

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedentes del campo

Para comprender la viabilidad y el impacto de la implementación de un sistema de selección automática y análisis de temperatura en el tostado del café, se han realizado estudios y observaciones en diversas unidades productivas del sector cafetero. En estos estudios se han identificado desafíos y oportunidades relacionados con la variabilidad en los procesos de tostado y clasificación de granos, así como la necesidad de optimizar el uso de recursos y mejorar la calidad del producto final.

Rodríguez et al. (2021) diseñaron e implementaron un sistema automatizado para el control de la temperatura y el seguimiento del tiempo de tuestión en la producción de café. El sistema automatizado mejoró la eficiencia del proceso y garantizó la seguridad., lo cual es un factor crítico para la industria alimentaria. La implementación de este sistema permitió un monitoreo constante de las condiciones de tostado, lo que resultó en una mayor consistencia en la calidad del producto final. Este trabajo es de gran relevancia para nuestro proyecto, ya que demuestra cómo la automatización de procesos puede optimizar los tiempos y garantizar un control preciso de la temperatura.

Por otro lado, Gómez et al. (2019) propusieron la optimización de las condiciones de tiempo y temperatura en el proceso de tostado de café, teniendo en cuenta la percepción del consumidor. A través de un análisis detallado, los autores encontraron que una adecuada regulación de la temperatura durante el tostado mejoraba la calidad del café, lo cual resultó en una mejor aceptación por parte de los consumidores. Este enfoque se relaciona estrechamente con nuestro proyecto, ya que demuestra la importancia de controlar las variables del proceso para obtener un producto final de alta calidad.

Asimismo, Martínez y Pérez (2023) desarrollaron un sistema de control automático de temperatura para máquinas de termoformado, utilizando un sistema PID. En su

investigación, evaluaron la modificación del software de control para lograr un funcionamiento semiautomático eficiente, lo cual les permitió optimizar los tiempos de producción y la calidad del producto. Este trabajo es relevante para la implementación de un sistema de selección automática y análisis de temperatura en el proceso de tostado, ya que proporciona una base técnica sólida sobre la cual se puede aplicar el control automático para otros procesos industriales.

Estos antecedentes evidencian la importancia de la automatización y el control preciso de las variables del proceso para mejorar la eficiencia y la calidad en la producción. La implementación de un sistema automatizado de selección y análisis de temperatura en el tostado no solo contribuirá a la mejora de los procesos, sino que también permitirá obtener productos de alta calidad de manera consistente, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.

1.1.2 Antecedentes de la empresa de estudio

1.1.2.1 Origen y fundación

La empresa El Criollito es un reflejo de tradición, esfuerzo y pasión por el café. Todo comenzó en el año 2000, cuando los hermanos Octavio, Walter y Felipe Mamani llegaron a la ciudad de Tarija, provenientes de La Paz. Llevaban consigo el conocimiento y la experiencia en el arte del café, transmitidos por su padre Julián Arcani Mamani. Impulsados por esta tradición familiar los hermanos decidieron emprender y fundaron la marca El Criollito, enfocándose en la elaboración de café torrado en diversas presentaciones. Sus primeros pasos en el negocio fueron modestos, utilizando el método tradicional de tostado a leña y envasado manual. Sin embargo, su dedicación y compromiso los llevaron a crecer progresivamente, logrando establecer su empresa en la ciudad de Tarija y expandiendo su producción.

Con el paso del tiempo, la sociedad entre los hermanos se disolvió, quedando Walter Mamani como único propietario de la empresa. Bajo el liderazgo de Walter Mamani, la marca se consolidó en el mercado tarijeño por su calidad y autenticidad de su café, manteniendo siempre el tostado artesanal como su sello distintivo. En el año 2020, la

empresa enfrentó un momento difícil con el fallecimiento de Walter Mamani, lo que marcó un punto de inflexión en su historia. Su hijo mayor, Walter Adalid Mamani, junto con el apoyo incondicional de su madre, asumió la dirección de la empresa, asegurando la continuidad del legado familiar.

1.1.2.2 Evolución y cambios

Bajo su administración, la empresa El Criollito experimentó una importante evolución, diversificando su línea de productos e incluyendo nuevas variedades como la cocoa en polvo, api morado, café puro, además de las tradicionales presentaciones de café torrado.

Hoy en día, El Criollito es una empresa tarijeña dedicada a la elaboración y comercialización de café torrado en polvo, destacándose por la calidad de su producto y la preservación de métodos tradicionales de producción. Su planta de producción cuenta con tecnología moderna para los procesos de tostado, molienda y envasado, asegurando una mayor capacidad productiva sin perder la esencia artesanal que la caracteriza.

A lo largo de su historia, la empresa ha enfrentado desafíos significativos, como la escasez de insumos en ciertas temporadas, problemas logísticos y el impacto de la inflación en los costos de producción. Sin embargo, su fortaleza radica en su compromiso con la calidad, el trabajo en equipo y la unión familiar, valores que han sido la base de su éxito. Uno de sus cambios más importantes en su crecimiento fue la incorporación de envasadoras automáticas, lo que permitió mejorar los tiempos de producción y garantizar un abastecimiento constante a sus clientes. No obstante, la empresa sigue apostando por el tostado tradicional a leña, asegurando que cada taza de Café El Criollito conserve su sabor único e inconfundible.

El propósito de la empresa El Criollito va más allá de la simple comercialización de café; su misión es acompañar a las familias tarijeñas en cada momento del día, ofreciendo una bebida que no solo despierta los sentidos, sino que también reúne a las personas y forma parte de sus historias diarias. La empresa se encuentra en una etapa

de consolidación y crecimiento, enfrentando nuevos desafíos en un contexto económico cambiante, pero con el firme compromiso de seguir ofreciendo el mejor café artesanal de Tarija.

El Criollito no es solo una empresa, es un legado familiar que ha sido transmitido de generación en generación, un testimonio del amor por el café y el esfuerzo de una familia que ha sabido transformar su pasión en una tradición para toda una ciudad.

1.2 Descripción del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, la producción de café torrado en la empresa objeto de estudio enfrenta serias limitaciones debido a la ausencia de un diseño de estandarización en las etapas clave del proceso, especialmente en la selección de granos y el control térmico durante el tostado. Estas deficiencias impactan de forma directa en la calidad del producto final, la eficiencia operativa y la consistencia de los resultados, factores fundamentales para la competitividad en un mercado cada vez más exigente.

Uno de los puntos críticos iniciales se encuentra desde el momento en la manipulación y almacenamiento de la materia prima. Aunque los granos de café se almacenan en ambientes frescos y secos, la falta de monitoreo continuo de variables como la temperatura y la humedad relativa expone al producto a condiciones ambientales fluctuantes que pueden comprometer sus propiedades físico-químicas antes incluso de ser procesado además que no se cuenta con una etapa previa clara para el secado del grano.

Posteriormente, durante la clasificación de los granos, se detecta otro foco de variabilidad. La selección se realiza de manera manual y visual, lo que introduce un alto grado de subjetividad y errores humanos. Esta situación permite que granos defectuosos pasen a etapas posteriores, generando desigualdades en tamaño, color y calidad. Al no contar con un criterio técnico estandarizado, se compromete la homogeneidad del insumo base, lo cual repercute negativamente en los atributos del producto final.

La etapa de tostado, considerada la más crítica dentro del proceso productivo, presenta una falta de control térmico preciso. Actualmente, el proceso se realiza de forma empírica y sin mecanismos que regulen adecuadamente la temperatura, lo que genera variaciones significativas. Como resultado, algunos granos se tuestan en exceso mientras que otros no alcanzan el punto óptimo de cocción, provocando alteraciones en el perfil de aroma, sabor y textura. Esta falta de uniformidad térmica afecta seriamente la calidad sensorial del café, dificultando su aceptación por parte de los consumidores.

Una situación similar ocurre en la fase de torrado, donde se mezcla el café con azúcar. La ausencia de un control riguroso de temperatura provoca una caramelización desigual, generando texturas indeseadas como dureza o consistencia chiclosa. Esto no solo afecta las propiedades organolépticas del producto, sino que también incrementa los tiempos de vaciado, enfriado y triturado, generando retrasos operativos y mayor esfuerzo físico en los procesos manuales.

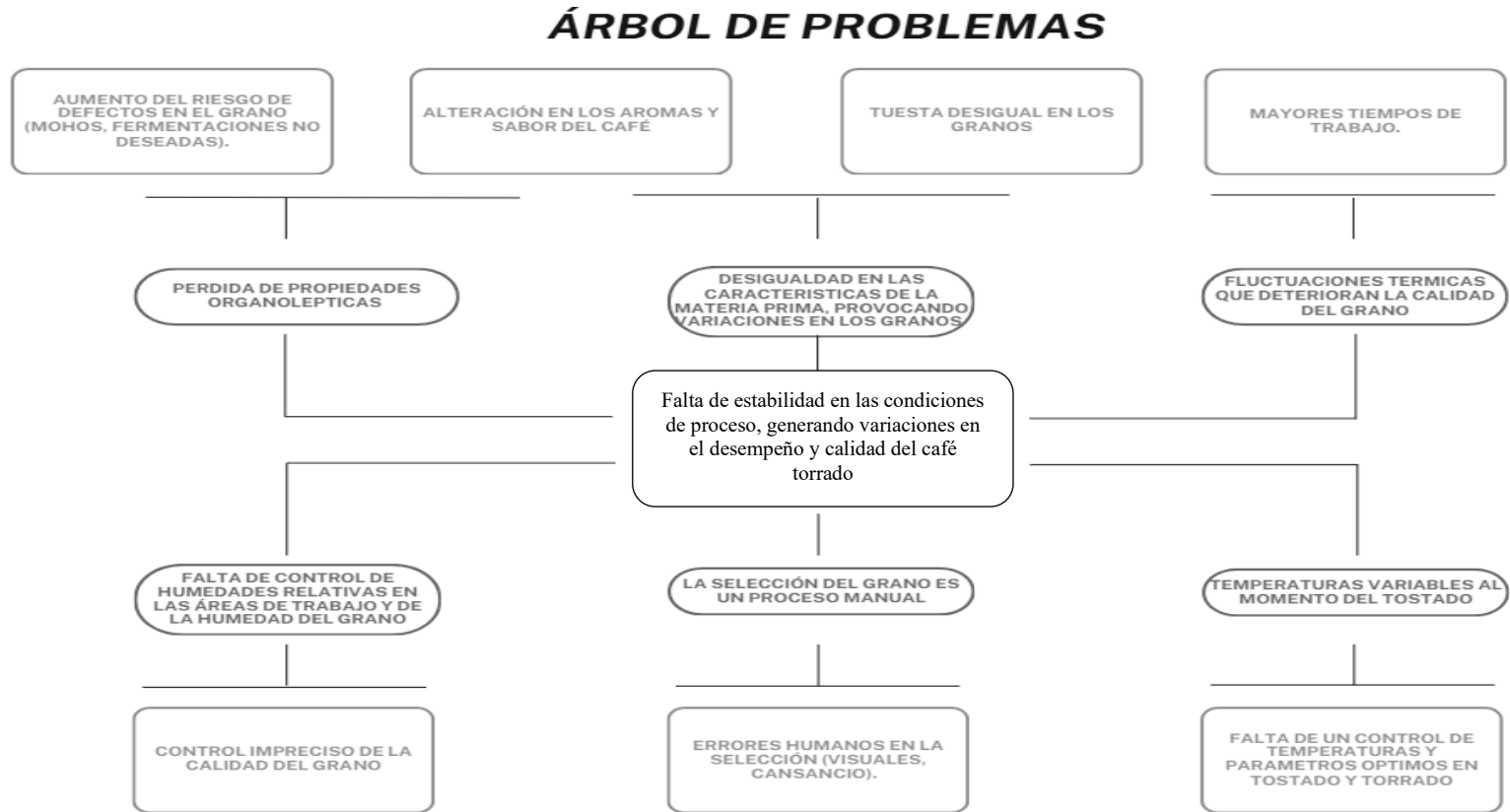
Finalmente, durante el vaciado y enfriado de los granos, etapa clave para detener la cocción y conservar las propiedades del café, se evidencian falencias en el manejo térmico. La presencia de calor residual debido a un inadecuado control en etapas anteriores sigue afectando al producto, impidiendo un enfriamiento efectivo y oportuno.

En síntesis, la falta de un sistema estandarizado y controlado en las etapas críticas del proceso de tostado limita severamente la calidad, uniformidad y eficiencia de la producción del café torrado. Esta situación no solo restringe el potencial competitivo de la empresa, sino que también impide la implementación de mejoras en productividad, reducción de costos y sostenibilidad. Por ello, el desarrollo e implementación de un diseño de estandarización para el proceso de tostado, basado en criterios técnicos y herramientas de ingeniería industrial, se presenta como una necesidad para optimizar la producción, garantizar la calidad del producto y fortalecer la competitividad de la empresa en el mercado local y nacional.

1.2.2 Árbol de problemas

Figura 1

Árbol de problemas



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

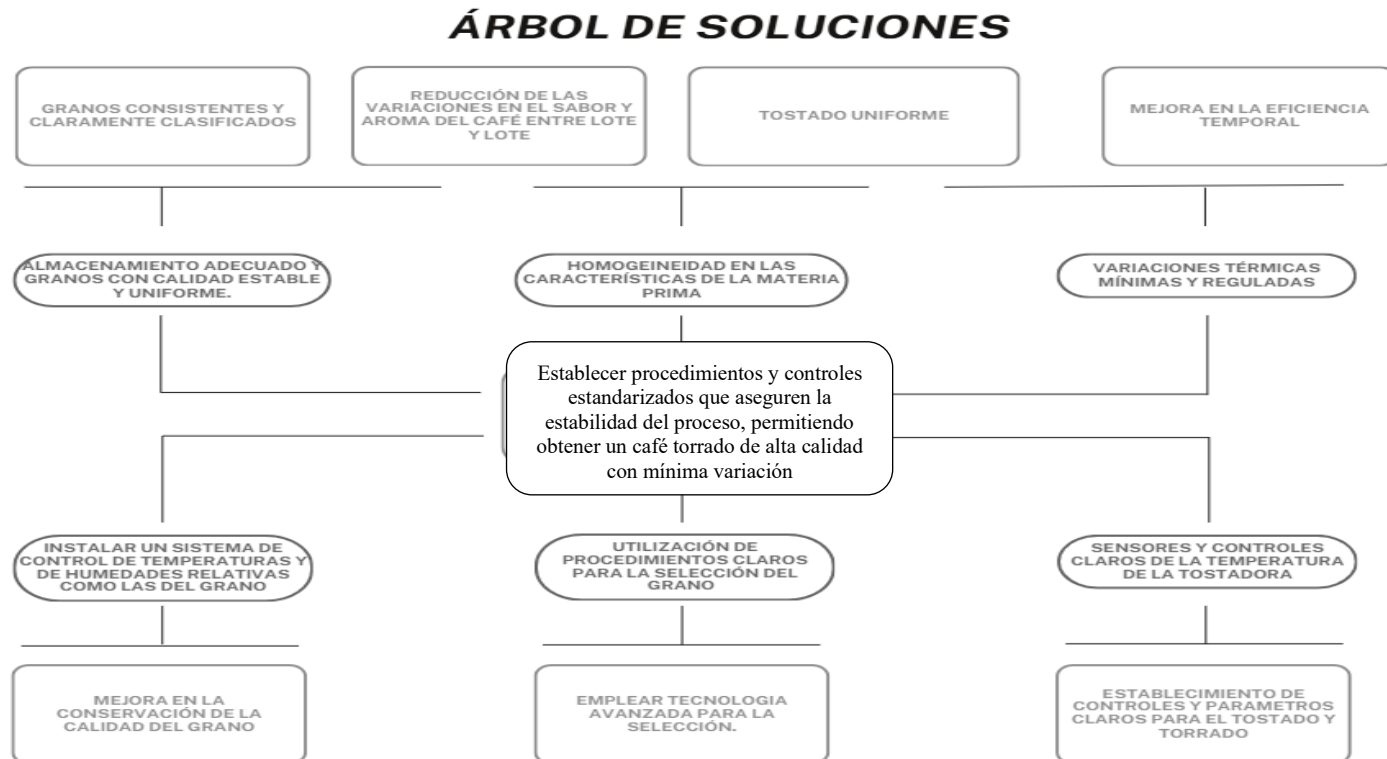
1.2.3 Formulación del problema

- ¿Cómo puede el diseño de un plan de estandarización del café torrado influir en la reducción de la variabilidad del producto, garantizando mejores condiciones de control de calidad y eficiencia operativa?

1.2.4 Árbol de soluciones

Figura 2

Árbol de soluciones



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

1.3 Objetivos

A partir del análisis efectuado, se presentan los objetivos que orientarán el desarrollo de este proyecto.

1.3.1 Objetivo general

-Diseñar un plan de estandarización para el café torrado en la empresa El Criollito, con el objetivo de optimizar la calidad, garantizar la homogeneidad y mejorar las características organolépticas del producto final.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar las condiciones actuales del proceso de tostado, identificando los puntos críticos de control (PCC) y verificando aspectos clave que afectan la calidad del producto final.
- Detectar deficiencias técnicas, térmicas y operativas en el proceso de tostado, evaluando el impacto de la humedad en cada etapa y establecer los procedimientos, con el fin de proponer acciones correctivas concretas.
- Establecer acciones de mejora continua, orientadas a la optimización de los puntos críticos del proceso y a la estandarización de procedimientos, mediante estrategias definidas y programas de capacitación específicos.
- Elaborar un presupuesto de inversión, que respalde la implementación del plan de estandarización.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación académica

El presente proyecto brinda la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación en Ingeniería Industrial, especialmente en áreas clave como gestión de procesos, control de calidad, automatización, análisis térmico y diseño de sistemas productivos. Además, ofrece la posibilidad de generar nuevo conocimiento sobre la implementación de tecnologías en microempresas, fortaleciendo la conexión entre la teoría y la práctica. Este enfoque no solo contribuye a mejorar la eficiencia y

la calidad en la industria cafetera, sino que también abre la puerta a futuras investigaciones y desarrollos en la optimización de procesos dentro del sector.

1.4.2 Justificación técnica

Desde un enfoque técnico, el proyecto aborda la necesidad urgente de integrar herramientas de control que garanticen una producción estandarizada. La ausencia de sistemas de monitoreo térmico, la falta de procesos automatizados para la selección de granos y la inexistencia de parámetros estandarizados en aspectos críticos como temperatura, tiempo de tostado y humedad, impactan negativamente en la calidad del producto final. Este trabajo propone hacer un plan de estandarización viable, que permitirá reducir la variabilidad del proceso, mejorar la trazabilidad y optimizar los recursos utilizados, asegurando así una mayor consistencia y calidad en la producción del café.

1.4.3 Justificación económica

Dentro de una perspectiva económica, la implementación de este proyecto permitirá a la empresa reducir significativamente las pérdidas derivadas de re procesos, mermas y productos no conformes. La optimización de la eficiencia operativa disminuirá los tiempos improductivos y aumentará el rendimiento de la producción, lo que se reflejará directamente en una mejora del margen de utilidad. Además, al elevar la calidad del café torrado, la empresa podrá acceder a nuevos nichos de mercado, ampliar su base de clientes y fortalecer el posicionamiento de su marca en un entorno altamente competitivo, consolidando así su crecimiento sostenible.

