</b>	Con base en la cantidad de puntos fuera de control se puede establecer que la etapa del proceso productivo tiene deficiencias en su funcionamiento para la clasificación y eliminación de granos defectuosos. Asimismo, se analizó la cantidad de granos defectuosos que se encuentran por arriba del estándar aceptado.
<b>Analizar las causas que originan el problema</b>	Una vez establecida la etapa crítica se analizaron las principales causas, si las mismas corresponden a causas comunes o son especiales. Se verificó si la existencia de gran cantidad de granos defectuosos corresponde a razones propias del tipo de café a utilizar en la preparación para procesar el lote de café o si se debe a fallas en el proceso propiamente.
<b>Tomar decisiones y acciones correctivas</b>	En caso de ser especiales es necesario evaluar qué acciones correctivas se deben realizar, sea de mantenimiento, calibraciones, ajustes o cambio de piezas.
<b>Cumplir con los estándares de calidad</b>	Se logró una medición por medio de gráficas de control del proceso productivo para el cumplimiento de los estándares de calidad que se requieren para cada tipo de preparación de café y que exige el cliente.
<b>Beneficio</b>	<b>Descripción</b>
<b>Evitar reprocesos</b>	El beneficio seco de café puede evitar que el lote de café se deba pasar nuevamente a las máquinas de clasificación y eliminación de granos los defectuosos de café, lo que genera el reproceso es atraso para procesar los siguientes lotes de café a exportar.
<b>Ahorro de costos</b>	Evitar el reproceso se puede generar ahorros en costos, como energía, operarios, uso de maquinaria, pago por demoras en la entrega de los lotes de café para exportación.

Fuente: elaboración propia.

En el caso específico de los costos, se puede establecer que el lote de café en estudio tendría que pasar nuevamente en cada máquina del proceso productivo, excepto en la retrilla, con el propósito de reducir la cantidad de granos defectuosos y cumplir con el estándar de calidad para exportación.

Tabla XXIV. **Costos por incurrir si procede reproceso del lote de café**

Costos de reproceso			
Máquina	Costo por quintal café oro	Cantidad de quintales	Costo total
Oliver	0.346	550	190.3
Electrónica	0.894	550	491.7
Banda de escogido	0.596	550	<u>327.8</u>
Monto total costo \$			1,009.80
<b>Monto total costo Q (tipo de cambio 7.70)</b>			<b>7,775.46</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, los costos directos suman un monto de Q7,775.46 al realizar un reproceso en la etapa de Oliver, electrónica y banda de escogido; por lo que es importante que el beneficio seco Santa Isabel evite realizar una segunda clasificación para la eliminación de la cantidad de granos defectuosos que se observan aún en el lote de café a exportar.

### **3.4. Objetivo 4: aplicar el control estadístico de calidad para mejorar la eficiencia del proceso productivo de un beneficio seco de café**

El trabajo de investigación permite establecer una propuesta para la aplicación del control estadístico de calidad que facilite identificar las etapas críticas del

proceso productivo y establecer si este se encuentra bajo control estadístico mediante la utilización de gráficas de control por variables.

A continuación, se presenta los pasos que deben seguirse al aplicar el control estadístico de calidad en un beneficio seco de café:

Tabla XXV. **Control estadístico de calidad**

<b>Aplicación del control estadístico de calidad</b>			
<b>Beneficio seco de café</b>			
N°	Paso	Actividad	Flujo del proceso
<b>INICIO</b>			
1	<b>Preparación de datos</b>	Utilización de la ficha de lote de café, identificar si corresponde a una preparación americana o europea, el tipo de café y cantidad de sacos de café a procesar.	<pre> graph TD     INICIO((INICIO)) --&gt; 1[1]     1 --&gt; 2[2]     2 --&gt; 3[3]     3 --&gt; 4[4]     4 --&gt; 5[5]     5 --&gt; 6[6]     6 --&gt; 7[7]     7 --&gt; FIN((FIN))             </pre>
2	<b>Determinación del muestreo</b>	Calcular el tamaño de la muestra con base al tamaño del lote de café a procesar, realizar la toma de muestras en cada etapa del proceso productivo y establecer la frecuencia.	
3	<b>Recopilación de datos</b>	Separar manualmente los granos defectuosos y registrar la cantidad de puntos de imperfección que se encuentran en cada muestra e identificar a que etapa del proceso productivo corresponde.	
4	<b>Cálculo de los valores estadísticos</b>	Registrar los datos de los puntos de imperfección por cada máquina en la Ficha de control de valores estadísticos para calcular el promedio y la desviación estandar muestral.	
5	<b>Establecer límites de control de prueba</b>	Calcular el límite superior e inferior de control, con base al valor promedio central y la cantidad de desviaciones estandar, considerando la distribución de probabilidades.	
6	<b>Graficar los valores estadísticos</b>	Identificar los puntos de imperfección en la gráfica de control, trazar la línea central y los límites de control, para determinar que puntos se encuentra fuera de control estadístico.	
7	<b>Analizar e interpretar los resultados</b>	Establecer las variaciones, determinar que etapas del proceso se encuentran fuera de control estadístico, analizar las causas y tomar decisiones sobre acciones que corresponden.	
<b>FIN</b>			

Fuente; elaboración propia.

- Paso 1: preparación de datos: el beneficio seco necesita identificar qué lote de café evaluará; para establecer si el proceso de transformación del café pergamino a café oro, listo para exportación se encuentra bajo control estadístico, debe registrar los datos en la ficha del lote de café que se detalla a continuación:

Tabla XXVI. **Ficha del lote de café**

<b>BENEFICIO SECO DE CAFÉ</b>	
Ficha de lote de café	
Fecha:	_____
Lote de café No.	_____
Tipo de café:	_____
Cantidad de sacos oro:	_____
Tipo de preparación:	
Europea	<input type="text"/>
Americana	<input type="text"/>

Fuente: elaboración propia.

Se debe indicar si el lote de café será una preparación europea o americana, ya que al momento de efectuar el control estadístico de calidad es necesario indicar los parámetros de calidad.

Figura 27. Toma de muestra



Fuente: CoopSol. *Preparación y aprobación de muestras*. Consultado el 28 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://escoopsol.files.wordpress.com/2010/06/muestra.jpg>.

- Paso 2: determinación del muestreo: es importante considerar que para el análisis del control estadístico de calidad se debe realizar la toma de muestra en cada etapa del proceso productivo, desde que se recibe el café pergamino hasta que se obtiene café oro listo para la exportación, por lo que el responsable debe establecer el tamaño y la frecuencia del muestreo, como se detalla en la siguiente tabla:

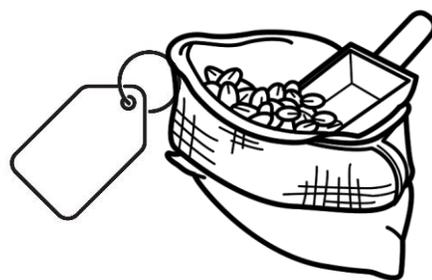
Tabla XXVII. **Ficha para toma de muestra**

<b>BENEFICIO SECO DE CAFÉ</b>	
Ficha para toma de muestra	
No. Lote de café	_____
Tipo de preparación	_____
Cantidad de sacos	_____
Tamaño de la muestra	_____
Frecuencia de la muestra	_____

Fuente: elaboración propia.

Las muestras que se extraen de cada máquina del proceso productivo y que corresponden a un lote de café en específico, se deben identificar y separar en bolsas, como se refleja en la siguiente imagen:

Figura 28. **Identificación de muestras de café**



Fuente: FAO. *Manual de manejo postcosecha de granos*. Consultado el 28 de septiembre de 2021. Recuperado de <https://www.fao.org/3/x5027s/x5027s02.htm>.

- Paso 3: recopilación de datos: posteriormente, de acuerdo con la frecuencia con que se tomen las muestras en cada de etapa del proceso productivo, se deben registrar los datos, en relación con la cantidad de granos defectuosos encontrados en la muestra, como se detalla a continuación:

Tabla XXVIII. **Frecuencia para la toma de muestra**

**BENEFICIO SECO DE CAFÉ**  
 Ficha de frecuencia para toma de muestra

No. Lote de café \_\_\_\_\_

Maquinaria \_\_\_\_\_

No.	Hora	Cantidad de defectuosos

Fuente: elaboración propia.

Se deben separar manualmente los granos defectuosos de los buenos, como se observa en la muestra, considerando la tabla de imperfecciones, que tolera un máximo de 12 puntos para una preparación americana y 8 para una europea sobre la muestra de 300 gramos netos de café en oro.

- Paso 4: cálculo de los valores estadísticos: los datos que se obtienen de la muestra se registran en la ficha de control para, posteriormente, efectuar los cálculos del parámetro y establecer los límites de control con base en cálculos estadísticos, como se indica a continuación:

Tabla XXIX. **Cálculo de valores estadísticos**

No. Lote de café	_____				
Tiempo:	_____				
No.	Retrilla	Catadora	Clasificadora	Oliver	Electronica
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
<b>Valores estadísticos muestral:</b>					
<b>promedio</b>					
<b>desviación estandar</b>					

Fuente: elaboración propia.