1.4.4 Justificación personal

Este proyecto constituye una oportunidad clave para el crecimiento académico y profesional, al permitir enfrentarse a un entorno productivo real en el que se puede aplicar y consolidar los conocimientos adquiridos durante la formación en Ingeniería Industrial. Se logrará que a través del desarrollo se fomentará a un análisis crítico, toma de decisiones fundamentadas y la resolución de problemas concretos junto con habilidades esenciales para un desempeño eficiente en el ámbito laboral.

La participación activa en el diseño e implementación de mejoras en una empresa local brinda la oportunidad de asumir responsabilidades, gestionar recursos eficazmente y proponer soluciones técnicas innovadoras. Esta experiencia fortalece las competencias técnicas, así como la organización, autonomía y capacidad de adaptación al cambio. De esta forma en un ámbito personal permitirá que, al interactuar directamente con el entorno empresarial, se pueda adquirir una comprensión más profunda de las necesidades del sector, lo que permitirá proyectarse profesionalmente con mayor claridad.

1.4.5 Justificación legal

Desde un punto de vista legal el presente proyecto se enmarca dentro del conjunto de normativas nacionales que regulan la producción de alimentos y la protección del medio ambiente en Bolivia, aplicables también a emprendimientos productivos en la ciudad de Tarija. En primer lugar, cumple con las disposiciones del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG), autoridad competente en materia de inocuidad alimentaria, calidad sanitaria de los alimentos y condiciones de producción para consumo humano.

1.5 Metodología

1.5.1 Enfoque y tipo de investigación

Este proyecto adopta un enfoque mixto, con predominancia cuantitativa y elementos cualitativa. Se orienta a la comprensión y análisis de las variables críticas del proceso de tostado de café torrado, así como al diseño teórico de un plan de estandarización, sin requerir la implementación directa.

El tipo de investigación es aplicada y descriptiva, ya que se enfoca en resolver un problema específico dentro de una empresa (El Criollito) y describe en detalle las condiciones actuales del proceso, identificando puntos críticos de control para posteriormente aplicar mejoras concretas.

1.5.2 Métodos y técnicas de investigación

1.5.2.1 Métodos

Los métodos de investigación que se usaran son los siguientes:

- **Analítico-sintético:** Se descompondrá el proceso de tostado para entender sus componentes críticos y luego integrarlos en una propuesta de mejora.
- **Inductivo-deductivo:** A partir de observaciones y datos recogidos, se construirán generalizaciones que sustenten el diseño de estandarización.

1.5.2.2 Técnicas

Las técnicas de investigación que se usaran son las siguientes:

- Revisión documental de artículos, tesis y estudios sobre procesos térmicos en alimentos.
- Observación no participante en planta.
- Entrevistas a informantes clave (tostadores, técnicos, administradores).

1.5.3 Población o sujeto de estudio

La población objetivo de esta investigación estará conformada por todo el personal operativo y administrativo de la empresa El Criollito, ubicado en la ciudad de Tarija. Esta población incluye a los trabajadores directamente involucrados en las distintas etapas del proceso de producción, así como al personal que participa en la gestión, control de calidad y supervisión del área de producción.

El objeto de estudio específico será el proceso de tostado del café, considerado como una de las fases más críticas dentro de la cadena productiva, ya que incide directamente en las características organolépticas del producto final. Este proceso abarca actividades como la recepción del grano, tostado, torrado, enfriado y molienda, así como el control térmico y la selección de granos.

El análisis se centrará en identificar las prácticas actuales, los puntos críticos de control y las variaciones en el proceso, con el objetivo de diseñar una propuesta de

estandarización que permita optimizar la calidad, reducir la variabilidad y mejorar la eficiencia en la producción del café torrado

1.5.4 Tipo de muestreo

Se empleará un muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que el estudio se desarrollará directamente en una única empresa con acceso a todos los datos y actores involucrados, sin requerir selección aleatoria.

1.5.5 Tamaño de la muestra

Dado que se trata de una empresa unipersonal de pequeña escala, la muestra estará conformada por:

- Todos los lotes de producción durante en el periodo establecido
- Todo el personal operativo (aproximadamente 3 a 4 personas involucradas directamente en el proceso).

CAPÍTULO II

EMPRESA


2. Empresa

2.1 Identificación de la empresa

Los datos de una empresa son importantes de esa manera podemos saber el tipo de empresa y lo que nos puede ofrecer tanto en producto y/o servicios. A continuación, veremos los datos más relevantes.

Tabla 1

Datos de la empresa “El criollito”

Datos	Información
Nombre jurídico de la empresa	El Criollito
Logo de la empresa	
NIT	10734196010
Régimen comercial	General
Tipo de organización	Empresa unipersonal
Registro SENASAG	09-03-03-12-0004
Teléfono	+591 77176936

Fuente: Empresa “El Criollito”

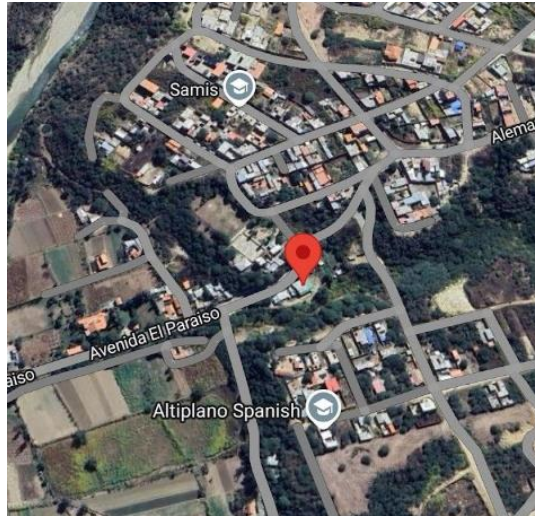
Elaboración: Propia

2.2 Ubicación

La empresa “El Criollito” se encuentra ubicada en la Avenida Paraíso, NRO: S/N Barrio Paraíso, 1000 metros antes de llegar al puente de Obrajes, en la ciudad de Tarija-Bolivia. En la siguiente imagen se podrá apreciar su ubicación de vista satelital.

Figura 3

Vista satelital de la ubicación de la empresa



Fuente: Google maps

2.3 Organización

La estructura organizacional de El Criollito está diseñada para asegurar un funcionamiento eficiente y un adecuado control de todas las etapas de producción y comercialización del café. La empresa es dirigida por el Gerente General, responsable de coordinar las actividades de todas las áreas.

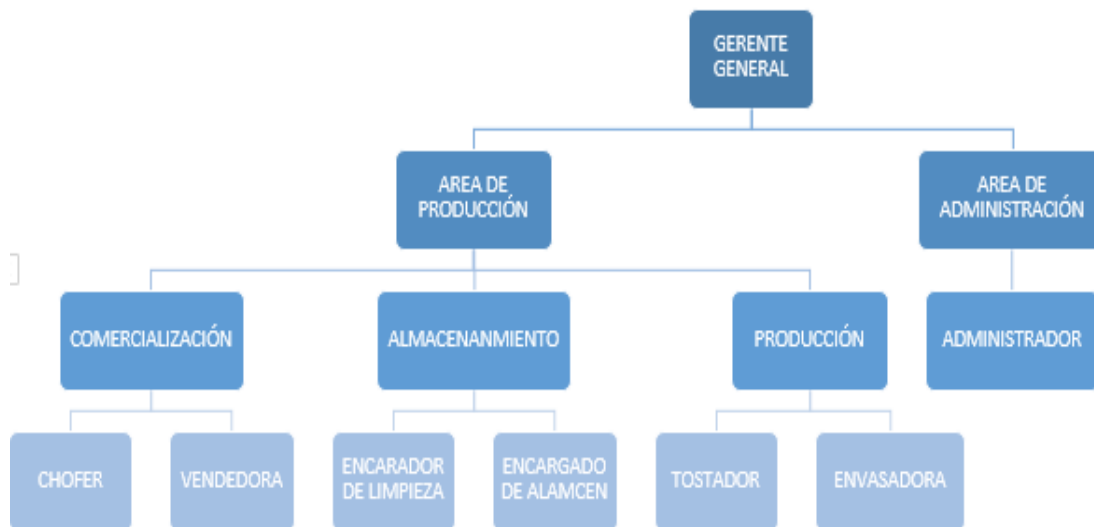
Se divide en dos áreas principales: Producción y Administración. El Área de Producción comprende todas las actividades desde la recepción de materia prima hasta la entrega del producto final e incluye tres sectores: Comercialización, Almacenamiento y Producción.

En Comercialización trabajan el chófer, encargado del transporte, y las vendedoras, responsables de la atención al cliente y venta directa. En Almacenamiento, el encargado de limpieza garantiza las condiciones de higiene y el encargado de almacén controla inventarios y despachos. En Producción se realiza el proceso de torrado del café, a cargo del tostador, mientras que la envasadora se ocupa del empaquetado final.

El Área de Administración está a cargo del administrador, quien gestiona las actividades contables, financieras y de recursos humanos, asegurando el orden y eficiencia de los procesos internos.

Figura 4

Organigrama de la empresa “El criollito”



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: Propia

2.4 Productos y/o servicios

Los productos ofrecidos por la empresa comprenden café de alta calidad, disponible en diversas presentaciones, entre ellas grano entero y café torrado. Asimismo, la empresa elabora otros productos tradicionales como el api y su variante en chocolate. Siendo el producto estrella el café torrado de 50 gramos.

En la Tabla correspondiente se presentan todos los productos elaborados por la empresa, y su detalle ampliado se encuentra en el **Anexo A.1**, donde se describen sus características, presentaciones y especificaciones técnicas.

2.5 Maquinaria y equipos

La maquinaria y el equipo empleados en la producción de café torrado son esenciales para garantizar la eficiencia operativa y la calidad del producto final. Entre los principales equipos se encuentran las tostadoras, que permiten un control preciso de la temperatura y del tiempo de torrado, aspectos determinantes para obtener el perfil de sabor deseado. También se utilizan molinos, encargados de asegurar una molienda uniforme después del proceso de torrado.

Para el envasado, la empresa cuenta con selladoras automáticas y máquinas etiquetadoras, que garantizan una presentación adecuada y una correcta conservación del producto. Asimismo, se emplean balanzas electrónicas para realizar un pesaje exacto en cada etapa correspondiente.

En la tabla siguiente se presenta la maquinaria utilizada por la empresa, cuyo detalle ampliado se encuentra en el **Anexo A.2**, donde se describen sus características y funciones específicas

2.6 Materia prima e insumos

La materia prima e insumos utilizados en la producción de café torrado son clave para garantizar la calidad y el sabor del producto final. La materia prima principal es el grano de café pergamino que se selecciona cuidadosamente según su origen y calidad. Además, se incorporan insumos esenciales como el azúcar para el saborizado, leña o gas para el proceso de tostado, envases trilaminados y etiquetas para una presentación adecuada. Todos estos componentes son fundamentales para ofrecer un producto que cumpla con los estándares de frescura, sabor y presentación. A continuación, veremos una descripción más detallada:

Tabla 2

Materia prima e insumos usados para la elaboración del Café Torrado

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA
Café Pergamino	Es el café en su estado seco con la cáscara (pergamino) que lo protege. Se obtiene después del proceso de beneficio húmedo y debe ser trillado para obtener el grano verde.	Materia prima
Azúcar	Se usa para endulzar el café, mejorando su sabor y reduciendo el amargor.	Materia prima
Gas	Alternativa energética usada para acelerar el tostado.	Insumo
Leña	Madera seca utilizada como fuente de calor para el proceso de tostado artesanal del café.	Insumo
Envase trilaminados	Material de empaque avanzado que consta de tres capas (por lo general, plástico, aluminio y polietileno) para ofrecer una barrera adicional contra la humedad, luz y aire, preservando la frescura del café por más tiempo.	Insumo

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

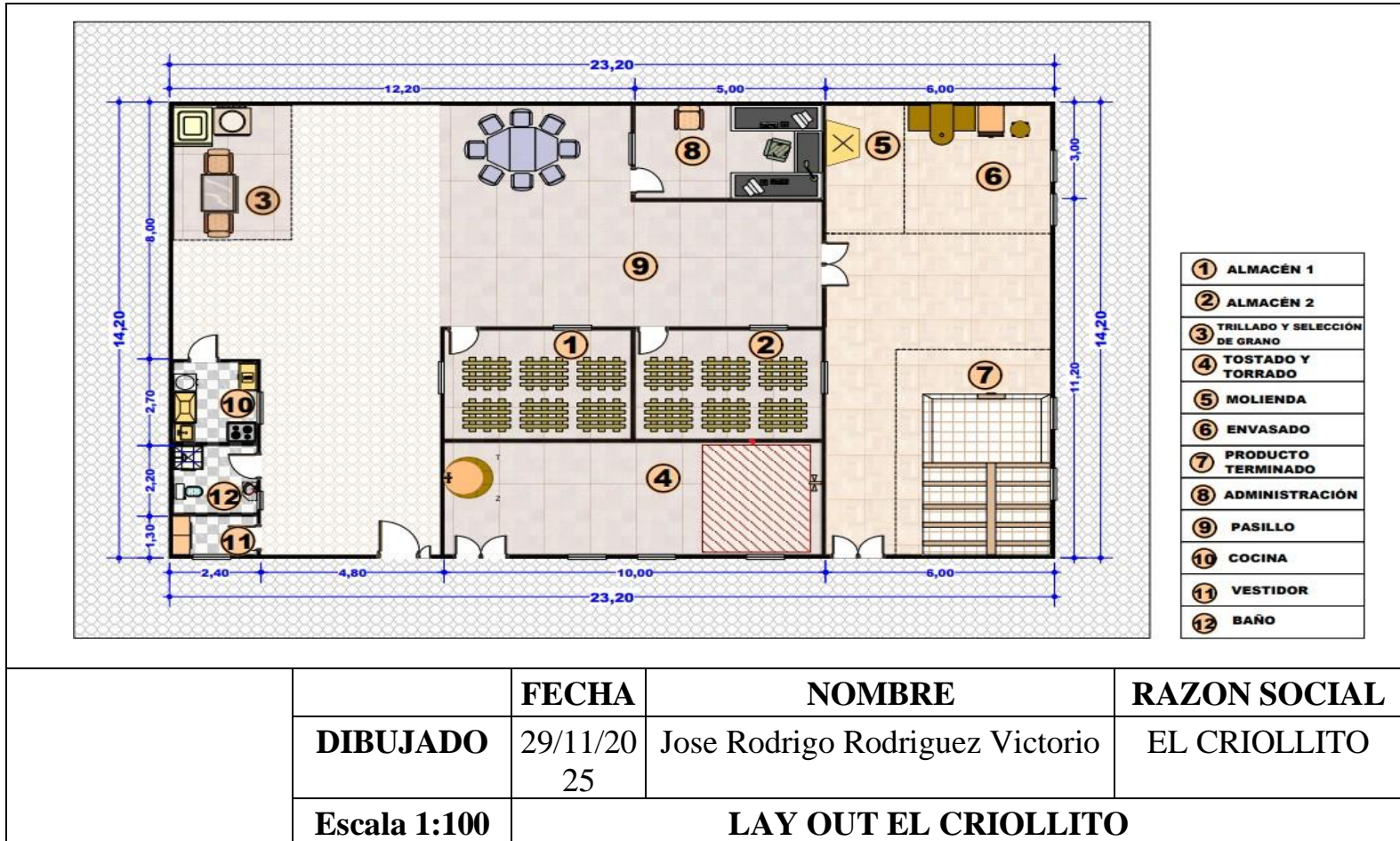
Nota. La leña se usa para darle el toque artesanal al café y de esa manera no pierda su esencia.

2.7 Lay out

El lay out de la empresa está diseñado para optimizar el flujo de trabajo y garantizar la calidad del producto en cada etapa del proceso. Se organiza en áreas específicas que incluyen la recepción y selección del grano de café, la zona de tostado, el área de molienda, el sector de envasado y etiquetado, y finalmente el espacio de almacenamiento del producto terminado. Esta distribución permite una producción ordenada, higiénica y eficiente, facilitando el control de calidad y la trazabilidad en cada fase

Figura 5

Lay out de la empresa “El Criollito”



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propi

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3. Marco Teórico

3.1 Conceptos importantes

3.1.1 Proceso productivo

El proceso productivo es la secuencia organizada de actividades mediante las cuales se transforman insumos en bienes terminados, integrando recursos humanos, materiales, tecnológicos y de información. Desde la ingeniería industrial, este proceso busca optimizar flujos de trabajo para garantizar consistencia, eficiencia y calidad (Chase, Jacobs & Aquilano, 2006).

Fábrycky y Torgersen (1998) señalan que el proceso productivo constituye un sistema de conversión donde entradas como materia prima, energía y mano de obra se transforman en salidas que agregan valor. La eficiencia del proceso depende del control de variables críticas como la temperatura, el tiempo, la humedad y los métodos utilizados.

3.1.2 Puntos críticos

Los puntos críticos son etapas del proceso productivo especialmente vulnerables a desviaciones que pueden afectar la calidad, seguridad o rendimiento. Requieren monitoreo continuo y control estricto para garantizar resultados consistentes (Evans & Lindsay, 2014).

3.1.3 Capacidad productiva

La capacidad productiva es la cantidad máxima de output que un sistema puede generar en un periodo determinado, considerando limitaciones como maquinaria, instalaciones y recursos humanos (Heizer & Render, 2014). Esta medición permite planificar producción, definir inversiones y proyectar mejoras.

3.1.4 Eficiencia

La eficiencia corresponde a la capacidad de un sistema para alcanzar resultados utilizando la menor cantidad posible de recursos. Según Norton (2001), es una relación

entre inputs y outputs. Robbins & Coulter (2005) indican que un sistema eficiente aprovecha el tiempo, materiales y energía sin incurrir en desperdicios.

3.1.5 Indicador

Un indicador es una métrica cuantitativa o cualitativa utilizada para medir el avance hacia un objetivo específico, detectar desviaciones y facilitar la toma de decisiones (AEC, 2013). En procesos productivos se emplean indicadores asociados a tiempo, calidad, rendimiento y consumo de recursos.

3.1.6 Indicadores de eficiencia

Son instrumentos que permiten evaluar el grado de aprovechamiento de los recursos disponibles. Entre ellos se encuentran el rendimiento por lote, la productividad por hora, la tasa de defectos y el porcentaje de merma (AEC, 2013). Constituyen herramientas clave para el análisis y mejora de procesos.

3.1.7 Plan

Un plan es un documento o esquema que define los objetivos, estrategias, acciones, recursos y tiempos necesarios para cumplir una meta establecida (Ayala Sánchez & Gutiérrez, 2020). Su finalidad es orientar y organizar esfuerzos en un proceso o proyecto.

3.1.8 Programa

El programa es la estructuración cronológica y técnica de las actividades contempladas en un plan. Especifica responsables, fechas de ejecución, secuencia lógica y recursos requeridos (Gutiérrez, 2020).

3.1.9 Método

El método es una secuencia lógica y sistemática de pasos, sustentados en principios y procedimientos, que se aplica para alcanzar un objetivo concreto (Pulido, 2015; Equipo editorial, 2021). En ingeniería industrial, los métodos se apoyan en estandarización, medición y análisis.