Es importante indicar que para el cálculo de los valores estadísticos se debe considerar la cantidad promedio y la desviación estándar con base en las muestras de café que se recopilaron en cada máquina que conforma el proceso productivo.

Para el cálculo del promedio y la desviación estándar de la muestra se deben utilizar las siguientes fórmulas:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

- Paso 5: establecer límites de control de prueba: el beneficio seco de café debe calcular los límites a partir del estadístico y con ello establecer el porcentaje de variación para definir el límite superior e inferior en la gráfica de control. Es importante indicar que los límites no deben ser muy amplios para que no impidan detectar en qué momento el proceso se encuentra fuera de control estadístico. Para calcular los límites se debe considerar la distribución de probabilidades que permita que los datos estén dentro de los límites. El beneficio seco de café debe tomar como base la distribución normal en la cual se relaciona la media y la desviación estándar, como se indica a continuación:

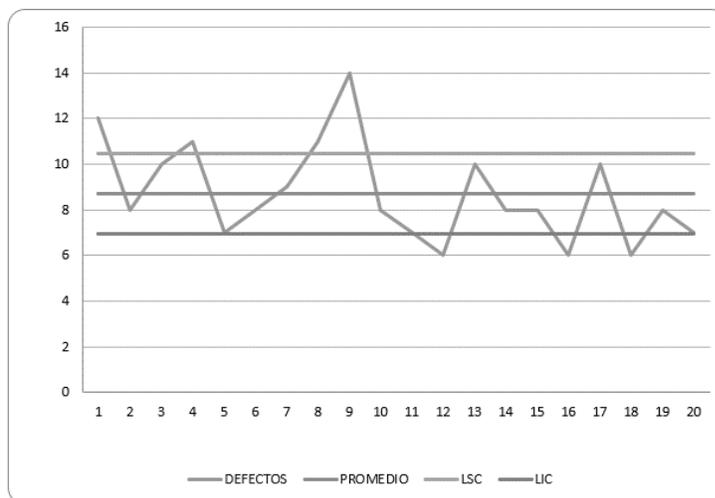
$$\begin{aligned} LCI &= \mu_w - 3\sigma_w \\ \text{Línea central} &= \mu_w \\ LCS &= \mu_w + 3\sigma_w \end{aligned}$$

Los límites superior e inferior se encuentran a tres desviaciones que representan un 99.73 % de probabilidad que los valores se encuentren bajo control estadístico.

- Paso 6: graficar los valores estadísticos: los límites de control se grafican con base en la distribución de probabilidades del estadístico que se va a

obtener. El propósito es reflejar la línea central y los límites de control, con el propósito de identificar y unir los puntos de imperfecciones que representan la cantidad de granos defectuosos que se observan en las muestras de café de cada etapa del proceso productivo:

Figura 29. Imperfecciones en los granos de café



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

- Paso 7: analizar e interpretar los resultados: una vez que se ha realizado la toma de muestras, el cálculo de los valores estadísticos, la determinación de los límites de control y la gráfica, se debe proceder con el análisis de los datos para realizar una interpretación de los resultados. Para esto es importante establecer qué etapa del proceso productivo se encuentra fuera de control estadístico, de acuerdo con los puntos críticos detectados y el análisis de las causas, lo cual permitirá tomar decisiones para realizar las acciones necesarias que permitan que el proceso se encuentre bajo control estadístico. Una vez realizados los cambios en las etapas críticas, se deben calcular

nuevamente los límites de control, y lograr que los puntos se encuentren dentro del límite superior e inferior en la gráfica de control.



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez desarrollada la aplicación del análisis estadístico y evaluar los puntos críticos del proceso productivo, se analizaron los aspectos internos y externos de la investigación, los cuales se detallan a continuación:

### 4.1. Análisis de aspectos internos

Se obtuvieron resultados importantes respecto de la aplicación del control estadístico de calidad en el beneficio seco de café. Dentro de los aspectos internos se puede indicar varios alcances y limitaciones que se presentaron:

Tabla XXX. Análisis de la aplicación del control estadístico

Objetivos	Análisis
<b>Objetivo específico No. 1:</b> Identificar los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café.	Se logró realizar un diagnóstico en el proceso productivo, cuyo fin fue detectar los factores que incluyen, cómo es el tipo de café que se va a utilizar en cada lote de café por exportar, fallas con el mantenimiento y la reparación de maquinaria, uso de herramientas de medición y control, así como la existencia de una revisión de las etapas de proceso productivo.
<b>Objetivo específico No. 2:</b> Analizar las etapas críticas del proceso productivo para medir las variaciones de calidad mediante la muestra en un lote de café para exportación.	Se analizó por medio de la toma de muestras en cada etapa del proceso productivo la cantidad de granos defectuosos, el cálculo de los valores estadísticos de la muestra, la determinación de los límites superiores e inferiores y el desarrollo de las gráficas de control. Asimismo, se estableció que ciertas etapas del proceso se encontraron fuera de control estadístico de calidad.

Continuación de la tabla XXX.

<p><b>Objetivo específico No. 3:</b> Analizar los beneficios de aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo, que permita mantener la eficiencia y la calidad del café.</p>	<p>Se identificaron las causas que originan las variaciones en el proceso productivo y analizaron los puntos críticos en el muestreo realizado, se indicó al encargado de mantenimiento que es necesario verificar las máquinas críticas y realizar los ajustes y calibraciones necesarios. Luego se cumplió con los estándares de calidad que exige la preparación europea previo a su exportación.</p>
<p><b>Objetivo general:</b> aplicar el control estadístico de calidad para mejorar la eficiencia del proceso productivo de un beneficio seco de café.</p>	<p>Se estableció una propuesta para la aplicación del control estadístico de calidad en el beneficio seco, cuyo propósito es realizar una supervisión de los puntos críticos en cada etapa de dicho proceso. Se definió un proceso a seguir con la serie de pasos y formatos utilizados.</p>
Instrumentos utilizados	Análisis
<p><b>Entrevista</b></p>	<p>Se tuvo el apoyo del jefe de operaciones y catación, para comprender la problemática que se presenta en relación con la existencia de gran cantidad de granos defectuosos en los lotes de café para exportación.</p>
<p><b>Visitas al beneficio seco de café</b></p>	<p>Se realizaron varias visitas en el lugar objeto de estudio con el propósito de analizar el funcionamiento de cada máquina e identificar las etapas críticas del proceso productivo.</p>
<p><b>Toma de muestreo</b></p>	<p>Se clasificaron los granos defectuosos en cada muestra de manera manual y con el apoyo del departamento de catación, para identificar la cantidad de imperfecciones en el grano de café.</p>
Muestreo realizado	Análisis
<p>Toma de muestras en etapas del proceso productivo</p>	<p>Se obtuvieron las diversas muestras en cada etapa del proceso productivo y a la vez se dispuso del apoyo del departamento de catación para guiar en la clasificación y conteo de la cantidad de puntos de imperfecciones que representan los granos defectuosos de café. Se tomó un tamaño de 40 muestras en la etapa de retrilla, catadora, clasificadora, Oliver, y electrónica/banda de escogido.</p>

Continuación de la tabla XXX.

<b>Aplicación del control estadístico de calidad</b>	<b>Análisis</b>
Resultados obtenidos	<p>Se calculó la cantidad de puntos de imperfección que se encuentran fuera del límite superior e inferior de control en cada una de las máquinas, como se indica a continuación: retrilla, 14 puntos; catadora, 08 puntos; clasificadora, 11 puntos; Oliver, 12 puntos; electrónica y banda de escogido, 10 puntos.</p> <p>Adicional, se puede indicar que existen ciertas etapas del proceso productivo que se encuentran bajo control, debido a que corresponden a causas comunes y otras que están fuera de control estadístico, como la máquina Oliver, electrónica y la banda de escogido, ya que las variaciones corresponden a causas especiales.</p>
<b>Dificultades en la investigación</b>	<b>Análisis</b>
Recopilación de información, toma de muestras y análisis de los granos defectuosos	<p>Dentro de las limitaciones que se encontraron para el desarrollo de la investigación se puede mencionar lo siguiente: disponer del tiempo necesario para realizar las entrevistas al jefe de operaciones, jefe de catación y jefe de taller, siendo con este último un poco más difícil tener acceso a las respuestas de manera más precisa, especialmente en relación con una bitácora de la cantidad de mantenimientos y reparaciones que se han realizado a las máquinas.</p> <p>Otro de los aspectos que afectó fue el disponer de un espacio físico para observar y realizar un análisis a detalle del funcionamiento del proceso productivo, movimientos internos para los lotes de café y de la recopilación de las muestras de una forma ordenada.</p>

Continuación de la tabla XXX.

Calidad del café	Análisis
Cantidad de granos defectuosos en los lotes de café	Con base en las muestras que se tomaron en cada etapa del proceso productivo, se puede indicar que la mayoría de los granos defectuosos que se observaron fueron los siguientes: granos negros, rojizos, brocados, argeñados y quebrados. En menor cantidad, se encontraron granos deformes, manchados y pálidos; mínimamente se observaron granos cerezos y algunos defectos intrínsecos como pequeñas piedras y palos.