3.1.10 Técnica

Una técnica es la habilidad o procedimiento específico que permite aplicar un método de manera eficiente (Gutiérrez, 2002; Pauk, 2011). Cada técnica aporta herramientas prácticas para ejecutar tareas con precisión y consistencia.

3.1.11 Calidad

La calidad se define como el grado en que un producto o servicio cumple los requisitos establecidos o satisface expectativas del cliente. En gestión moderna se vincula a modelos como ISO 9001, TQM y enfoques basados en la prevención de errores.

3.1.12 Mejora continua

La mejora continua es un enfoque orientado a optimizar procesos de manera progresiva, mediante revisiones sistemáticas, reducción de fallas, eliminación de desperdicios y ajustes preventivos. Se fundamenta en el ciclo PHVA y en la filosofía Kaizen.

3.1.13 Sistema productivo

Un sistema productivo es la estructura que integra insumos, procesos, recursos y resultados orientados a generar bienes o servicios. Puede clasificarse como:

- **Artisanal:** basado en habilidades manuales y baja mecanización.
- **Industrial:** caracterizado por estandarización y uso de maquinaria.
- **Moderno/automatizado:** incorpora sensores, robótica y automatización.

Cada sistema presenta ventajas y limitaciones en términos de eficiencia, calidad y flexibilidad.

3.1.14 Estandarización

La estandarización es el proceso mediante el cual se definen y aplican normas, procedimientos y especificaciones uniformes para asegurar que las actividades

productivas se realicen de manera consistente, eficiente y con calidad controlada (Goetsch & Davis, 2014). Permite reducir la variabilidad en los procesos, minimizar errores y optimizar recursos.

En ingeniería industrial, la estandarización se aplica en diversos niveles, como procedimientos operativos, métodos de trabajo, medidas de seguridad y control de calidad. Su objetivo principal es lograr uniformidad en las tareas, facilitando la capacitación del personal, la comparación de resultados y la mejora continua (Heizer & Render, 2014).

La estandarización también contribuye a la implementación de sistemas de gestión de calidad, como ISO 9001, donde la documentación de procedimientos y la definición de indicadores son fundamentales para garantizar que los procesos sean repetibles y confiables (ISO 9001, 2015).

Finalmente, se destaca que la estandarización no implica rigidez, sino que permite ajustes controlados y mejoras progresivas mediante la evaluación de resultados y la retroalimentación sistemática, formando parte de la filosofía de mejora continua (Imai, 1986).

3.1.15 Conceptos adicionales sobre estandarización

1. **Uniformidad de procesos:** La estandarización garantiza que cada tarea o actividad se ejecute de manera consistente, reduciendo la variabilidad y asegurando resultados predecibles. Esto permite comparar desempeños y evaluar la efectividad de mejoras implementadas (Goetsch & Davis, 2014).
2. **Documentación de procedimientos:** Implica registrar detalladamente los pasos, herramientas y criterios de control para cada actividad. La documentación formal facilita la capacitación de personal, la replicabilidad de procesos y el cumplimiento de normas de calidad (Chiavenato, 2009).
3. **Control de calidad integrado:** La estandarización permite incorporar puntos de control en etapas críticas del proceso, asegurando que cualquier desviación

sea detectada y corregida oportunamente. Esto fortalece sistemas de gestión como ISO 9001 y HACCP (Crisanto, 2014, págs).

4. **Optimización de recursos:** Al aplicar métodos estandarizados, se disminuye el desperdicio de materiales, tiempo y energía, mejorando la eficiencia global del sistema productivo (Heizer & Render, 2014).
5. **Base para mejora continua:** La estandarización no es un fin, sino un punto de partida para la mejora continua. Proporciona parámetros y referencias que permiten implementar ajustes progresivos mediante herramientas como PHVA o Kaizen (Imai, 1986, págs).
6. **Reducción de errores humanos:** Al definir secuencias, tiempos y técnicas uniformes, se minimiza la dependencia de la experiencia individual, asegurando que las actividades se realicen correctamente incluso con operadores diferentes (Robbins & Coulter, 2005).
7. **Compatibilidad con indicadores de desempeño:** Los procesos estandarizados facilitan la medición objetiva de variables críticas mediante indicadores de eficiencia, productividad, calidad y cumplimiento de metas (AEC, 2013, págs).

3.2 Conceptos de herramientas aplicadas

3.2.1 Cursograma analítico

Es un diagrama detallado del proceso que utiliza símbolos estandarizados para representar operaciones, inspecciones, transportes, demoras y almacenamiento (Sánchez, 2014). Permite identificar tareas innecesarias, cuellos de botella y oportunidades de mejora.

3.2.2 Diagrama

Los diagramas son herramientas visuales que simplifican la comprensión de procesos complejos. Facilitan el análisis, la comunicación y la estandarización.

3.2.3 Cronograma

Es una herramienta de planificación que organiza actividades en función del tiempo, estableciendo su duración, responsables y secuencia (Murbis, 2021; EP Ingeniería de España, 2021). Facilita la gestión ordenada de proyectos.

3.2.4 Manual de procedimientos

Documento formal donde se describen funciones, responsabilidades, pasos y controles asociados a cada actividad (López, 2018; Chiavenato, 2009). Permite homogeneizar criterios y asegurar que los procesos se ejecuten de forma uniforme.

3.2.5 Balance másico

Herramienta que evalúa cuantitativamente las entradas y salidas de un proceso (Perry & Green, 2007). Es fundamental para determinar pérdidas, identificar mermas y optimizar la relación materia prima–producto final.

3.2.6 Diagrama de flujo del proceso

Representa operaciones, inspecciones, transporte, demoras y almacenamiento utilizando símbolos normalizados (Niegel & Freivalds, 2009). Permite detectar obstáculos y oportunidades de estandarización.

3.2.7 Lay out o distribución de planta

Es la disposición física de equipos, materiales, trabajadores y áreas de trabajo para optimizar recorridos, minimizar tiempos y mejorar la seguridad (Tompkins et al., 2010). Una adecuada distribución mejora la eficiencia y reduce riesgos operativos.

3.2.8 Diagrama Hombre-Máquina

El diagrama hombre-máquina es una representación gráfica que muestra la interacción entre el operario y el equipo a lo largo de un proceso productivo, identificando tiempos de operación, espera y mantenimiento de la máquina (Niegel & Freivalds, 2014). Permite optimizar la asignación de tareas, reducir tiempos muertos y mejorar la eficiencia del sistema.

3.2.9 Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)

También conocido como diagrama de espina de pescado, el diagrama de Ishikawa es una herramienta que ayuda a identificar, clasificar y analizar las causas de un problema o variabilidad en un proceso (Ishikawa, 1990). Sus categorías típicas incluyen métodos, materiales, mano de obra, máquinas, mediciones y medio ambiente, facilitando la detección de puntos críticos y la planificación de mejoras.

3.2.10 Teoría de la medición y determinación de tiempos en la producción

3.2.10.1 Concepto de tiempo promedio y observado

Tiempo observado: Se define como el lapso registrado durante la ejecución de una tarea específica por un operario, considerando las condiciones reales de operación. Este tiempo refleja la duración efectiva de la actividad y sirve como base para calcular el tiempo promedio, que representa la capacidad media de un operario calificado realizando la tarea a un ritmo normal y bajo condiciones habituales (Según Niebel & Freivalds, 2014).

Tiempo promedio: Constituye una referencia objetiva para planificar la producción, estimar la capacidad y determinar costos, proporcionando información valiosa para la gestión de operaciones (Según Heizer & Render, 2014).

3.2.10.2 Importancia de la medición de tiempos

La medición de tiempos en un proceso productivo cumple un rol estratégico, ya que permite:

- Planificar la capacidad productiva y programar la producción de manera efectiva.
- Evaluar el desempeño y eficiencia de los trabajadores.
- Establecer incentivos y esquemas de productividad justos.
- Servir de base para estimaciones de costos y fijación de precios.
- Identificar cuellos de botella y actividades improductivas.

- Proporcionar parámetros para la capacitación y estandarización de procesos (Según Barnes, 1980).

3.2.10.2 Métodos de medición de tiempos

Existen diversos enfoques para registrar el tiempo de las actividades:

- **Cronometraje directo:** Consiste en utilizar un cronómetro para registrar la duración de cada elemento de trabajo. Es adecuado en procesos manuales y repetitivos y requiere observación continua (Según Barnes, 1980).
- **Muestreo del trabajo:** Implica observar una muestra representativa de actividades en intervalos de tiempo aleatorios, siendo útil en procesos prolongados o con variabilidad en las tareas (Según Barnes, 1980).
- **Uso de datos históricos:** Basado en registros previos de operaciones similares, reduce la necesidad de mediciones repetitivas (Según Barnes, 1980).

3.2.10.4 Aplicación de tiempos en procesos productivos

La medición de tiempos promedio y observados es especialmente relevante en procesos que combinan tareas manuales y semi-mecanizadas, como el torrado y manipulación de café. En estos escenarios:

- El cronometraje directo con observación no participante permite obtener datos reales sin alterar la rutina de trabajo.
- Se recomienda registrar múltiples ciclos de producción para calcular tiempos promedios más representativos.
- El análisis por etapas facilita identificar puntos críticos de tiempo, donde se concentran demoras o pérdidas de eficiencia (Según Barnes, 1980).

3.3 Conceptos generales

3.3.1 Café pergamino y verde

El café inicia su proceso productivo como grano verde, que es el fruto seco sin tostar del cafeto. El café pergamino es el grano despulpado que conserva una membrana

protectora, esencial para su almacenamiento y transporte antes del torrado (Davids & Bahl, 2016).

3.3.2 Proceso de torrado

El torrado del café consiste en exponer los granos verdes a altas temperaturas para desarrollar aroma, color y sabor característicos. Este proceso implica reacciones químicas complejas como la reacción de Maillard y la caramelización de azúcares (Illy & Viani, 2005).

3.3.3 Perfil de torrado

El perfil de torrado define la combinación de temperatura y tiempo aplicada a los granos para obtener características sensoriales específicas. Los perfiles pueden clasificarse en claro, medio u oscuro, influyendo directamente en el aroma, acidez y cuerpo del café (Bicho, 2017).

3.3.4 Materia prima y selección

La calidad del café torrado depende de la selección de materia prima. Esto incluye la identificación de defectos en granos, uniformidad del tamaño y humedad, lo que impacta la consistencia y rendimiento del producto final (Davids & Bahl, 2016).

3.3.5 Molienda y empaque

Tras el torrado, el café puede ser molido según el tipo de preparación y envasado bajo condiciones controladas para mantener su aroma y frescura. La molienda debe ser uniforme y el empaque hermético para preservar la calidad (Illy & Viani, 2005).

3.3.6 Tamizadoras

Las tamizadoras son equipos utilizados para clasificar los granos de café según su tamaño y densidad, eliminando partículas indeseadas o granos defectuosos. Este proceso asegura uniformidad en el producto final y optimiza el rendimiento en el torrado, ya que granos de tamaños similares se tuestan de manera homogénea (Illy & Viani, 2005).

3.3.7 Deshumificadores

Los deshumificadores permiten controlar la humedad del café verde antes del torrado, evitando problemas como el desarrollo de mohos, fermentaciones indeseadas o irregularidades en el tostado. Mantener un contenido de humedad adecuado garantiza estabilidad en el almacenamiento y uniformidad en las características sensoriales del café torrado (Davids & Bahl, 2016).

3.3.8 Selección y preparación de granos

La selección y preparación de los granos de café es un paso crucial que garantiza la homogeneidad del producto final. Implica clasificar los granos según tamaño y calidad, retirar impurezas y ajustar el contenido de humedad para un tostado uniforme. Este proceso asegura que cada lote cumpla con los estándares de sabor, aroma y apariencia esperados por los consumidores (Illy & Viani, 2005).

3.3.9 Torrado

El torrado es el proceso mediante el cual los granos de café desarrollan su color, aroma y sabor característicos. La consistencia en la aplicación del calor y el tiempo de exposición son fundamentales para obtener un perfil sensorial uniforme. Este proceso transforma los compuestos químicos del grano, generando la paleta de aromas y sabores distintivos del café torrado (Illy & Viani, 2005).

3.3.10 Enfriamiento y almacenamiento

Una vez torrado, el café debe ser enfriado rápidamente para detener la reacción de tostado y preservar las características obtenidas. Posteriormente, se almacena en condiciones controladas de temperatura y humedad para mantener la calidad y prevenir la degradación del producto (Illy & Viani, 2005).

3.3.11 Indicadores de calidad del café pergamino y torrado

Para garantizar la consistencia y excelencia del café torrado, se utilizan diversos indicadores de calidad, que permiten evaluar tanto las características físicas como sensoriales del producto:

- **Humedad del grano (%):** Es el porcentaje de agua presente en el grano. Un nivel adecuado de humedad asegura un torrado uniforme y previene problemas de conservación o aparición de moho (Illy & Viani, 2005).
- **Color:** El color del grano torrado indica el grado de desarrollo del tostado y su perfil sensorial. Se utiliza para clasificar los granos y asegurar uniformidad entre lotes (Illy & Viani, 2005).
- **Azúcares totales (%):** Representa la concentración de azúcares presentes en el grano. Durante el torrado, los azúcares se caramelizan, contribuyendo al aroma y sabor del café (Illy & Viani, 2005).
- **Defectos físicos (%):** Se refiere al porcentaje de granos dañados, partidos, verdes o mal fermentados. Un bajo porcentaje de defectos asegura calidad y consistencia en el producto final (Illy & Viani, 2005).
- **Aroma (puntuación):** Evaluación sensorial que mide la intensidad y complejidad del aroma del café. Se realiza mediante cata profesional siguiendo criterios estandarizados (Illy & Viani, 2005).
- **Textura (puntuación):** Mide la percepción táctil y sensorial al consumir el café, incluyendo sensación en boca y consistencia. Es un indicador importante de calidad percibida por el consumidor (Illy & Viani, 2005).

3.4 Fundamentos teóricos del análisis de humedad

El análisis de la humedad es un elemento crítico en el proceso de producción de café torrado, ya que influye directamente en la calidad del grano, la eficiencia operativa y la estabilidad del producto final (Fellows, 2009). La humedad afecta las propiedades físico-químicas del grano durante su almacenamiento, tostado y enfriado, siendo un factor clave para lograr un producto consistente y seguro para el consumo.

La humedad puede estudiarse desde dos perspectivas: la humedad del producto y la humedad ambiental. La primera se refiere al porcentaje de agua presente en el grano de café, mientras que la segunda indica la cantidad de vapor de agua presente en el aire

circundante, expresada como humedad relativa (HR) (ASHRAE, 2017). La HR es particularmente importante, ya que el grano de café es higroscópico, es decir, absorbe o libera agua según las condiciones del ambiente.

3.4.1 Humedad en el grano de café

El contenido de humedad en los granos de café debe mantenerse dentro de rangos específicos para garantizar la calidad y prevenir deterioros microbiológicos, físicos o sensoriales (Illy & Viani, 2005):

1. Café pergamino:

- Humedad recomendada: 10–12%.
- Humedades superiores a 13% aumentan el riesgo de proliferación de hongos y producción de micotoxinas como la ocratoxina A (ICO, 2018).
- Humedades inferiores a 9% provocan fragilidad en el grano, generando rupturas y pérdida de características sensoriales (Illy & Viani, 2005).

2. Café en proceso de tostado:

- Pierde aproximadamente entre 10 y 15% de su peso inicial por evaporación de agua.
- La reducción controlada de humedad favorece reacciones de Maillard y caramelización, que determinan el color, aroma y cuerpo del café (Illy & Viani, 2005).

3. Café torrado:

- La humedad final debe ser $\leq 3\%$, asegurando estabilidad y vida útil del producto.
- Excesos de humedad en el café molido aceleran la oxidación, provocan rancidez y disminuyen los compuestos volátiles responsables del aroma (Illy & Viani, 2005).

3.4.2 Humedad ambiental

La humedad ambiental es un factor externo que afecta la estabilidad de los granos antes, durante y después del tostado. Niveles altos de HR pueden dificultar la desecación adecuada del grano y favorecer la absorción de agua, mientras que niveles bajos pueden generar excesiva deshidratación y fragilidad. Controlar y registrar la humedad promedio y observada en la planta de producción permite:

- Identificar condiciones que afectan la calidad del café.
- Establecer ajustes operativos en el tostado y almacenamiento.
- Implementar medidas de estandarización en la producción (Fellows, 2009).

3.4.3 Relevancia para la producción de café torrado

El control de la humedad es un parámetro crítico para mantener uniformidad y consistencia en el café torrado, particularmente en procesos artesanales o semi-mecanizados:

- Permite optimizar el tiempo promedio de tostado de cada lote, ajustando los ciclos según la humedad observada en el grano y el ambiente.
- Favorece la evaluación de la calidad del grano mediante indicadores como color, textura, aroma, defectos físicos y azúcares totales, vinculando las propiedades físico-químicas con la percepción sensorial (Illy & Viani, 2005)..

3.5 Principios térmicos aplicados al proceso de tostado y torrado del café

El proceso de tostado y torrado del café está determinado por principios térmicos que gobiernan las transformaciones físicas y químicas del grano durante su exposición al calor. La temperatura actúa como el parámetro clave que activa reacciones esenciales como Maillard, caramelización, pirolisis y liberación de CO₂ responsables del desarrollo del aroma, color y sabor característicos del café torrado (Illy & Viani, 2005).

Comprender estos fenómenos implica analizar no solo el concepto y la relevancia de la temperatura, sino también los factores que interactúan con ella, tales como el tiempo, el flujo de aire, la humedad y el método de tostado utilizado. Asimismo, las etapas

críticas del proceso calentamiento, desarrollo y enfriamiento definen la intensidad del torrado y la calidad final del producto. Este conjunto de principios permite asegurar perfiles sensoriales consistentes y adecuados a los objetivos de producción.

3.5.1 Concepto y relevancia de la temperatura en el tostado y torrado

La temperatura constituye el factor central en la transformación del café verde y en la obtención de un café torrado de calidad. Entre las principales reacciones activadas por la temperatura se destacan:

- **Reacción de Maillard:** interacción entre azúcares reductores y aminoácidos que genera melanoidinas, responsables del color marrón y compuestos aromáticos característicos.
- **Caramelización:** descomposición térmica de azúcares que aporta dulzor y notas acarameladas al café.
- **Pirolisis:** degradación de carbohidratos, proteínas y lípidos, que produce compuestos volátiles responsables del aroma y sabor tostado.
- **Degradación de ácidos clorogénicos:** reduce la acidez percibida y aumenta la amargura del café.
- **Liberación de dióxido de carbono (CO₂):** influye en la frescura y la extracción durante la preparación de la bebida (Illy & Viani, 2005).

El rango de temperaturas utilizadas depende del perfil sensorial deseado:

- **Tueste claro (180–195 °C):** mayor acidez, aromas frutales y florales.
- **Tueste medio (195–210 °C):** equilibrio entre acidez, dulzor y cuerpo.
- **Tueste oscuro (210–220+ °C):** sabores intensos, amargos y notas ahumadas (Illy & Viani, 2005).

En el café torrado, la temperatura permite también la caramelización del azúcar añadido, que se incorpora cuando los granos alcanzan ≥ 200 °C, fundiéndose sobre la superficie sin quemarse y aportando brillo y notas dulces-amargas.

3.5.2 Factores que interactúan con la temperatura

La temperatura no actúa de manera aislada, sino que interactúa con otros parámetros importantes en el proceso de torrado:

- **Tiempo de exposición promedio y observado:** define la intensidad del tueste; un exceso de tiempo genera sabores a carbón, mientras un tiempo insuficiente deja notas verdes y ácidas (Illy & Viani, 2005).
- **Flujo de aire:** regula la transferencia de calor y la eliminación de compuestos volátiles.
- **Contenido de humedad del grano:** granos con mayor humedad requieren más energía térmica para alcanzar la temperatura deseada.
- **Método de tostado:** en sistemas artesanales o semi-mecanizados la temperatura es más variable, mientras que en sistemas con control de aire y tambor se logra mayor precisión (Illy & Viani, 2005).

3.5.3 Etapas críticas del proceso

El proceso de tostado y torrado puede dividirse en tres etapas principales:

1. **Calentamiento inicial:** el grano absorbe calor, pierde humedad libre y se homogeniza térmicamente.
2. **Fase de desarrollo:** ocurren reacciones de Maillard, caramelización y liberación de compuestos aromáticos; en el torrado, se añade el azúcar en esta etapa.
3. **Fase final y enfriamiento:** al alcanzar la temperatura objetivo, se enfría rápidamente para detener las reacciones químicas y estabilizar el perfil sensorial del café (Illy & Viani, 2005).

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO

4. Diagnóstico de la empresa

4.1 Proceso productivo del café torrado

El proceso productivo del café torrado abarca una serie de etapas secuenciales que inician con la recepción del café pergamino una forma semielaborada del grano de café y concluyen con el almacenamiento del producto terminado, ya envasado y listo para su comercialización.

Este proceso incluye también procedimientos modernos de envasado y conservación que permiten prolongar la vida útil del café sin comprometer su calidad. Cada etapa desempeña un papel fundamental en la obtención de un producto homogéneo, sabroso y competitivo en el mercado.

Figura 6

Flujograma

Responsable	Materiales/Insumos	Proceso	Maquinaria/Equipo
Jefe de producción	Café pergamino, azúcar, sal	Inicio ↓ Recepción y pesado de materia prima	Báscula digital
Operador 1	Café pergamino	↓ Selección e inspección de grano	Tamiz de malla
Operador 2	Café pergamino	↓ Almacenado	
Operador 2	Café pergamino, cascarilla, sal	↓ Pesado	Báscula digital
Operador 1	Café pergamino, cascarilla, sal	↓ Tostado	Horno industrial
Operador 1 y 2	Café tostado, azúcar	↓ Torrado	Horno industrial
Operador 1 y 2	Café torrado	↓ Enfriado	Ventilador de mesa
Operador 1 y 2	Café torrado	↓ Triturado manual	Palas
Operador 1	Café torrado	↓ Envasado al vacío	
Operador 3	Café torrado	↓ Molienda	Molino de piedra volcánica
Operador 3	Café molido	↓ Enfriado	
Operador 3	Café molido	↓ Envasado automático	Envasadora automática
Operador 3	Producto terminado	↓ Almacenado Fin	

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

4.2 Descripción por etapas del proceso productivo del café torrado

A continuación, se presenta una tabla resumen que sintetiza las principales etapas del proceso productivo del café torrado de la empresa *El Criollito*.

El proceso productivo completo, ampliamente detallado y acompañado de imágenes descriptivas, se encuentra disponible en el **Anexo B.2**, donde se profundiza en cada etapa con mayor especificidad técnica y visual.

Tabla 3

Descripción por etapas

Etapas	Descripción resumida	Objetivo principal	Observaciones clave
1. Recepción y pesado	Recepción de café pergamino y azúcar; primer pesaje por lote.	Registrar entradas y comenzar trazabilidad.	Grano llega desde Yungas; manipulación para evitar lesiones.
2. Selección e inspección	Secado en terraza, tamizado y selección manual en mesas.	Eliminar impurezas y granos defectuosos.	Proceso manual; puede tomar horas/días según humedad.
3. Almacenado	Sacos de yute sobre tarimas en área ventilada y protegida.	Mantener humedad y evitar contaminantes.	Sin control de humedad (riesgo de hongos).
4. Pesado previo al torrado	Pesaje: café, azúcar y cáscaras.	Mezcla y recetas por lote uniformes.	Balanza digital calibrada; uso artesanal de cáscaras.
5. Tostado	Tostado en tambor a gas con aporte de leña; control manual del maestro.	Desarrollar perfil aromático y color del grano.	No automatizado; dependencia de experiencia sensorial.
6. Torrado	Reintroducción de azúcar y cáscara;	Formar recubrimiento de	Control crítico de temperatura;

	caramelización en tambor.	caramelo y textura crujiente.	evitar quemado del azúcar.
7. Vaciado y enfriado	Vaciado del tambor; esparcido en capas delgadas para enfriamiento natural.	Detener cocción y conservar recubrimiento.	Uso de ventilación natural; inspección para separar defectos.
8. Triturado manual	Fragmentación con compactador manual para reducir dureza.	Proteger molino y facilitar molienda.	~50 min; proceso físico que genera fatiga.
9. Envasado al vacío	Almacenamiento sin moler en sacos de yute forrados.	Preservar frescura hasta molienda final.	Evitar compactación; rotulado con fecha y lote.
10. Molienda	Molino de piedras tradicional para obtener granulometría adecuada.	Obtener molienda homogénea sin sobrecalear.	Regulación manual de alimentación; variedad según pedido.
11. Enfriado (post-molienda)	Disipación del calor por 30 min en capas delgadas, área ventilada.	Evitar condensación en envases y pérdida aromática.	Espacio protegido de humedad/sol; control de tiempo.
12. Envasado automático	Envasadora automática ALM 250-T con bolsas trilaminadas (50/100/250 g).	Sellado hermético para protección sensorial y trazabilidad.	Etiquetado con lote y fechas; cambio de dosificación complejo.
13. Empaquetado en bolsa de cristal	Agrupado de envases en bolsas de cristal para punto de venta.	Mejor presentación y protección adicional en transporte.	Empaques por 5/10 unidades según distribución.
14. Almacenado producto terminado	Almacén seco y fresco; sistema PEPS para rotación de stock.	Mantener calidad en inventario y gestionar vencimientos.	Preparación y despacho a puntos de venta; control de lotes.

Fuente: Empresa “El criollito”

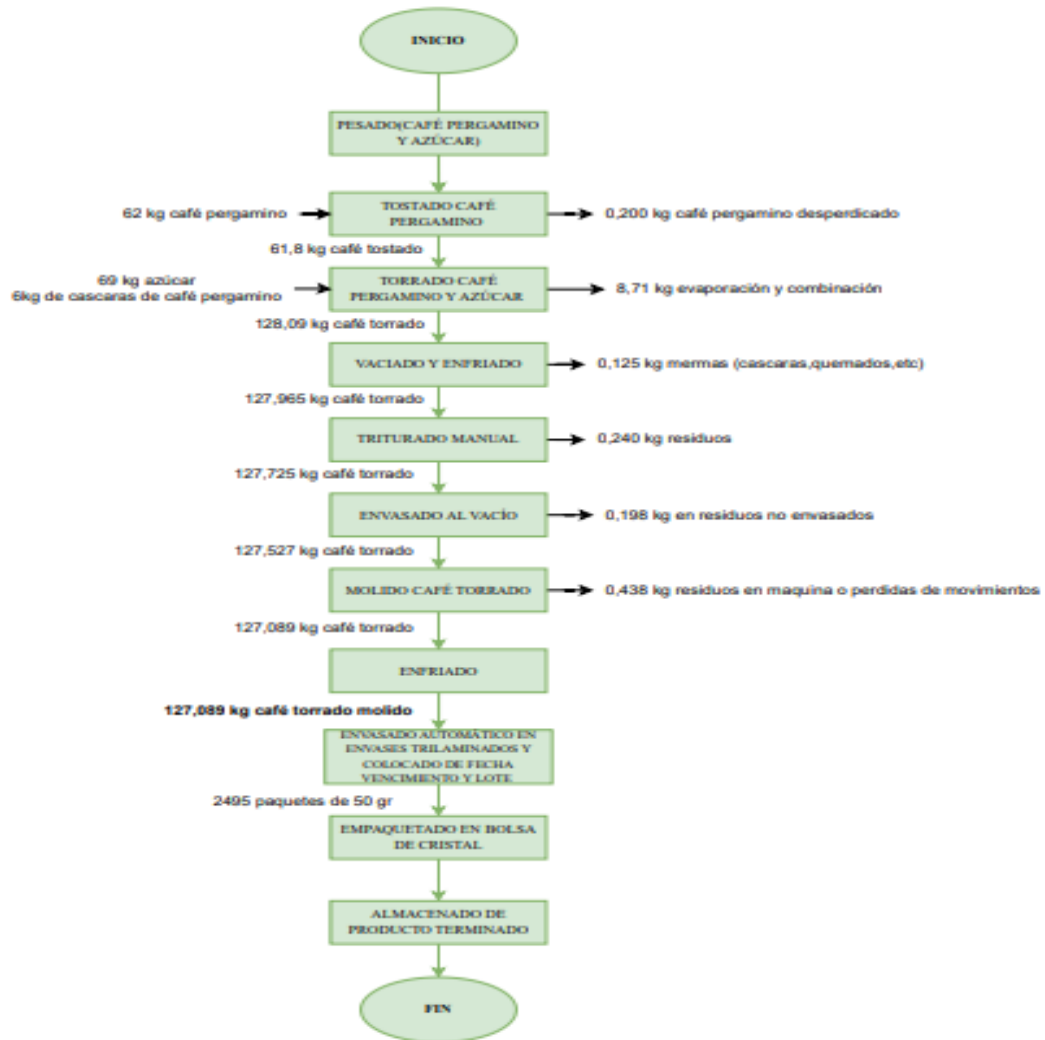
Elaboración propia

4.3 Balance masico general del café torrado

En la siguiente figura se ve el diagrama masico de la elaboración del café torrado en la empresa El criollito

Figura 7

Diagrama masico del café torrado



Fuente: Empresa “El criollito”

Elaboración propia

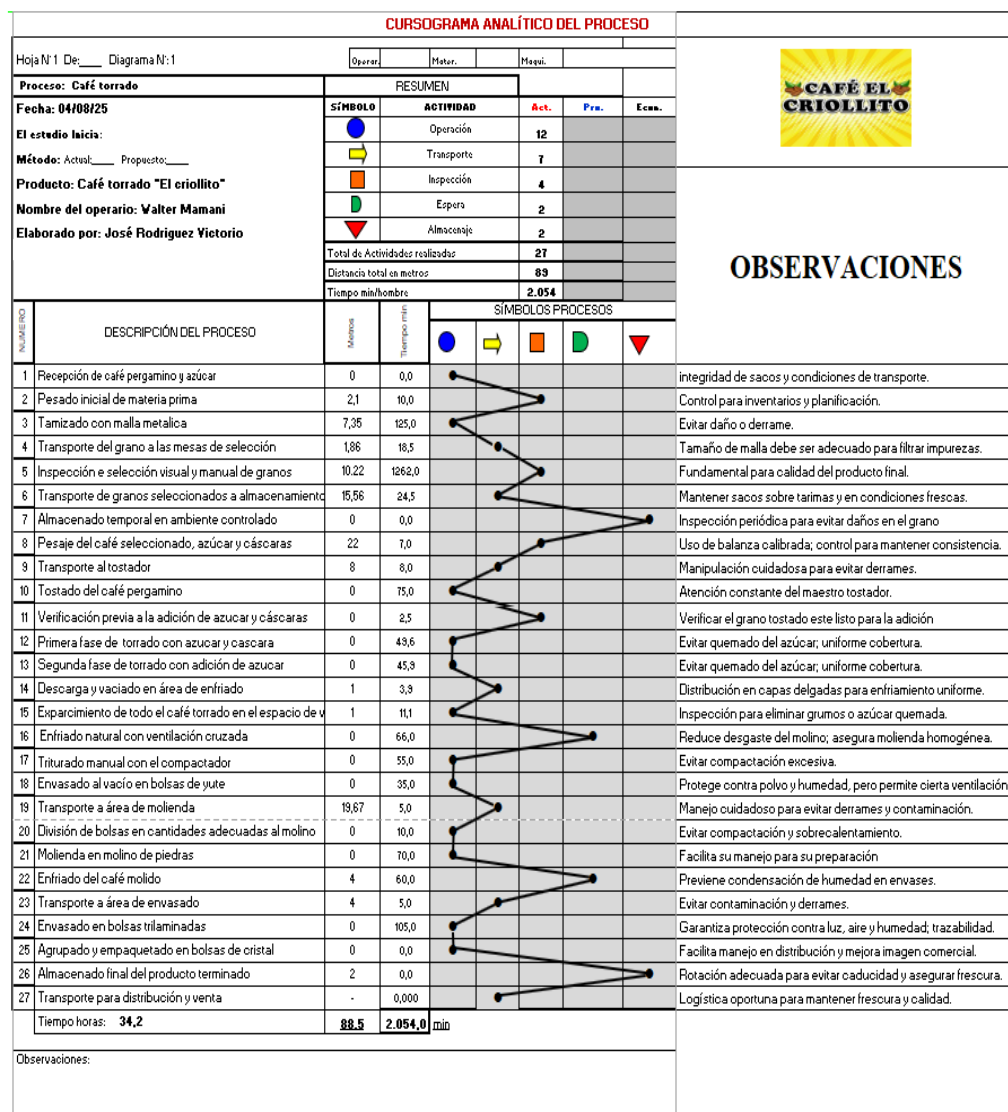
Como se observa en la figura 19 se muestra que salen un total de 2495 paquetes de 50 gramos, esto también puede variar debido a que hay otras presentaciones del producto.

4.4 Cursograma analítico del proceso productivo del café torrado

Este cursograma proporciona una representación gráfica detallada de las actividades y puntos críticos en la producción del café, permitiendo identificar cuellos de botella y áreas que requieren intervención para mejorar la eficiencia y la calidad

Figura 8

Proceso productivo del café torrado en la empresa “El Criollito”



Fuente: Empresa “El criollito”

Elaboración: Propia

Como se observa en el cursograma del café torrado en la empresa "El Criollito" detalla cada etapa del lote 1 tomado en cuenta en este proyecto, desde la recepción de la materia prima hasta el transporte para distribución y venta. El proceso total dura 34.2 horas y se compone de 27 actividades clave. Las etapas más intensivas en tiempo son la inspección manual de los granos (1262 minutos) y el tostado/torrado (75 minutos). Se toma en cuenta que varias de estas actividades son realizadas en distintos días o jornadas laborales, sin considerar actividades adicionales como limpieza u otros procedimientos complementarios.

4.5 Análisis del grano pergamino y el café torrado

4.5.1 Descripción del producto y condiciones de elaboración

El café torrado de la empresa El Criollito, en Tarija, Bolivia, es un producto artesanal con intenso aroma, textura crujiente, brillo y sabor dulce con matices ahumados. Su identidad única se logra mediante técnicas tradicionales y un control sensorial realizado por operarios con experiencia, diferenciándolo de los cafés industriales.

Cada lote analizado se elaboró a partir de una mezcla total de 135 kg, con la siguiente composición:

Tabla 4

Composición de cada lote de café torrado

Insumo	Descripción
Café pergamino seleccionado	Materia prima principal con contenido de humedad controlado entre 10–12%, conforme a estándares de calidad para el tostado con un peso de 62 kg de café pergamino
Azúcar refinada	Aproximadamente 69 kg por lote (50% del peso total). De calidad alimentaria, utilizada para potenciar el dulzor y generar una caramelización superficial homogénea.
Cáscara de café seca	Entre 2-4 kg por lote (2–5% del peso total). Seleccionada manualmente, secada y almacenada en condiciones óptimas. Empleada como potenciador aromático y para intensificar el color oscuro característico del producto.

Fuente: Empresa "El Criollito"

Elaboración propia

Las condiciones bajo las cuales se elaboraron los lotes evaluados son detalladas en una tabla la cual se encuentra en el **Anexo B.3**

4.5.2 Registro de valores obtenidos por lote

4.5.2.1 Café pergamino

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de las diferentes muestras llevadas al laboratorio para su análisis del café pergamino.

Tabla 5

Resultados analizados del café pergamino

Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	Rango de referencia
Humedad (%)	11,25	10,3	13,5	11,68	10,0 – 12,0 (%) (óptimo para almacenamiento: 10–12 %)
Color	Amarillo claro ligero	Amarillo claro ligero	Amarillo claro ligero	-	Amarillo pajizo / dorado claro
Azúcares Totales (%)	2,72	1,8	3,5	2,67	6 – 9 (%)

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Ahora veremos los resultados obtenidos tras un análisis del perfil del café pergamino en la siguiente tabla:

Tabla 6

Resultados del perfil del café pergamino

Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	Rango de referencia
Defectos físicos (%)	2	1,5	3	2,17	0 – 5 (%) (≤ 3 % bueno)
Aroma (puntuación)	7,5	7	6,5	7	6 – 9 (bueno a muy bueno)
Textura (puntuación)	7,8	7,2	6,9	7,3	6 – 9 (bueno a muy bueno)

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Interpretación

En conjunto, los resultados indican que el café pergamino de los tres lotes presenta características aceptables y estables, aunque se recomienda revisar las condiciones de secado, selección y almacenamiento del Lote 3 para evitar afectaciones en la calidad sensorial y prolongar su vida útil.

4.5.2.2 Café torrado

Ahora veremos en esta sección se presentan los resultados obtenidos de las diferentes muestras llevadas al laboratorio para su análisis del café torrado

Tabla 7

Resultados analizados del café torrado

Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	Rango de referencia
Humedad (%)	1,82	2,6	3,1	2,51	2,5 – 3,5 (%) (óptimo para almacenamiento del café torrado)
Color	Marrón medio brillante	Marrón oscuro uniforme	Marrón oscuro brillante	-	Marrón medio a oscuro, con brillo característico por el azúcar caramelizado
Azúcares totales (%)	7,25	8,72	7,9	7,95	8 – 12 (%)

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Tabla 8*Resultado del perfil del café torrado*

Parámetro	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio	Rango de referencia
Defectos físicos (%)	0,8	1,2	1	1	0 – 2 (%) (producto homogéneo y bien torrado)
Aroma (puntuación)	8,5	8,2	8	8,2	7 – 9 (intenso, notas a caramelo y tostado)
Textura (puntuación)	7,5	7,2	7	7,2	6 – 9 (suave, sin grumos ni exceso de aceite)

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Interpretación

En conjunto, los resultados indican que el café torrado de los tres lotes presenta características aceptables y estables, aunque se recomienda revisar la uniformidad del torrado y el punto de adición de azúcar para asegurar un brillo y dulzor más consistentes entre los lotes.