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Análisis de aspectos externos

El desarrollo de la aplicación del control estadístico de calidad permitió analizar los aspectos externos del proceso productivo dentro del beneficio seco de café. A continuación, se detallan los aspectos externos encontrados:

El control de calidad del café es una actividad que desempeña un rol necesario dentro de la industria cafetalera. La calidad es subjetiva, ya que los parámetros utilizados para determinar la calidad del café se ha basado más que todo en los gustos del consumidor.

Es importante mantener dentro del proceso, las características inherentes del grano, tanto en un beneficiado de café húmedo como seco, ya que se sabe perfectamente que en el proceso de beneficio seco, cada etapa se debe realizar teniendo en mente que el producto a obtener sea de una alta calidad; por tales razones es necesario que el beneficio seco Santa Isabel, cuya actividad básica es la transformación del café pergamino al café oro listo para exportar, opere de

una forma eficiente para conservar sus características propias, tanto físicas como organolépticas.

Se requiere, ante todo, crear conciencia acerca de la importancia de cuidar la calidad del café en cada etapa del beneficio seco, para lo cual es necesario tener disponibles herramientas estadísticas que proporcionen información para vigilar y mantener el control de toda variación en el proceso productivo y de esta manera garantizar que los lotes de café cumplan con los estándares de calidad.

La mayoría de los análisis que se han realizado anteriormente del proceso de beneficio seco de café, han sido estudios e investigaciones enfocadas con el buen manejo de los recursos, principalmente del uso de la maquinaria; además de las prácticas que se desarrollan dentro del proceso de producción y la evaluación para la reducción de costos.



## CONCLUSIONES

1. Los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que inciden en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café son la falta de herramientas necesarias para la medición y control constante en las etapas del proceso productivo.
2. Se analizó que las etapas críticas del proceso productivo fueron las máquinas Oliver, electrónica y banda de escogido, ya que presentan gran variación fuera de los límites por causas especiales y por arriba del estándar que se acepta para una preparación europea.
3. Pudo determinarse que uno de los principales beneficios de aplicar el control estadístico de calidad fue identificar los puntos de imperfecciones fuera de los límites estadísticos, analizar las etapas críticas del proceso productivo y las posibles causas que lo originan, evitar la ejecución del reproceso, ahorro de costos y el cumplimiento de estándares de calidad en los lotes de café que se va a exportar.
4. Se logró la aplicación del control estadístico de calidad por medio del desarrollo de gráficas de control por variables, lo que permitió identificar factores que inciden en el proceso productivo, analizar etapas críticas, evaluar las variaciones y tomar mejores decisiones, con el propósito de mejorar la eficiencia en la clasificación y eliminación de los granos defectuosos y cumplir con los estándares de calidad en los lotes de café.



## RECOMENDACIONES

1. Es necesario realizar una supervisión detallada para identificar los factores que inciden en el proceso productivo y el cumplimiento de estándares de calidad en los lotes de café de exportación, por medio del análisis constante del funcionamiento en cada etapa para la clasificación y eliminación de granos defectuosos y así determinar una programación de mantenimiento preventivo.
2. Se debe propiciar una cultura de medición y control por medio de herramientas estadísticas para identificar y analizar las etapas críticas del proceso productivo, medir variaciones e identificar las principales causas en cada una, que permitan tomar decisiones oportunas y reducir la cantidad de granos defectuosos que se presentan en los lotes de café.
3. Es importante analizar los beneficios de la aplicación del control estadístico de calidad, que fortalezca las buenas prácticas de calidad, mediante la mejora continua del proceso productivo por medio de las normas ISO.
4. El beneficio seco de café debe aplicar constantemente el control estadístico de calidad como herramienta de apoyo que contribuya a mejorar la eficiencia del proceso productivo en sus operaciones de clasificación y eliminación de los granos defectuosos, reducir costos, evitar reprocesos y asegurar que el lote de café que va a procesarse cumpla con el parámetro de calidad que se tolera para una exportación.



## REFERENCIAS

1. Álvarez Borrego, J. (2012). Manual del curso de *Control estadístico de procesos*. México: CICESE. Consultado el 10 de octubre de 2021. Recuperado de [https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5507/1/MANUAL\\_CURSO\\_CONTROLESTADISTICO\\_DEPROCESOS.pdf](https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5507/1/MANUAL_CURSO_CONTROLESTADISTICO_DEPROCESOS.pdf).
2. ANACAFÉ. (1998). *Manual de caficultura climáticamente inteligente*. Guatemala: Anacafé. Recuperado de [https://digital-library-drupal.s3.sa-east-1.amazonaws.com/library-content/Manual%20de%20caficultura\\_Solidaridad\\_0.pdf](https://digital-library-drupal.s3.sa-east-1.amazonaws.com/library-content/Manual%20de%20caficultura_Solidaridad_0.pdf).
3. ANACAFÉ (2005). *Manual de beneficiado húmedo del café*. Guatemala. Anacafé. Recuperado de [https://issuu.com/cafenica/docs/2010\\_manual\\_de\\_beneficiado\\_humedo\\_d](https://issuu.com/cafenica/docs/2010_manual_de_beneficiado_humedo_d).
4. ANACAFÉ (2006). *Guía técnica de caficultura*. Guatemala: Anacafé.
5. ANACAFÉ (2007) *La determinación de la calidad del café*. Guatemala: Anacafé. Recuperado de <https://biblioteca.ufm.edu/library/index.php?title=1040834&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=@field1=encabezamiento@value1=CAFE%20CULTIVO%20%20@mode=advanced&recnum=15>