4.5.3 Análisis de variabilidad entre muestras

La evaluación de la variabilidad entre los lotes de café torrado y pergamino es esencial para identificar inconsistencias que puedan comprometer la calidad final del producto. En este análisis se consideraron parámetros físico-químicos y sensoriales, calculando desviaciones estándar y rangos con el fin de determinar la magnitud de las diferencias y sus causas probables. Los resultados permiten detectar puntos críticos del proceso artesanal que requieren ajustes o estandarización, contribuyendo al objetivo general del proyecto de mejorar la uniformidad, calidad y eficiencia operativa.

4.5.3.1 Café pergamino

Tabla 9

Variabilidad en el café pergamino

Parámetro	Datos por lote	Análisis general
Humedad (%)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 11,25 % – L2: 10,3 % – L3: 13,5 % 	Los Lotes 1 y 2 se encuentran dentro del rango óptimo (10–12 %), garantizando buena estabilidad física y conservación del aroma. El Lote 3 está por encima del límite superior, lo que podría favorecer la reabsorción de humedad o el crecimiento de microorganismos si se almacena sin ventilación adecuada.
Azúcares totales (%)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 2,72 % – L2: 1,8 % – L3: 3,5 % 	Todos los lotes están por debajo del rango esperado (6–9 %), indicando pérdida parcial de dulzor natural o afectación por diferencias en el secado y manejo postcosecha.
Defectos físicos (%)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 2 % – L2: 1,5 % – L3: 3 % 	Promedio 2,17 %, cumpliendo con los estándares (<3 %), mostrando un buen control de calidad y clasificación efectiva de los granos.
Aroma (puntuación)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 7,5 – L2: 7 – L3: 6,5 	Promedio 7, consistente con café de buena calidad comercial. El Lote 3, con mayor humedad, muestra una ligera disminución en la percepción aromática.
Textura (puntuación)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 7,8 – L2: 7,2 – L3: 6,9 	Promedio 7,3. Textura agradable y uniforme, con el Lote 3 ligeramente más blando debido a la mayor humedad.

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

4.5.3.2 Café torrado

Tabla 10

Variabilidad en el café torrado

Parámetro	Datos por lote	Análisis general
Humedad (%)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 1,82 % – L2: 2,6 % – L3: 3,1 % 	Los valores se encuentran en su mayoría dentro del rango óptimo (2,5–3,5 %). El Lote 1 muestra un café más seco, posiblemente por un torrado más intenso, mientras que el Lote 3 conserva más humedad, lo que podría afectar ligeramente la textura y aroma.
Azúcares totales (%)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 7,25 % – L2: 8,72 % – L3: 7,9 % 	Los Lotes 1 y 3 se encuentran levemente por debajo del rango óptimo (8–12 %), lo que sugiere una caramelización más avanzada y menor dulzor. El Lote 2 mantiene un nivel adecuado, reflejando un balance ideal entre sabor dulce y color.
Defectos físicos (%)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 0,8 % – L2: 1,2 % – L3: 1,0 % 	Los tres lotes cumplen con los estándares de calidad (<2 %), evidenciando un buen control del proceso y manipulación post-torrado. La homogeneidad visual es adecuada.
Aroma (puntuación)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 8,5 – L2: 8,2 – L3: 8,0 	Todos los lotes presentan aromas intensos con notas a caramelo y tostado. El Lote 3 muestra una leve disminución asociada a su mayor humedad.
Textura (puntuación)	<ul style="list-style-type: none"> – L1: 7,5 – L2: 7,2 – L3: 7,0 	La textura es suave y sin grumos en general. El Lote 1, con menor humedad, presenta una sensación más seca y crocante; el Lote 3, más húmedo, una textura algo más aceitosa.

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

4.6 Tiempos por etapa del proceso productivo y por lotes

4.6.1 Condiciones bajo las que se tomaron los tiempos

Para asegurar que los datos obtenidos fueran representativos de la realidad operativa y constituyeran una base confiable para el análisis, las mediciones de tiempos se realizaron bajo condiciones controladas y siguiendo estrictamente el flujo de trabajo habitual del producto Café El Criollito. Se consideraron factores ambientales, operativos y de recursos humanos con el objetivo de minimizar la influencia de variables externas y garantizar que los resultados reflejaran el desempeño real de la planta en condiciones normales de producción.

Las condiciones registradas durante el estudio se presentan en la tabla correspondiente, y su detalle ampliado puede consultarse en el **Anexo B.1**, donde se describen de manera específica los parámetros observados durante las mediciones.

4.6.2 Registro de tiempos por actividad y lote

Como parte de la fase diagnóstica del estudio, se procedió a registrar de forma sistemática la duración de cada etapa del proceso productivo en tres lotes consecutivos de café. Este registro tuvo como objetivo identificar el tiempo real que demanda cada actividad en las condiciones actuales de trabajo, antes de aplicar cualquier ajuste o procedimiento de estandarización.

Las mediciones se efectuaron siguiendo el método de trabajo habitual de Café El Criollito, respetando el orden natural de las operaciones y sin introducir modificaciones en la forma de ejecución. Se incluyeron tanto actividades productivas directas (tostado, torrado, molienda y envasado) como actividades de apoyo (almacenado, pesado, enfriado y empaquetado), a fin de contar con una visión integral del tiempo total de producción por lote.

En la siguiente tabla se presentan los tiempos observados para cada etapa y lote, junto con el promedio obtenido, el cual servirá como referencia para el análisis posterior y la determinación de los tiempos estándar en una fase subsiguiente del proyecto.

Tabla 11*Datos de tiempo por etapas y lotes*

N°	Etapas del proceso	Lote 1 (min)	Lote 2 (min)	Lote 3 (min)	Promedio observado (min)	Observaciones
1	Recepción y pesado de materia prima	-	-	-	-	El tiempo es indefinido por motivos externos
2	Selección e inspección de grano	1440	1560	900	1300	El tiempo es muy variado, en la selección esta es muy variada y en grandes cantidades con referencia a la inspección tienen que cumplir con estándares de humedad.
3	Almacenado temporal	-	-	-	-	Estos pueden estar tiempos indefinidos almacenados ya que se trae grandes cantidades de materia prima
4	Pesado previo (café, azúcar y cáscara)	15	19	17	17	A pesar que cuentan con medidas exactas los tiempos tiene pequeñas diferencias según el operador.
5	Tostado	75	70	81	75,33	El tostado del grano varía por condiciones de la tostadora o del grano
6	Torrado	98	84	88	90	Este proceso puede variar por las condiciones del grano, el fuego y criterios de operador
7	Vaciado	15	9	12	12	Proceso corto y efectivo según cantidad de operarios.
7	Enfriado	66	55	58	59,67	Proceso un poco tardío ya que se usa ventilación natural

8	Triturado manual	55	50	48	51	Proceso manual que varía según técnicas y operarios.
9	Envasado al vacío (café triturado)	35	28	15	26	Proceso manual que varía según técnicas y operarios.
10	Molienda del café torrado	85	95	90	90	En este proceso se demora por esperas de la molienda por sobrecalentamiento y puede variar según cantidades (35kilos)
11	Enfriado del café molido	60	80	90	76,67	Este proceso vario considerablemente según la necesidad de la demanda del café y el lugar de enfriamiento.
12	Envasado final	110	93	135	112,67	Este proceso varía según las cantidades de café que se envasan
13	Empaquetado	-	-	-	-	Este proceso varía según las cantidades de café que se empaquetan y lo realizan las tiendas
14	Almacenado de producto terminado	-	-	-	-	
Total, por lote (min)		2.054	2.143	1.534	1.910,34	Varias de las actividades no siguen un orden lineal es decir que se pueden realizar simultáneamente
Total, min previo al tostado		1.440	1.560	900	1.300	Netamente inspección y selección
Total, min tostado		359	315	319	331	Hay actividades que se hacen simultáneamente pero ya en otro lote
Total, min envasado		255	268	315	279,34	Variaciones según cantidades

Fuente: Empresa “El criollito”

Elaboración: Propia

4.5.3 Identificación de variaciones entre lotes

A continuación, se presenta una síntesis de las principales variaciones identificadas entre los tres lotes analizados durante la fase de cronometraje. La tabla resume las diferencias observadas en las etapas críticas del proceso productivo, destacando sus causas, impactos operativos y las oportunidades de mejora.

Tabla 12

Identificación de variables

Etapa del proceso	Variaciones identificadas entre lotes	Causas principales	Impacto en la eficiencia	Recomendaciones de mejora
Selección e inspección de grano	Lote 1 y 2 con tiempos superiores (1440 y 1560 min vs 1300 min promedio). Lote 3 con menor tiempo por control menos estricto.	Variabilidad en la calidad del grano; presencia de impurezas y defectos; cantidad menor procesada en Lote 3.	Afecta la consistencia del flujo productivo; incrementa tiempos por retrabajo.	Implementar controles de calidad en recepción; establecer cantidad estándar de grano a seleccionar.
Tostado y torrado	Variación de ± 10 minutos entre lotes.	Inconsistencia del combustible (leña); variaciones en la humedad del grano.	Afecta la productividad y la calidad final; genera riesgo operativo.	Regular humedad del grano; mejorar control de combustión; evaluar sistemas de monitoreo del proceso.

Triturado manual	Diferencias del 7,27% en tiempos entre lotes.	Variabilidad en la dureza del recubrimiento o caramelizado.	Mayor esfuerzo físico y variabilidad en productividad.	Estandarizar grado de caramelización; evaluar herramientas auxiliares para triturado.
Enfriado del molido y del torrado	Variaciones de hasta 17,39% (molido) y 10,61% (torrado).	Condiciones ambientales no controladas (temperatura y ventilación).	Afecta uniformidad del producto y tiempos operativos.	Implementar sistema de enfriamiento controlado; mejorar acondicionamiento del ambiente.

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: Propia

4.6.3 Detección de tareas con mayor duración o irregularidad

A continuación, se presenta un resumen de las tareas críticas del proceso productivo que presentan mayor duración e irregularidad. La tabla identifica los tiempos estándar, las causas de variabilidad y su impacto en la eficiencia operativa, permitiendo focalizar esfuerzos de estandarización en los puntos que representan los principales cuellos de botella.

Tabla 13

Etapas con mayor duración de tiempo

Etapas del proceso	Tiempo promedio	% del tiempo total	Causas de mayor duración / irregularidad	Impacto en el proceso
Tostado y Torrado	75 min (Tostado) / 90 min (Torrado)	22,65% y 27,19% del tiempo de tostado.	Carácter artesanal; necesidad de mantener temperatura manualmente; variabilidad en combustión y flujo de calor	Mayor consumo de tiempo; irregularidad en uniformidad del producto
Selección	1569 min	—	Dependencia de habilidad visual del	Riesgo de pasar por alto granos

inspección de grano			operario; fatiga visual; variaciones en humedad del grano	defectuosos; alta variabilidad en velocidad de trabajo
Triturado manual	61 min	15,4% del tiempo de tostado	Esfuerzo físico elevado; dureza del caramelo; resistencia y habilidad del operario	Cuello de botella; retrasa molienda especialmente en jornadas de múltiples lotes
Enfriado después de tostar y del café molido	73 min (post-torrado) / 92 min (molido)	17,82% del tiempo de tostado y 32,9% del tiempo de envasado	Condiciones ambientales (temperatura y ventilación); ausencia de enfriamiento mecánico	Posibles retrasos en días calurosos o húmedos; variabilidad en uniformidad del producto

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: Propia

4.7 Análisis de los niveles de humedad por área

4.7.1 Resultados obtenidos por zona de trabajo

El registro de la humedad relativa (HR) en las distintas zonas de la planta es un paso fundamental para comprender cómo las condiciones ambientales influyen en el proceso de elaboración del café torrado. La humedad, junto con la temperatura, puede afectar la calidad final del producto, desde la recepción del grano hasta su almacenamiento. Para este análisis se identificaron seis zonas principales según el *lay out* de la planta (Figura 3), registrando valores estimados en una jornada típica de producción. Y un análisis individual de cada zona de trabajo la podemos observar en el **Anexo B.4**

Tabla 14*Niveles de humedad relativa por zona de trabajo*

Zona de trabajo	Descripción	Humedad relativa (%)	Rango HR sugeridos (%)	T (°C)	Observaciones
Recepción de materia prima	Área de pesado y selección inicial de café pergamino.	44	50-60	20	Influenciada por puertas abiertas.
Almacenamiento temporal	Espacio para sacos de yute con grano seleccionado, sobre tarimas.	49	40-50	18	Condiciones relativamente estables, pero sin monitoreo continuo; variación por ventilación natural.
Tostado y torrado	Área con tostadora de tambor; sensible a cambios climáticos.	55	40-50	22	Picos de humedad durante el proceso térmico; aumento por vapor liberado.
Vaciado y enfriado	Superficie de suelo para esparcir granos calientes.	55	45-55	21	Alta HR por calor residual y ventilación cruzada insuficiente.
Molienda	Zona con molino de piedra volcánica.	58	45-55	17	Humedad moderada; la fricción del molino puede incrementar la temperatura y humedad local.
Envasado y almacenamiento final	Área con envasadora automática y depósito de producto terminado.	57	40-50	17	Condiciones más controladas; envases sellados ayudan a mantener HR baja.

Fuente: Empresa “El Criollito”

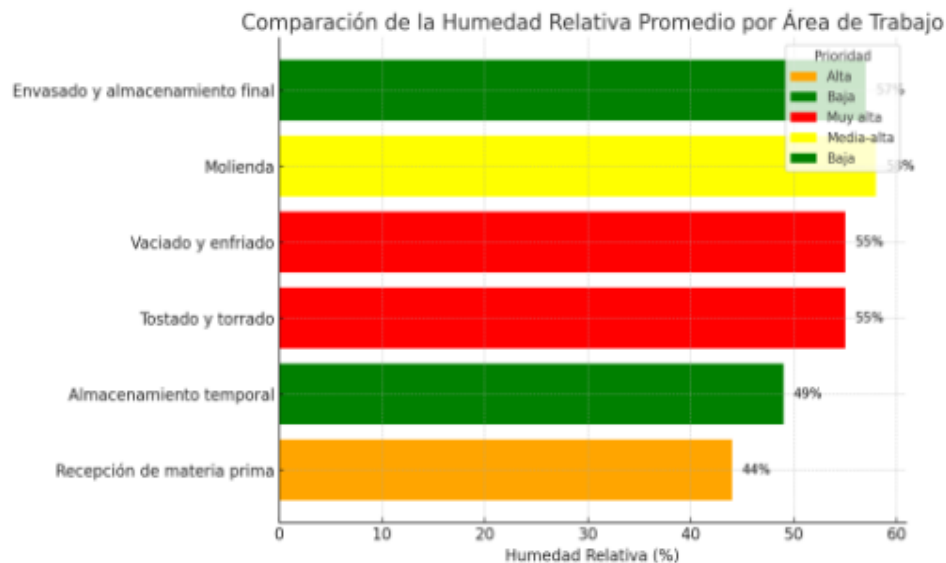
Elaboración: Propia

Interpretación

- **Recepción de materia prima:** La humedad relativa (44 %) está ligeramente por debajo del rango recomendado (50-60 %), lo que puede afectar la conservación inicial del café. La temperatura es adecuada, pero la apertura de puertas genera variaciones.
- **Almacenamiento temporal:** Humedad algo elevada (49 %) pero dentro del rango sugerido (40-50 %). La ventilación natural causa ligeras fluctuaciones; no hay monitoreo continuo.
- **Tostado y torrado:** Humedad alta (55 %) por el vapor generado durante el proceso; supera el rango recomendado (40-50 %). La temperatura (22 °C) es moderada. Requiere control más estricto para evitar afectaciones al producto.
- **Vaciado y enfriado:** Humedad alta (55 %) debido al calor residual y ventilación insuficiente; temperatura de 21 °C. Puede afectar la calidad si no se ventila correctamente.
- **Molienda:** Humedad (58 %) y temperatura (17 °C) dentro de límites aceptables, aunque la fricción del molino puede generar aumentos locales momentáneos.
- **Envasado y almacenamiento final:** Humedad (57 %) ligeramente alta respecto al rango (40-50 %), pero los envases sellados ayudan a mantener la calidad; temperatura estable (17 °C).

Figura 9

Comparación de humedad relativa y nivel de prioridad



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: Propia

Nota: Áreas comunes como el tostado, torrado, vaciado y enfriado presentan una alta prioridad.

4.8 Registro y control de temperaturas del proceso productivo del café torrado

4.8.1 Formas de control térmico utilizadas

En El Criollito, empresa artesanal dedicada a la producción de café torrado, el control térmico no se realiza con sistemas automatizados ni instrumentación digital. En su lugar, se emplean métodos manuales y empíricos, altamente dependientes de la experiencia del maestro tostador.

A continuación, se presentan las principales formas de control térmico identificadas en la planta:

Tabla 15*Formas de control térmico identificadas*

Forma de control	Descripción	Indicadores utilizados	Limitación
Monitoreo visual y sensorial del operario	El maestro tostador ajusta el fuego y el tiempo de exposición del grano según su percepción.	- Color del grano - Aroma desprendido	No existen herramientas de medición precisa de temperatura.
Ajuste manual del fuego en tostador a gas	Regulación manual del flujo de gas para controlar la intensidad del fuego.	Observación directa del calor	Cualquier fluctuación en el gas afecta directamente la temperatura interna.
Ajuste manual del fuego en tostador a leña	Control manual de la cantidad y disposición de leña según el tipo de madera utilizada.	Percepción del calor generado.	Variabilidad por el tipo de leña y cantidad agregada.
Enfriado manual	Los granos se esparcen en el suelo de la planta para enfriarse naturalmente.	Sensación táctil y tiempo de exposición al aire.	Enfriado inconsistente al no controlar temperatura ni flujo de aire.
Registro de temperatura	No existen registros documentales ni sistemas de monitoreo.	—	No hay datos históricos de temperatura para análisis y mejora.

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: propia

4.8.2 Rango de temperaturas en la tostadora

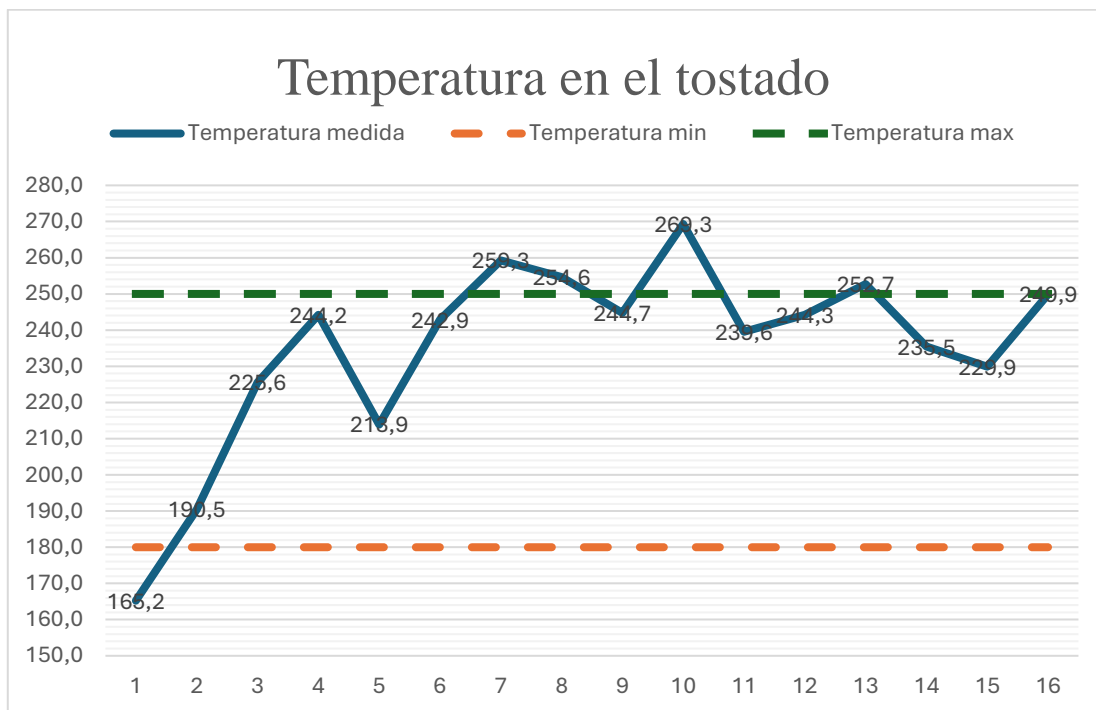
Las temperaturas en las distintas etapas del proceso de tostado del café son cruciales para garantizar un resultado final óptimo. Se describirán los rangos estimados de temperaturas en la etapa de tostado y torrado

4.8.2.1 Temperaturas en la etapa de tostado

El tostado del café constituye una etapa fundamental en la cual el grano de café pergamino se transforma en un producto con características aromáticas y de sabor complejas. Este cambio se logra mediante la aplicación controlada de calor, que activa diversas reacciones físicas y químicas responsables del desarrollo del perfil sensorial del café. Para el presente estudio, las mediciones de temperatura se realizaron en intervalos de 5 minutos de un solo lote, registrando valores estimados que permiten una mejor comprensión y análisis del comportamiento térmico durante el proceso. (Ver **Anexo B.8**)

Figura 10

Temperaturas en la etapa de tostado



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: Propia

La imagen muestra que, durante el proceso de tostado del café, la temperatura medida varía entre 165,2°C y 269,3°C, con fluctuaciones fuera del rango esperado de 180°C a 250°C, especialmente en momentos donde se añaden leña o se ajusta el fuego. Aunque

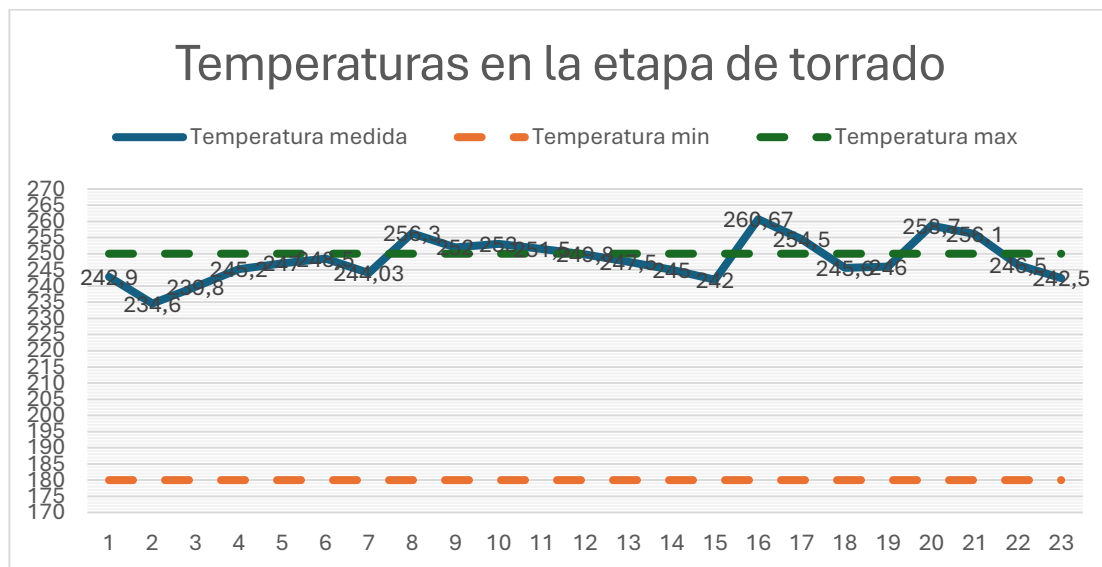
la temperatura se mantiene mayormente dentro de los parámetros deseados, los picos en ciertos puntos del proceso, como en el minuto 45, indican que el control manual del fuego, aunque necesario en el proceso artesanal, podría ser más consistente. Estas variaciones sugieren que un sistema de monitoreo más preciso o automatizado sería útil para mejorar la uniformidad en el tostado y garantizar la calidad del producto final.

4.8.2.2 Temperaturas en la etapa de torrado

El torrado se diferencia del tostado por ser un proceso en el que el grano de café se combina con azúcar. El control térmico en esta fase resulta determinante para asegurar la correcta fusión y caramelización del azúcar sobre el grano, lo que aporta un sabor dulce, una textura crujiente y una mayor vida útil al producto. Para un adecuado seguimiento del proceso, las mediciones de temperatura se realizaron en intervalos de minutos según las labores del operario y la tostadora en un solo lote designado, permitiendo registrar valores representativos y comprender con mayor precisión el comportamiento térmico. (Ver anexo B.9)

Figura 11

Temperatura en la etapa de torrado



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: Propia

La imagen muestra las fluctuaciones de temperatura durante el proceso de tostado, comenzando con una temperatura inicial de 242,9°C en el primer minuto y alcanzando picos que superan los 250°C, especialmente en momentos clave como la adición de azúcar y cáscara y el control del fuego. Se observan picos más altos de hasta 260,67°C hacia el minuto 57, debido a ajustes en la leña y la intervención manual del operario, lo que es común en procesos artesanales sin control automático de temperatura. A pesar de las fluctuaciones, la temperatura se mantiene dentro de un rango razonable en la mayoría de las mediciones, entre 180°C y 250°C, con algunos picos momentáneos que son inevitables en el control manual del fuego. Las observaciones indican que las intervenciones del operario, como la adición de leña y el control del fuego, son esenciales para mantener la temperatura y asegurar un tostado consistente.

4.8.3 Desviaciones térmicas observadas

Las desviaciones térmicas observadas en el proceso de tostado y torrado del café en la empresa el Criollito muestran fluctuaciones significativas en las temperaturas, lo que afecta tanto la calidad del producto final como la eficiencia operativa. Estas desviaciones las veremos en la siguiente tabla:

Tabla 16

Desviaciones térmicas

Proceso	Desviación observada	Magnitud de la desviación	Causas
Tostado	Temperatura supera el rango máximo	+10% (llega >250 °C)	Ajuste de fuego, adición de leña y descuidos del operador
Torrado	Temperatura supera parámetros mínimos y máximos	+40% sobre mínimo, +5% sobre máximo (picos ~260 °C)	Adición de azúcar y cáscara, control del fuego adición de leña y descuidos del operador
Torrado	Caída de temperatura	-10 a -15% (desciende <250 °C)	Inconsistencias manuales por proceso artesanal.

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: Propia

Causas de las desviaciones térmicas

- **Control manual del fuego:** El operario depende del ajuste manual de la leña y el gas, lo que introduce variabilidad debido a la dificultad para mantener una temperatura constante. Esto es una característica del proceso artesanal, donde no se dispone de sistemas automatizados.
- **Tipo de combustible (leña):** La leña es una fuente de calor variable, que puede generar fluctuaciones térmicas debido a factores como la humedad de la madera y la composición de la leña. El control de la cantidad y disposición de la leña no siempre es preciso, lo que puede llevar a picos de temperatura en momentos claves del proceso, como al añadir la segunda entrada de azúcar y cáscara o al ajustar el fuego.
- **Ausencia de equipos de monitoreo térmico:** El proceso no cuenta con sensores ni instrumentos de medición precisa, lo que limita la capacidad para detectar y corregir desviaciones térmicas en tiempo real.

Impacto de las desviaciones térmicas

- **Variabilidad en el sabor y aroma del café:** Las fluctuaciones térmicas pueden alterar la reacción de Maillard y la caramelización, afectando el sabor y el aroma del café. Un exceso de calor puede resultar en un café con sabores amargos o quemados, mientras que temperaturas insuficientes pueden no desarrollar adecuadamente los perfiles aromáticos y de sabor deseados.
- **Desviación en el color del grano:** Las temperaturas inconsistentes afectan el color del café. Un tueste irregular puede llevar a granos que no tengan el mismo tono, lo cual es un indicador visual importante de la calidad del café.
- **Reducción de la calidad sensorial:** La heterogeneidad en el tostado también genera problemas en la textura del grano, lo que puede afectar la percepción sensorial del café al momento de su consumo.

4.8.4 Ausencia de registro documentado y su impacto

La ausencia de un sistema de registro documentado de las temperaturas y otros parámetros operativos es otro factor crítico que afecta tanto la calidad como la eficiencia del proceso de tostado del café en El Criollito. Actualmente, el proceso depende de observaciones visuales y sensoriales del operario para ajustar el fuego y controlar la temperatura, lo que presenta diversas limitaciones. A continuación, veremos algunas de las posibles consecuencias que se pueden dar:

Tabla 17

Consecuencias e Impacto de la Ausencia de Registro Documentado en el Proceso del café torrado

Consecuencias	Impacto en el producto final	Descripción
Falta de trazabilidad del proceso	Inconsistencias en el perfil sensorial	La falta de registro de temperaturas y tiempos de operación dificulta la evaluación y seguimiento de cada lote, lo que puede generar variaciones en el sabor, aroma y textura del café, afectando la calidad del producto final.
Dificultad para realizar análisis de tendencias	Riesgo de incumplir normativas de calidad	La ausencia de datos históricos impide la identificación de patrones de variabilidad térmica y otros factores que afectan la calidad del café. Esto impide realizar ajustes para cumplir con los estándares de calidad y las regulaciones pertinentes.
Limitación en la mejora continua	Impacto en la optimización de procesos	La falta de documentación precisa impide identificar áreas de mejora en el proceso, dificultando las comparaciones entre lotes y limitando la capacidad de realizar mejoras operativas basadas en datos específicos.

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: Propia

4.9 Identificación y análisis de puntos críticos de control (PCC)

4.9.1 Etapas identificadas con riesgos

Para analizar todas estas etapas se realizó una Matriz de AMEF la cual se detalla a continuación

interpretación de riesgos

El AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla) es una herramienta que permite identificar, evaluar y priorizar riesgos en un proceso. Cada falla potencial se analiza según tres criterios:

1. **Severidad (S):** Impacto de la falla sobre la calidad, seguridad o eficiencia del proceso/producto.
 - Escala típica: 1 = sin impacto, 10 = falla crítica.
2. **Ocurrencia (O):** Probabilidad de que ocurra la falla.
 - Escala típica: 1 = muy improbable, 10 = muy frecuente.
3. **Detección (D):** Capacidad del sistema de control para detectar la falla antes de afectar al cliente o proceso.

Interpretación

- **Bajo (NPR <100):** No tenemos etapas con NPR bajo; estas serían operaciones con muy poca probabilidad de falla o alto control preventivo.
- **Medio (101–200):** Selección de grano y triturado manual. Estas etapas presentan cierta variabilidad, pero no afectan críticamente la calidad final.

- **Alto (201–400):** Tostado, torrado, enfriado y envasado. El NPR indica que estas etapas son críticas para la calidad y seguridad del producto, y requieren PCC con monitoreo estricto y protocolos estandarizados.

Tabla 18*MATRIZ AMEF*

Etapas del proceso	Riesgo principal	S	O	D	NPR	Clasificación	Justificación	Acción sugerida
Recepción y pesado de materia prima	Contaminación, pesadas inexactas	7	6	3	126	Medio	Falta de control preventivo mediante inspección y balanzas calibradas.	Inspección de limpieza y humedad de grano al momento de la recepción.
Selección e inspección de grano	Granos defectuosos, humedad alta	7	9	4	252	Alto	Variabilidad controlable pero fuera de escala	Capacitación del personal en inspección, uso de tablas de aceptación de granos, descarte de lotes no conformes.
Almacenado temporal	Reabsorción de humedad, contaminación	6	6	5	180	Medio	Buen control y limpieza evita impacto crítico.	Control de humedad relativa (HR) y limpieza periódica de bodegas.
Pesado previo	Error en proporciones de mezcla	6	5	3	90	Bajo	Desviaciones menores	Balanzas calibradas, uso de etiquetas de control de lotes y doble verificación del operario.
Tostado	Fluctuaciones térmicas, tostado desigual	9	7	5	315	Alto	Afecta aroma, color, sabor y tiempos	Monitoreo de temperatura, ajuste de flujo de leña/gas.

Torrado	Caramelización desigual, textura defectuosa	8	10	3	240	Alto	Variabilidad en azúcar y calor, generando pérdidas y reprocesos	Determinación de los puntos óptimos de adicción de azúcar.
Vaciado	Derrames, contaminación cruzada	6	6	4	144	Medio	Control preventivo suficiente necesidad de medidas de higiene y supervisión.	Protocolos de higiene, capacitación en manipulación y supervisión del operador.
Enfriado	Reabsorción de humedad, temperatura no uniforme y tiempos mal invertidos	8	7	4	224	Alto	HR afecta textura junto con el uso de ventilación natural	Incorporar ventiladores o extractores con control de caudal, control de los tiempos de enfriado con cronómetros industriales y uso de registros de humedad relativa y temperatura en cada lote para trazabilidad.
Triturado manual	Variación por dureza del caramelo, esfuerzo físico y tiempos excesivos	7	7	4	196	Medio	Riegos de daños ergonómicos	Estandarización de fuerza aplicada, capacitación del operario, uso de guías de triturado.
Envasado al vacío	Sellado defectuoso, ingreso de humedad	8	8	3	192	Medio	Riesgo moderado defectos por control visual.	Revisión visual de bolsas y mejoras en la trazabilidad.

Molienda	Variación de granulometría, sobrecalentamiento	7	7	4	196	Medio	PCP; ajustes de molino y control de tiempo de molienda.	Ajuste de molino, control de tiempo de molienda, medición periódica de granulometría y control de la humedad del área de molienda.
Enfriado del café molido	Humedad ambiental, aglomeración del café molido y retrasos para el envasado	7	6	5	210	Alto	Monitoreo preventivo de HR y ventilación adecuada.	Control de HR, ventilación adecuada para acelerar el proceso, monitoreo de temperatura y humedad del ambiente.
Envasado final	Defectos en sellado, ingreso de humedad	8	5	3	120	Bajo	Defectos de envasadora automática	Ajuste de trazabilidad y control de maquinaria.
Empaquetado	Rotura de bolsas, exposición a HR y luz	6	5	3	90	Bajo	Riesgo menor; control preventivo suficiente.	Inspección visual, almacenamiento protegido de luz y HR controlada, capacitación en manipulación.
Almacenado producto terminado	Reabsorción de humedad, contaminación	6	6	4	144	Medio	Monitoreo de condiciones ambientales.	Monitoreo de HR y temperatura, limpieza de bodega, inspección periódica de envases.

Fuente y elaboración: Propia

4.9.2 Selección de los puntos críticos de control

La identificación y selección de los Puntos Críticos de Control (PCC) constituye una etapa fundamental dentro del sistema de gestión de calidad e inocuidad, ya que permite determinar aquellas fases del proceso en las que es indispensable establecer límites de control y mecanismos de monitoreo para evitar que los riesgos detectados comprometan la calidad del producto final.

Este proceso de selección no solo delimita los PCC, sino que también orienta la aplicación de controles preventivos en aquellas etapas clasificadas como PCP (Puntos de Control Preventivo), lo que asegura un abordaje integral de todo el proceso productivo. En consecuencia, el presente análisis constituye la base técnica para el diseño de los planes de monitoreo, límites críticos y acciones correctivas que serán desarrollados en los apartados siguientes.

4.9.2.1 Diagrama de Pareto

Ahora para la selección de los puntos críticos a trabajar se va usar la herramienta del diagrama de Pareto. Su estructura se verá a continuación.

Tabla 19

Datos para el diagrama de Pareto

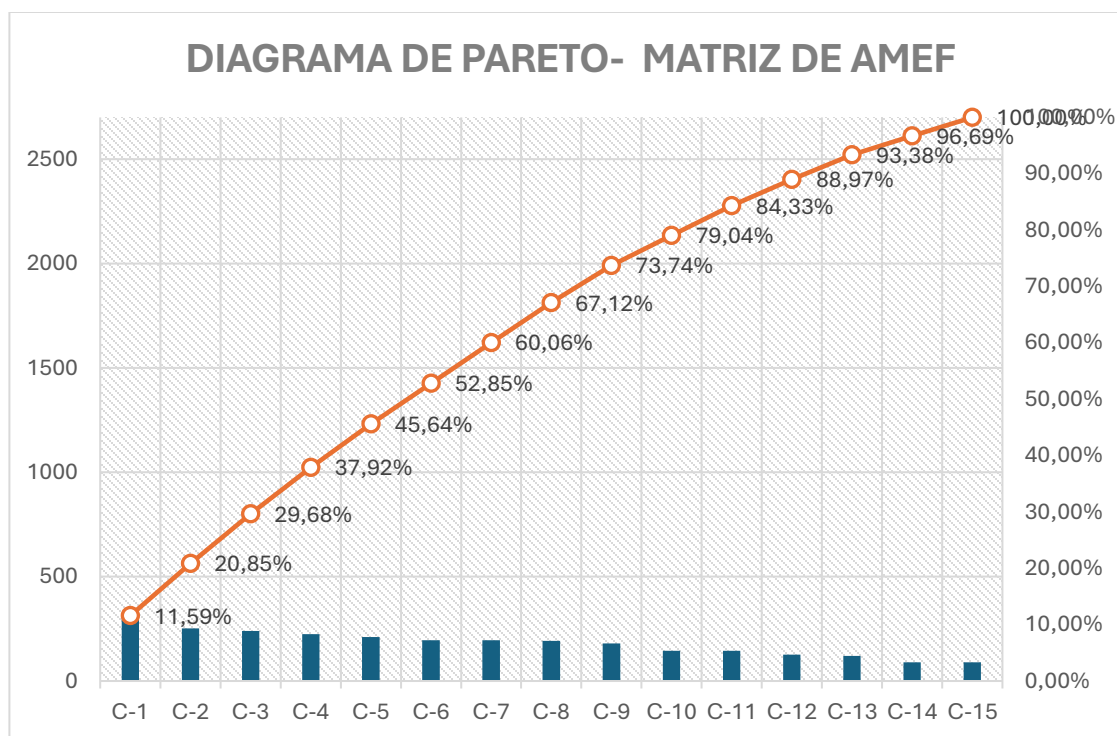
CAUSAS	Etapas del proceso	NPR	Porcentaje	Acumulado
C-1	Tostado	315	11,59%	11,59%
C-2	Selección e inspección de grano	252	9,27%	20,85%
C-3	Torrado	240	8,83%	29,68%
C-4	Enfriado	224	8,24%	37,92%
C-5	Enfriado del café molido	210	7,72%	45,64%
C-6	Molienda	196	7,21%	52,85%
C-7	Triturado manual	196	7,21%	60,06%
C-8	Envasado al vacío	192	7,06%	67,12%
C-9	Almacenado temporal	180	6,62%	73,74%

C-10	Vaciado	144	5,30%	79,04%
C-11	Almacenado producto terminado	144	5,30%	84,33%
C-12	Recepción y pesado de materia prima	126	4,63%	88,97%
C-13	Envasado final	120	4,41%	93,38%
C-14	Pesado previo	90	3,31%	96,69%
C-15	Empaquetado	90	3,31%	100,00%
	TOTAL	2719	100,00%	

Fuente y elaboración: Propia

Figura 12

Diagrama de Pareto



Fuente y elaboración: Propia

INTERPRETACIÓN

El Diagrama de Pareto permitió identificar las etapas del proceso de producción de café torrado que concentran la mayor proporción de riesgos de no conformidad. Los resultados muestran que las operaciones de Torrado (RPN = 240), Enfriado (RPN = 224), Tostado (RPN = 315), Selección (RPN=252) representan por sí solas aproximadamente el 38 % del total de los riesgos acumulados, confirmando que son las etapas más críticas del sistema productivo.