6. Bernal Torres, C. (2011). *Administración por calidad*. Colombia: Editorial Alfaomega.
7. Besterfield, D. H. (2009). *Control de calidad*. Southern Illinois University. Recuperado de <http://190.57.147.202:90/xmlui/bitstream/handle/123456789/528/Control%20de%20Calidad%20H.%20Besterfield.pdf?sequence=1>.
8. Camisón, C. (2009). *Conceptos de calidad y enfoques de gestión*. Valencia, España: Universidad de la Rioja. Recuperado de <http://www.mailxmail.com/curso-conceptos-calidad-enfoques-gestion/enfoque-como-inspeccion>.
9. Carro Paz, R. y González Gómez, D. (2008). *Administración de la calidad total*. Argentina: Universidad Nacional del Mar de Plata. Recuperado de [http://nulan.mdp.edu.ar/1614/1/09\\_administracion\\_calidad.pdf](http://nulan.mdp.edu.ar/1614/1/09_administracion_calidad.pdf).
10. Evans, J. R. y Lindsay, W. (2008). *Administración y control de la calidad*. México: Cengage Learning, Recuperado de <https://www.auditorlider.com/wp-content/uploads/2019/06/Administraci%C3%B3n-y-control-de-la-calidad-7ed-James-R.-Evans-y-William-M.-Lindsay.pdf>.
11. Gutiérrez Pulido, H. y De la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. México: McGraw Hill. Recuperado de <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>.

12. González, T. (2006). *Gestión de la calidad, conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. España: Pearson.
13. Ishikawa, K. (1972). *Guide to quiality control*. Tokyo: Asian Productivity, Organization.
14. Ishikawa, K. (1994). *¿Qué es el control total de la calidad? La modalidad japonesa*. Colombia: Editorial Norma.
15. Juran, J., Bingham, R. y Gryna, F. (2005). *Manual de control de la calidad*. Bogotá: Reverté.
16. Levin, R. (2004). *Estadística para administración y economía*. México Pearson. Recuperado de <https://profefily.com/wp-content/uploads/2017/12/Estad%C3%ADstica-para-administraci%C3%B3n-y-economia-Richard-I.-Levin.pdf>.
17. Murray, S. (1980). *Probabilidad y estadística*. México: McGraw Hill.
18. Rendón, H. (2013). *Control estadístico de calidad*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://docplayer.es/17585770-Control-estadistico-de-calidad-hernan-dario-rendon-c.html>.
19. Rochac, A. (1984). *Diccionario del café*. Estados Unidos: Universidad de Wisconsin.
20. Stevenson, W. (1981). *Estadística para Administración y Economía*. México: Editorial Limusa.