Al incorporar el Enfriado café molido (RPN =210) y la Molienda (RPN = 196), se alcanza un acumulado superior al 52 %, lo que evidencia que más de la mitad de las fallas potenciales se concentran en siete operaciones clave del proceso. Este resultado se alinea con el principio 80/20 de Pareto, el cual sostiene que un número reducido de causas genera la mayoría de los efectos.

Asimismo, el análisis muestra que el 80 % de los riesgos totales se encuentran en diez de las catorce etapas, siendo las operaciones de menor impacto aquellas relacionadas con Recepción y pesado, Empaquetado, y Almacenado temporal. Esto no significa que deban ignorarse, pero sí que su atención puede gestionarse mediante controles preventivos estándar en lugar de protocolos PCC.

En conclusión, el Pareto confirma la necesidad de enfocar los recursos de control y estandarización en las etapas de torrado, tostado, enfriado y envasado, ya que allí se genera la mayor probabilidad de variabilidad en la calidad sensorial y la inocuidad del producto. La priorización de estas operaciones permitirá reducir significativamente el índice de riesgo global y asegurar la confiabilidad del proceso.

4.9.2.2 Selección PCC y PCP

En el proceso de producción de café, la identificación de Puntos Críticos de Control (PCC) y Puntos de Control Preventivo (PCP) es fundamental para garantizar la seguridad y calidad del producto. Los PCC son etapas donde se deben aplicar controles estrictos para prevenir, eliminar o reducir riesgos significativos (biológicos, químicos o físicos) que puedan afectar la seguridad del producto. Los PCP, por otro lado, son

etapas donde se controlan aspectos relacionados con la calidad del producto, como el sabor, la consistencia o la presentación, pero que no son críticos para la seguridad.

Tabla 20

Selección PCC y PCP

Etapas del proceso	NPR	Clasificación	Observación
Tostado	315	PCC	Alto riesgo por desviaciones de temperatura, afectando color, aroma y desarrollo del grano.
Selección e inspección de grano	252	PCC	Variabilidad en la clasificación manual, pudiendo ingresar granos defectuosos al torrado.
Torrado	240	PCC	Etapas crítica por control térmico inestable que modifica sabor, humedad final y características sensoriales.
Vaciado y enfriado	224	PCC	Riesgo por enfriamiento irregular, generando sobrecocción o cambios bruscos en humedad.
Enfriado del café molido	210	PCP	Afectado por acumulación de calor que altera aroma y provoca condensación.
Molienda	196	PCP	Variaciones en granulometría que afectan extracción y calidad final.
Triturado manual	196	PCP	Variabilidad por dependencia del operador y riesgo de tamaños no uniformes.
Envasado al vacío	192	PCP	Posibles fallas en sellado o vacío, que reducen vida útil, pero sin impacto crítico inmediato.

Fuente y elaboración propia

4.9.3 Análisis de cada PCC identificado

El proceso de producción del café torrado involucra diversas etapas en las que pueden presentarse factores que afectan la calidad, eficiencia y seguridad del producto final. Para garantizar un proceso óptimo, es fundamental identificar y analizar los puntos críticos, es decir, aquellas fases en las que se pueden generar desviaciones que comprometan la estabilidad del producto, su inocuidad o su tiempo de elaboración. A continuación, se describen los principales puntos críticos detectados en el proceso productivo del café torrado, basados en el análisis de las etapas proporcionadas, sus valores NPR, porcentajes y clasificación como Puntos Críticos de Control (PCC).

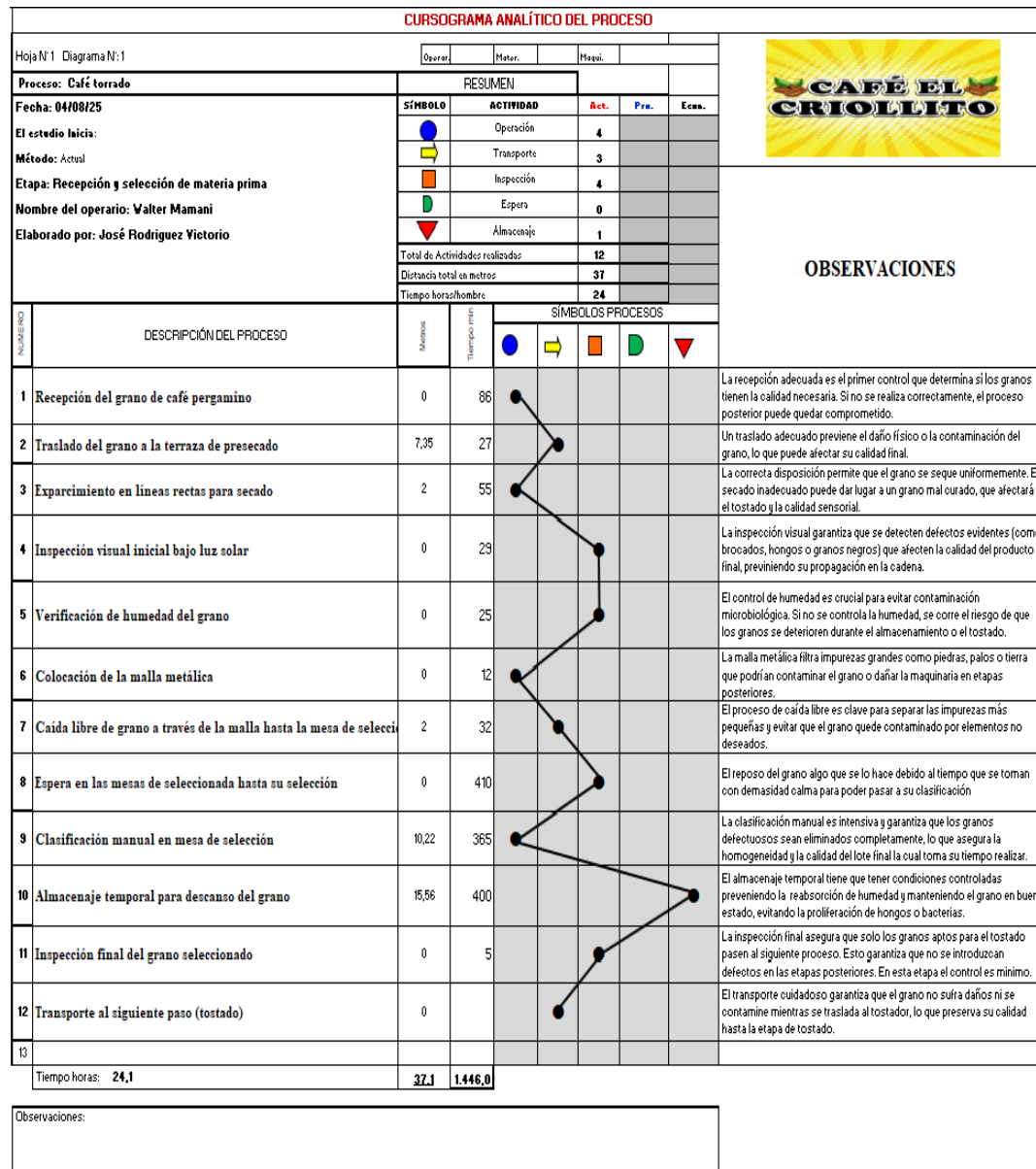
4.9.3.1 Selección e inspección del grano

La etapa de selección e inspección del café pergamino constituye el primer Punto Crítico de Control del proceso, ya que establece las condiciones iniciales que determinan la calidad, inocuidad y estabilidad del producto final. Los granos, provenientes principalmente de Los Yungas, se reciben y trasladan con equipos para proteger al operario y al producto. Se realiza un secado en terraza, permitiendo reducir humedad y efectuar una inspección visual para detectar granos defectuosos o cuerpos extraños. Posteriormente, la limpieza mecánica y la selección manual en mesas calibradas eliminan impurezas y fragmentos no deseados. Esta fase, intensiva en mano de obra, es crucial: cualquier error u omisión puede comprometer la calidad sensorial, la inocuidad y la aceptación del consumidor. Además, se controla la humedad del grano cercana al 12%, evitando riesgos microbiológicos o problemas en el tostado.

A continuación, veremos un cursograma analítico donde podremos ver el análisis más detallado de los tiempos y las distancias que se ocupan durante toda la realización de esta etapa.

Figura 13

Cursograma analítico del proceso de la recepción y selección de granos



Fuente: Empresa “El criollito”

Elaboración: Propia

4.9.3.2 Tostado

El proceso de tostado en El Criollito define las características sensoriales del café, como sabor, aroma, color y textura. Se realiza durante 70-80 minutos en un tostador rotatorio, utilizando gas para encendido inicial y leña como fuente principal de calor. Al ser un proceso artesanal, la combustión de la leña es variable, generando fluctuaciones de temperatura que requieren control constante.

El operario regula el tostado manualmente observando el color del humo, el comportamiento del fuego y extrayendo pequeñas muestras para verificar visual y olfativamente el punto de tueste. La leña se agrega cada 10-15 minutos para mantener la temperatura adecuada. Se busca un color marrón uniforme y el perfil aromático característico.

Esta etapa es un Punto Crítico de Control, ya que pequeñas variaciones en temperatura o tiempo pueden afectar directamente la calidad sensorial del café. La atención continua y el uso de procedimientos tradicionales garantizan que los granos alcancen un tostado equilibrado y mantengan la calidad artesanal distintiva del producto.

A continuación, veremos diagrama hombre vs maquina (**ver anexo B.10**) para poder analizar las funciones, los tiempos del operario y la tostadora.

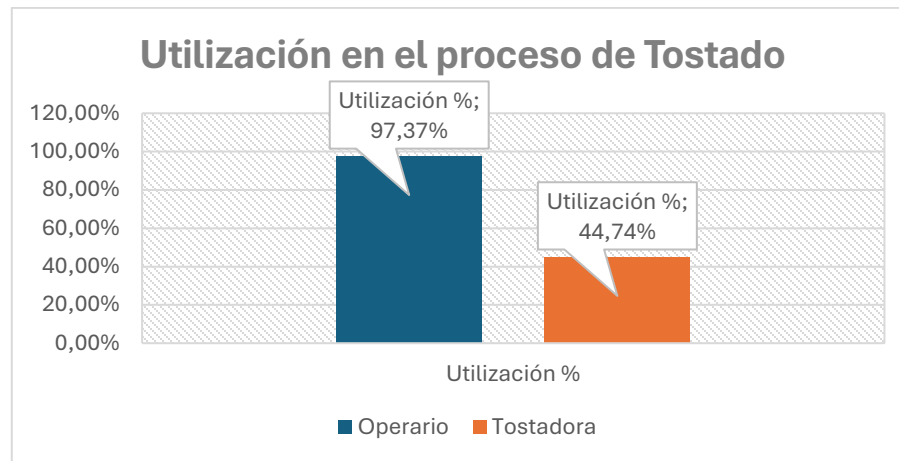
Tabla 21

Resumen y análisis del Diagrama hombre vs maquina etapa tostado

Resumen y análisis de la información				
Tipo	Tiempo ciclo	Tiempo acción(min)	Tiempo inactivo (min)	Utilización %
Operario	76	34	42	97,37
Tostadora	76	74	2	44,74

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: propia

Figura 14*Utilización en el proceso de tostado*

Fuente: Empresa “El criollito”

Elaboración propia

Como se puede ver en el diagrama (**Anexo B.10**) durante el proceso de tostado del café, las fases de control del fuego y adición de leña se convierte en un punto crítico de control debido a que determina directamente la uniformidad y calidad del tostado. La tabla evidencia que la máquina opera de manera continua (97,37%), mientras que el operador interviene solo de manera intermitente (44,74%) para ajustar la temperatura y añadir combustible; esta dependencia de intervenciones aleatorias genera inconsistencias en el proceso, como variaciones en la intensidad del tostado o diferencias en el color y aroma del café. La irregularidad en los tiempos de revisión y ajuste, junto con pausas prolongadas en la supervisión, justifica que esta etapa requiera especial atención y control estandarizado para garantizar un producto homogéneo y reducir pérdidas por tostado defectuoso.

4.9.3.3 Torrado

El torrado en El Criollito es una etapa crítica para lograr la caramelización uniforme del café, desarrollando su sabor, aroma, color y textura característicos. Se realiza de manera artesanal durante 80-90 minutos, utilizando gas para alcanzar la temperatura inicial y leña para mantenerla, ajustando la cantidad según la carga de grano, adición de azúcar y fluctuaciones térmicas.

El operario monitorea constantemente la temperatura, el tiempo de exposición y la ventilación del tostador para evitar tueste insuficiente, sobrecocción o sabores indeseados. Una vez alcanzado el color y aroma óptimos, el café se traslada a la zona de enfriamiento natural para detener la cocción y conservar la calidad sensorial.

Esta etapa es un Punto Crítico de Control, ya que pequeñas variaciones en temperatura, tiempo o ventilación pueden afectar directamente la calidad final del café.

A continuación, veremos diagrama hombre vs maquina (**ver anexo B.11**) para poder analizar las funciones, los tiempos del operario y la tostadora.

Tabla 22

Resumen y análisis del diagrama hombre-maquina etapa del torrado

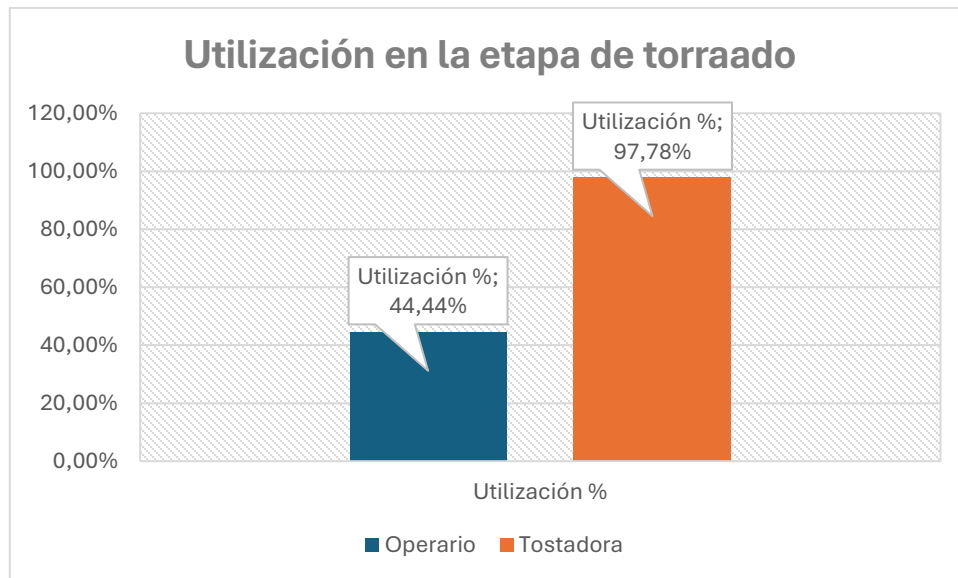
Resumen y análisis de la información				
Tipo	Tiempo ciclo	Tiempo acción(min)	Tiempo inactivo (min)	Utilización %
Operario	90	40	50	44,44%
Tostadora	90	88	2	97,78%

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Figura 15

Resumen del diagrama hombre maquina con la utilización en la etapa del torrado



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

La tabla refleja la secuencia de actividades durante el proceso de torrado artesanal del café, donde se observan las acciones del operario y de la máquina (tostadora) minuto a minuto (**Ver anexo B.11**). En términos generales, se evidencia que la tostadora permanece en ciclo activo casi todo el tiempo (97,78% del total), mientras que la participación directa del operario representa aproximadamente el 44,44% del tiempo total, concentrándose en momentos críticos como la adición de azúcar y cáscaras, control del fuego, adición de leña, limpieza para ventilación y las verificaciones del grano.

Esto indica que, aunque gran parte del torrado es un proceso continuo de la máquina, la intervención humana es decisiva para mantener la uniformidad, color, aroma y calidad sensorial del café. Las acciones del operario corresponden a los puntos críticos de control, ya que cualquier error en la adición de insumos, regulación de la temperatura o ventilación puede generar granos quemados, subexpuestos o inconsistentes, afectando directamente la calidad del producto final.

Asimismo, la tabla evidencia que existen momentos de concentración de tareas, como la primera y segunda adición de azúcar y cáscaras y las verificaciones del grano, que son decisivas para el éxito del proceso. La diferencia entre el tiempo de máquina activa y la intervención del operario resalta la dependencia del proceso en la habilidad y experiencia del personal, reforzando la necesidad de capacitación y estandarización para minimizar variaciones y asegurar la calidad en cada lote.

En conclusión, el proceso de torrado se mantiene como un punto crítico de control, donde la combinación de monitoreo humano y funcionamiento continuo de la máquina es esencial para garantizar la uniformidad y calidad del café torrado. La intervención del operario, aunque representa menos de la mitad del tiempo total, es estratégica y determinante.