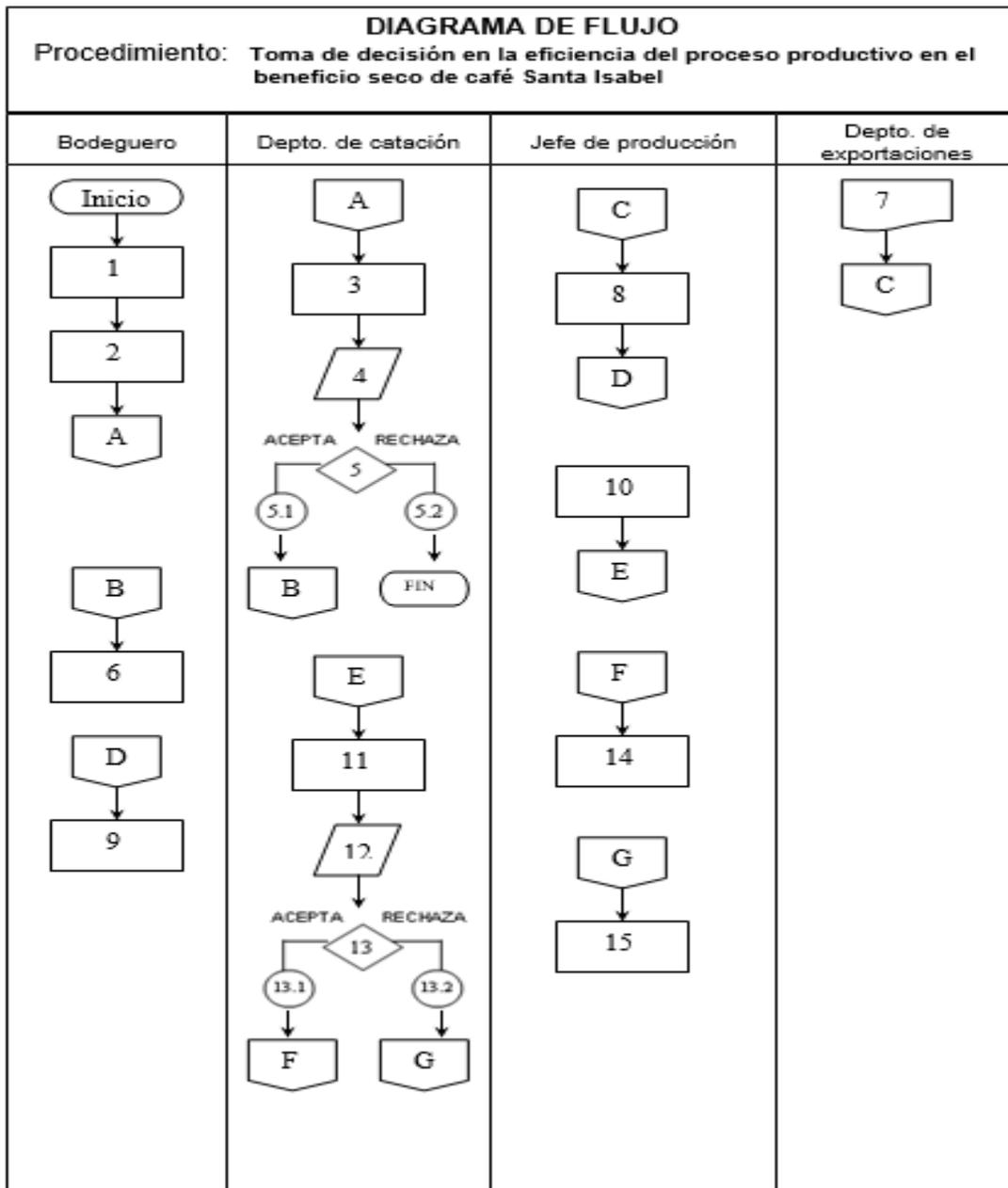
21. Webster, A. (2000). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. México. McGraw-Hill.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Diagrama de flujo del proceso productivo

Procedimiento: Toma de decisión en la eficiencia del proceso productivo en el beneficio seco de café Santa Isabel Número de Pasos: 15 <span style="float: right;">Hoja: 1 de 2</span> Inicia: Bodeguero <span style="float: right;">Finaliza: Jefe de producción</span>		
Responsable	Paso	Actividad
Bodeguero	1	Recibe materia prima (café pergamino) en el beneficio seco de café.
	2	Toma una muestra representativa de cada partida de café pergamino y la envía al departamento de catación para que este realice el dictamen de calidad.
Departamento de catación	3	Recibe la muestra de café de 5 libras o 10 libras, dependiendo del tamaño de la partida de café.
	4	Debe evaluar las características físicas y organolépticas del café en dicha muestra
	5	Toma la decisión de aceptar o rechazar la partida de café pergamino.
	5.1	<b>ACEPTA:</b> el bodeguero puede clasificar el café y ubicar los sacos en la estiba correspondiente.
	5.2	<b>RECHAZA:</b> la partida de café en pergamino se devuelve al proveedor.
Bodeguero	6	Almacena en la bodega la partida de café pergamino para su posterior uso en el proceso productivo.
Departamento de exportaciones	7	Elabora y entrega la orden de producción al jefe de producción.
Jefe de producción	8	Recibe la orden de producción e indica al bodeguero la cantidad y calidad de materia prima que se requiere.
Bodeguero	9	Da instrucciones de comenzar a trasladar el café pergamino correspondiente a la tolva pre-limpieza para dar inicio con el proceso productivo.

Continuación de apéndice 1.



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Matriz de coherencia

Aplicación del control estadístico de calidad para mejorar la eficiencia del proceso productivo en un beneficio seco de café.					
PROBLEMA PRINCIPAL	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	RESULTADOS	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
Después de aplicar el proceso productivo, el beneficio seco de café ha observado la existencia de gran cantidad de granos defectuosos en los lotes de café para exportación.	¿Cómo puede el beneficio seco de café aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo?	Aplicar el control estadístico de calidad para mejorar la eficiencia del proceso productivo de un beneficio seco de café.	Se estableció una serie de pasos a desarrollar para aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo; se elaboraron las fichas de control para recopilar los datos; se definieron los formatos para calcular los valores estadísticos, establecer los límites de control y desarrollar las gráficas para analizar los puntos de imperfección, identificar las etapas críticas y establecer si el proceso se encuentra bajo control.	Se logró la aplicación del control estadístico de calidad por medio del desarrollo de gráficas de control por variables, lo que permitió identificar factores que inciden en el proceso productivo, analizar etapas críticas, evaluar las variaciones y tomar mejores decisiones, con el propósito de mejorar la eficiencia en la clasificación y eliminación de los granos defectuosos y cumplir con los estándares de calidad en los lotes de café.	El beneficio seco de café debe aplicar constantemente el control estadístico de calidad como herramienta de apoyo que contribuya a mejorar la eficiencia del proceso productivo en sus operaciones de clasificación y eliminación de los granos defectuosos, reducir costos, evitar reprocesos y asegurar que el lote de café que se va a procesar cumpla con el parámetro de calidad que se tolera para una exportación.
	¿Cuáles son los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café?	Identificar los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que pueden incidir en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café.	Se realizaron visitas al lugar objeto de estudio y entrevistas al jefe encargado del beneficio seco de café y departamento de catación para recopilar más información e identificaron los factores que afectan la eficiencia del proceso productivo y que afectan el cumplimiento en las especificaciones que exige el cliente para un lote de café a exportar.	Se logró determinar que los factores internos que se relacionan con el proceso productivo y que inciden en el cumplimiento de las especificaciones de calidad en los lotes de café son la falta de herramientas necesarias para la medición y control constante en las etapas del proceso productivo.	Es necesario realizar una supervisión detallada para identificar los factores que inciden en el proceso productivo y cumplimiento de estándares de calidad en los lotes de café a exportar, por medio de analizar constantemente el funcionamiento en cada etapa para la clasificación y eliminación de granos defectuosos y determinar una programación de mantenimiento preventivo.

Continuación del apéndice 2.

	<p>¿De qué forma se puede analizar las etapas críticas del proceso productivo para medir las variaciones de calidad en un lote de café para exportación?</p>	<p>Analizar las etapas críticas del proceso productivo para medir las variaciones de calidad en un lote de café para exportación.</p>	<p>Se realizó un muestreo en cada etapa del proceso productivo, con base al estudio de un lote de café para una preparación europea a exportar, se desarrollaron los cálculos de los valores estadísticos, se efectuaron las gráficas de control y se analizaron con base a los límites que se definieron, las variaciones de los puntos de imperfecciones, que representan la cantidad de granos defectuosos existentes en las muestras, y se identificaron las etapas críticas del proceso productivo.</p>	<p>Se analizó que las etapas críticas del proceso productivo fueron las máquinas Oliver, electrónica y banda de escogido, presentado gran variación fuera de los límites por causas especiales y por arriba del estándar que se acepta para una preparación europea.</p>	<p>Se debe propiciar una cultura de medición y control por medio de herramientas estadísticas para identificar y analizar las etapas críticas del proceso productivo, medir variaciones e identificar las principales causas en cada etapa del proceso productivo, que permita tomar decisiones oportunas en la eficiencia del proceso productivo y reducir la cantidad de granos defectuosos que se presentan en los lotes de café.</p>
	<p>¿Cuáles con beneficios de aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo que permita mantener la eficiencia y la calidad del café?</p>	<p>Analizar los beneficios de aplicar el control estadístico de calidad en el proceso productivo que permita mantener la eficiencia y la calidad del café.</p>	<p>Se logró identificar los puntos de imperfección fuera de los límites, las etapas críticas, analizar las causas de las variaciones, establecer si el proceso productivo se encuentra bajo control estadístico, tomar las decisiones para efectuar las acciones correctivas necesarias en las etapas críticas y con ello cumplir con los estándares de calidad en los lotes de café.</p>	<p>Se analizó que dentro de los principales beneficios de aplicar un control estadístico de calidad es identificar los puntos de imperfecciones fuera de los límites estadísticos, analizar las etapas críticas del proceso productivo, posibles causas que lo originan, evitar realizar reproceso, ahorro de costos y el cumplimiento de estándares de calidad en los lotes de café a exportar.</p>	<p>Es importante que se pueda analizar los beneficios de aplicar el control estadístico de calidad, que permitan el desarrollo de buenas prácticas de calidad, mediante la mejora continua del proceso productivo y el aseguramiento de la calidad por medio de las normas ISO.</p>

Fuente: elaboración propia.