4.9.3.4 Vaciado y enfriado

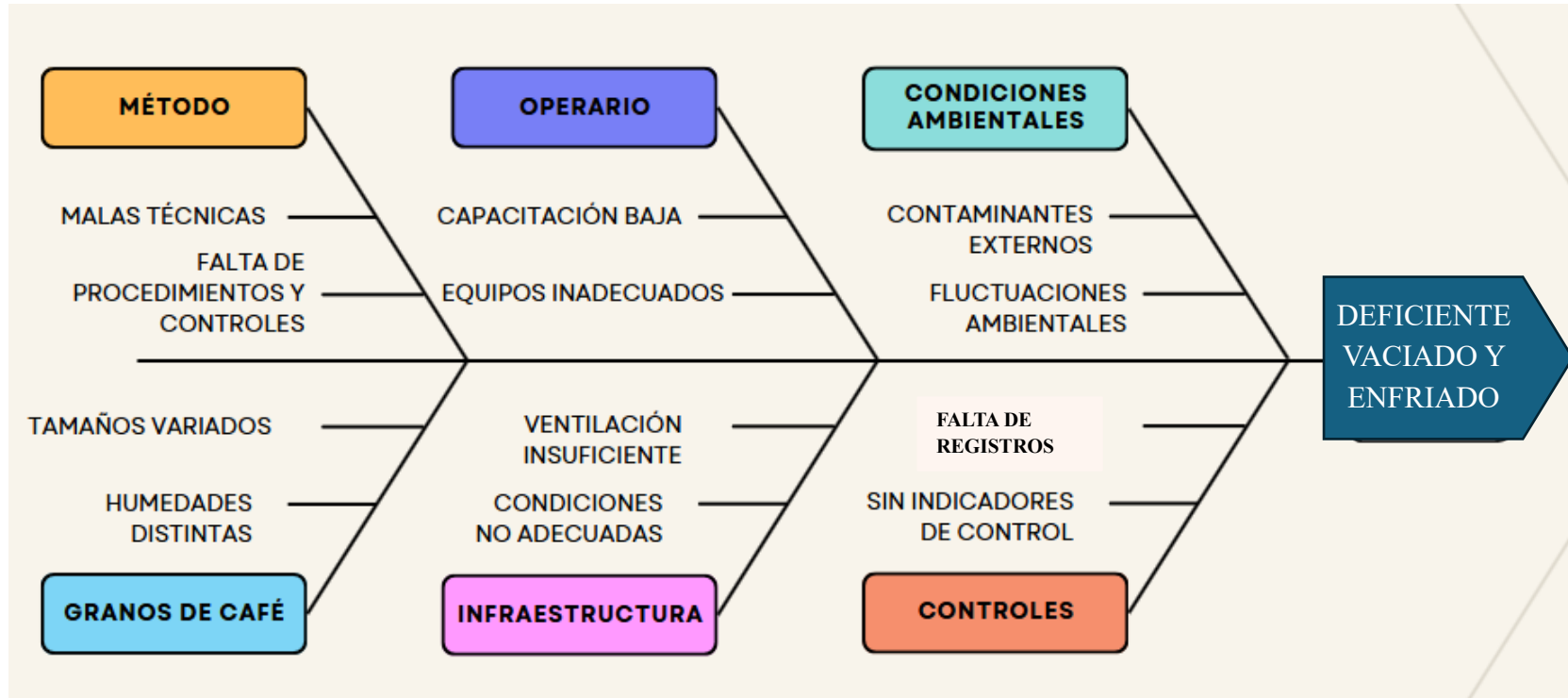
La etapa de vaciado y enfriado constituye un Punto Crítico de Control, ya que asegura que los granos torrados alcancen las condiciones adecuadas de temperatura y humedad antes del triturado, reposo y envasado, garantizando la calidad sensorial e inocuidad del producto final. Una distribución desigual de los granos o un enfriado incorrecto puede provocar sobrecocción, pérdida de aromas, aparición de sabores amargos o proliferación microbiana debido a la absorción de humedad ambiental.

El enfriado se realiza sobre el suelo acondicionado y en capas uniformes durante 60-70 minutos, permitiendo disipar el calor de manera controlada. Posteriormente, el reposo post-triturado estabiliza la humedad y textura antes del envasado al vacío. La supervisión constante del operario y el control de parámetros como tiempo, temperatura, humedad y distribución de los granos son esenciales para prevenir alteraciones y asegurar la frescura, aroma, sabor y seguridad del café artesanal de El Criollito.

A continuación, se presenta un diagrama de Ishikawa para facilitar su comprensión:

Figura 16

Diagrama de Ishikawa de la etapa de vaciado y enfriado



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Interpretación Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa permite identificar de manera visual las causas que pueden afectar la etapa de vaciado y enfriado, demostrando por qué se considera un Punto Crítico de Control (PCC).

En Método, procedimientos inadecuados, como un vaciado lento o falta de estandarización en la distribución del grano, pueden generar acumulaciones de calor y sobre-tuesta localizada, resaltando la necesidad de un protocolo operativo claro.

En Mano de Obra, la capacitación y supervisión del operario son determinantes; errores al distribuir los granos o descuidos en el tiempo de enfriado incrementan el riesgo de defectos sensoriales y pérdida de calidad.

En Medio Ambiente, la humedad relativa elevada, temperatura inestable o corrientes de aire no controladas afectan la disipación de calor, favoreciendo la absorción de humedad y la proliferación microbiana, justificando controles estrictos.

En Material, el tamaño, densidad y humedad de los granos influyen en la uniformidad del enfriado. Granos heterogéneos o con exceso de humedad requieren mayor atención para evitar diferencias en el perfil sensorial final.

En Equipos, la infraestructura como el suelo de enfriamiento y la ventilación es clave; deficiencias generan puntos calientes que afectan la eficiencia y calidad del proceso.

En Medición y Control, la ausencia de registros o límites críticos impide detectar desviaciones, aumentando el riesgo de errores; implementar indicadores y checklists fortalece la trazabilidad del PCC.

En conclusión, la efectividad del vaciado y enfriado depende de la interacción de múltiples factores. Cualquier desviación puede comprometer la calidad sensorial, frescura e inocuidad del café, justificando plena

4.10 Evaluación de desempeño y percepción del personal mediante encuestas

El proceso de producción del café torrado en El Criollito combina técnicas artesanales con mejora continua, donde la calidad final depende del desempeño y conocimiento del personal. Se realizó una encuesta (**Ver anexo B.12**) al área de producción, cuyos resultados completos se encuentran en el **Anexo B.12** y el análisis punto a punto en el **Anexo B.13**. La mayoría de los trabajadores tiene entre 25 y 35 años y cuenta con 1 a 3 años de experiencia, lo que indica familiaridad con los procesos, aunque algunos requieren capacitación adicional. La mayoría posee conocimiento moderado o detallado del proceso, especialmente en tostado, mientras que un porcentaje conoce solo lo básico, evidenciando la necesidad de formación en etapas críticas. Respecto al cumplimiento de procedimientos, se observa tendencia positiva, aunque algunos no los cumplen completamente, resaltando la importancia de estandarización y seguimiento continuo. La mayoría del personal ha recibido capacitación parcial y reconoce la importancia de la formación continua, mostrando disposición para asumir nuevas funciones. Identifican factores clave que afectan la calidad, como control de temperatura, experiencia del operario, uniformidad en color y aroma, y condiciones ambientales, y están familiarizados con los PCC, aunque algunos carecen de formación formal. En conclusión, el personal tiene buen conocimiento general del proceso, pero requiere capacitación específica en PCC y estandarización; su disposición a mejorar es positiva. Fortalecer la estandarización y la capacitación continua va a asegurar consistencia, frescura y calidad del café producido en El Criollito.

4.11 Hallazgos Integrados del Diagnóstico

La siguiente matriz presenta de forma sintetizada los principales hallazgos identificados en el diagnóstico del proceso productivo de El Criollito. Resume las desviaciones, condiciones operativas y brechas detectadas en cada etapa, considerando la evidencia obtenida mediante observación, mediciones, análisis y encuestas. Incluye además la verificación de registros existentes o ausentes, permitiendo visualizar los puntos críticos y las necesidades de mejora del proceso.

Tabla 23

Matriz de hallazgos

Etapa	Área	Hallazgo encontrado	Herramienta utilizada	¿Registro?	Necesidad de acción	Impacto en proceso/producto
Recepción inspección y selección	Recepción	Humedad del grano no controlada (no existe secado formal)	Observación, entrevista y análisis al grano	NO	Implementar control de humedad y etapa de secado	Aumenta riesgo microbiológico, afecta el rendimiento del torrado y genera sabores defectuosos.
	Selección	Gran variabilidad en tiempos (900–1560 min)	Observación directa y cronometraje	No	Estandarizar criterios y capacitar	Incrementa tiempos improductivos, reduce eficiencia y genera lotes desiguales.
	Selección	Falta de estandarización en la inspección	Observación directa	No	Procedimiento claro e instructivos	Se cuelean defectos que afectan sabor, aroma y uniformidad del producto final.

Limpieza y clasificación	Limpieza mecánica	Material heterogéneo (tamaños, densidades)	Observación y análisis	No	Mejora en tamizaje y verificación	Reduce uniformidad y genera variabilidad sensorial.
Tostado	Tostadora	Fluctuaciones térmicas fuertes.	Medición de temperaturas	No	Establecer límites críticos y adquirir sensores	Produce tostado irregular, riesgo de quemado y pérdida de calidad aromática.
		Dependencia del control visual del operario	Observación y análisis	No	Capacitación y termómetro industrial	Incrementa la variabilidad entre lotes, reduce reproducibilidad del proceso y los tiempos imprecisos.
		No existen registros de temperatura por lote	Revisión documental	No	Implementar hoja de control	No se puede identificar causas de fallas ni controlar PCC de manera efectiva.
Torrado	Tostadora	Picos térmicos >260°C por adición de azúcar/cáscara	Observación y medición de temperaturas	No	Establecer protocolo y límites	Provoca caramelización excesiva, quemado y defectos sensoriales intensos.
		Variación en duración del proceso según operario	Cronometraje	No	Estandarizar tiempo y monitoreo	Lotificación inconsistente y perfiles sensoriales no reproducibles.
Vaciado y enfriado	Enfriado	Enfriado dependiente del ambiente (HR 55–58%)	Higrómetro	No	Control ambiental y ventilación	El grano absorbe humedad, riesgo de mohos y pérdida de frescura/aroma.

	Vaciado	Distribución desigual del grano genera puntos calientes	Ishikawa	No	Estándar de distribución	Continúa la cocción generando sobre-tueste y sabores amargos.
	Reposo post-triturado	Tiempo variable y no controlado	Observación y cronometraje	No	Registrar tiempos y capacitar	Afecta estabilidad, humedad residual y calidad final del café molido.
Triturado y molienda	Triturado	Tiempos variables (48–55 min)	Cronometraje	No	Mejorar ergonomía	Reduce productividad y genera fatiga del operario, afectando consistencia.
	Molienda	Sobrecalentamiento y tiempos altos (85–95 min)	Cronometraje	No	Pausas térmicas y mantenimiento	El café pierde aroma, se oxida y se altera el sabor por calentamiento excesivo.
Ambiente – Condiciones generales	Planta	HR elevada en zonas críticas	Medición con higrómetro	No	Controles ambientales	Aumenta riesgo microbiológico y afecta conservación del producto.
	Personal	Conocimiento desigual del proceso	Encuesta	No	Capacitación formal y manuales	Ejecutan procesos críticos con criterios distintos, generando variabilidad.
	Trazabilidad	Ausencia general de registros operativos	Revisión	No	Sistema de trazabilidad básica	No se identifican errores, ni se controla calidad por lote.

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

CAPÍTULO V
PROPUESTA DE
ESTANDARIZACIÓN

5. Propuesta de estandarización

En el siguiente capítulo se desarrollarán las alternativas de optimización relacionadas con los hallazgos identificados en el diagnóstico del proceso del café torrado. Estas propuestas tienen como objetivo mejorar la eficiencia y la calidad en el proceso productivo de café en la empresa El Criollito, garantizando un producto final más homogéneo y competitivo en el mercado.

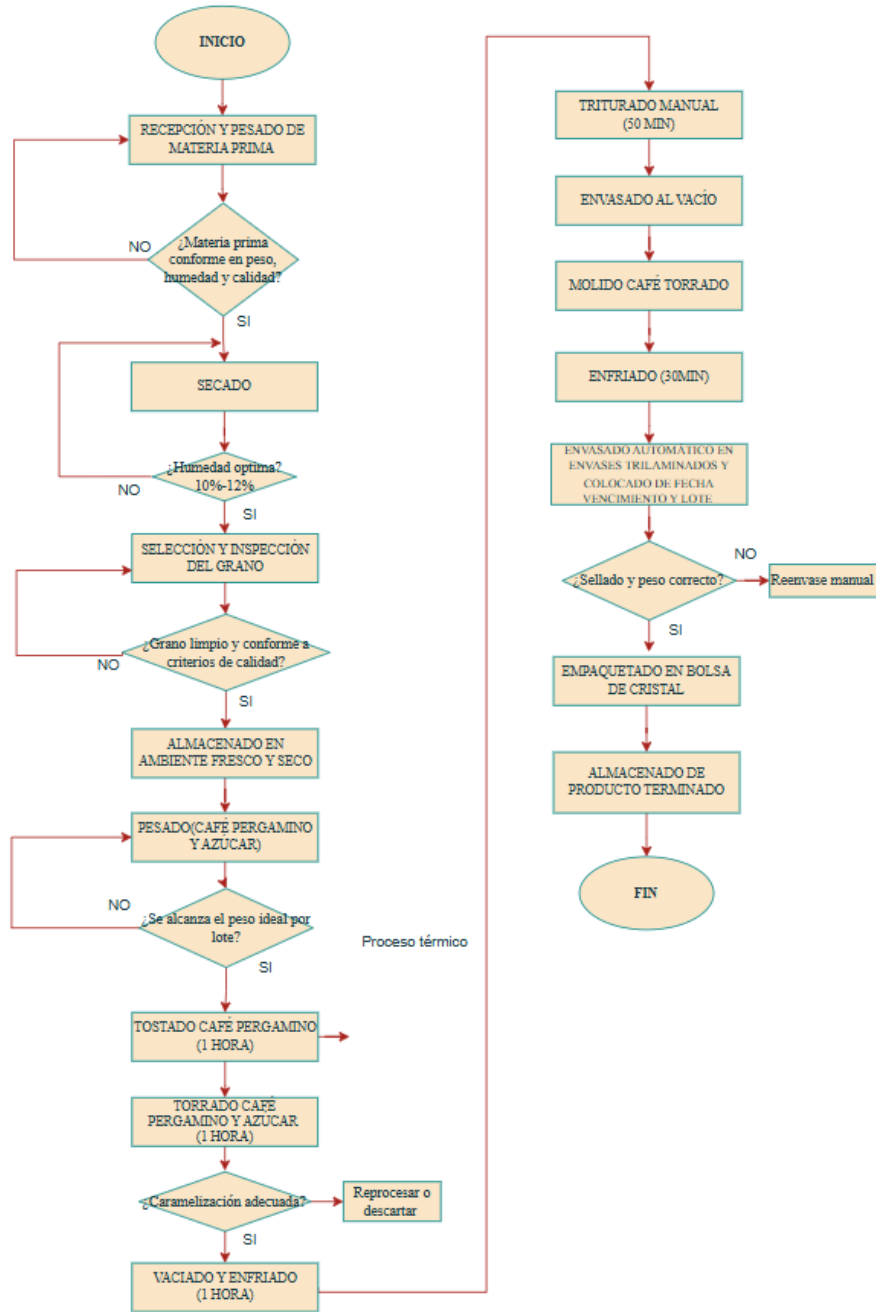
5.1 Actualización del flujograma

El proceso productivo actual de café torrado en la empresa El Criollito, según se identificó en el diagnóstico, no contempla una etapa formal de secado del café pergamino, limitándose a la recepción directa, selección, inspección y pesado antes del tostado. Esta omisión representa una oportunidad crítica de mejora, ya que el secado controlado es fundamental para homogeneizar la humedad del grano y garantizar la calidad uniforme del producto final, evitando variaciones que afectan el tostado y las propiedades organolépticas del café torrado.

La incorporación de una etapa de secado estandarizado entre la recepción y la selección se propone como mejora estructural del flujograma, permitiendo alcanzar niveles óptimos de humedad (10-12%) que optimicen el rendimiento del tostado y reduzcan defectos. Adicionalmente, se implementarán controles de calidad reforzados en las etapas de recepción (verificación de origen y estado del grano), selección (clasificación por tamaño y defectos) y pesado (precisión de insumos), estableciendo parámetros cuantificables y procedimientos documentados.

Esta actualización del flujograma no solo incorpora la nueva etapa de secado, sino que establece un sistema integral de controles preventivos que transforman el proceso tradicional en uno estandarizado, mejorando la trazabilidad, consistencia del producto y competitividad de El Criollito en el mercado tarijeño.

Figura 17
Flujograma propuesto



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

5.2 Maquinaria y equipos propuestos

Con base en las necesidades detectadas en el diagnóstico y las limitaciones actuales del equipamiento, se propone incorporar los siguientes equipos para la estandarización de las distintas etapas del proceso productivo de café torrado:

5.2.1 Etapas de recepción y secado

a) higrómetro digital

Dentro del proceso de estandarización del café torrado, el control de la humedad en el producto y en el ambiente constituye un parámetro crítico de calidad. La variación en los niveles de humedad puede afectar directamente el aroma, la textura y la estabilidad del café durante el almacenamiento.

Por tal motivo, se establece una etapa específica destinada a la adquisición e implementación de un higrómetro digital, herramienta fundamental para el monitoreo y registro preciso de la humedad tanto en el grano como en el entorno de producción.

La incorporación de este equipo permitirá fortalecer la trazabilidad de los datos ambientales y garantizar condiciones óptimas en las etapas, alineándose con los principios de mejora continua del sistema de gestión de calidad de la empresa

Beneficios esperados

La adquisición del higrómetro digital permitirá a la empresa alcanzar los siguientes beneficios:

- Control preciso de la humedad ambiental y del producto.
- Reducción de pérdidas de aroma y calidad por absorción de humedad.
- Optimización de los parámetros de almacenamiento y empaque.
- Cumplimiento de los estándares de control ambiental
- Fortalecimiento de la trazabilidad y confiabilidad del proceso productivo.

Como parte del plan de estandarización se sugiere el siguiente higrómetro:

Figura 18*Higrómetro HTC-2*

Fuente Mercatech

Sus características específicas se encuentran registradas en la ficha técnica, disponible en el **Anexo C.1.1**.

b) Mesas de secado solar parabólicas

En el proceso de estandarización del café torrado, el secado uniforme y controlado de los granos constituye un parámetro crítico para garantizar su calidad final. La exposición directa al sol mediante mesas de secado permite homogenizar la humedad del café, preservando sus propiedades físicas y organolépticas, y evitando fermentaciones indeseadas.

Por esta razón, se propone la incorporación de mesas de secado solar parabólicas, diseñadas para proteger los granos de contaminantes y daños físicos, permitiendo una manipulación suave y eficiente. Estas mesas facilitan la inspección de los granos, optimizan la circulación de aire y concentran la energía solar para acelerar el secado, reduciendo la dependencia de fuentes externas y promoviendo un enfoque sostenible.

La implementación de este sistema permitirá:

- Secado homogéneo de los granos, optimizando humedad y calidad.

- Reducción de pérdidas por daños físicos o contaminación.
- Optimización de los tiempos de secado y trabajo de los operarios.
- Fortalecimiento de la eficiencia operativa y trazabilidad del proceso.

Como parte del plan de estandarización se sugiere el siguiente modelo de mesa:

Figura 19

Mesa de Secados solar parabólico



Fuente: Cenicafé

Sus características específicas se encuentran registradas en la ficha técnica, disponible en el **Anexo C.1.2**.

c) Medidor de control de humedad del café pergamino

El control de la humedad del café pergamino es un parámetro crítico dentro del proceso de selección, secado y almacenamiento, ya que influye directamente en la calidad final del producto. Mantener la humedad dentro del rango óptimo (10–12 %) evita defectos como fermentación, apertura prematura del grano y degradación de las propiedades organolépticas.

Para asegurar un monitoreo preciso, se propone la adquisición del Agratronix Probador de Humedad de Café Modelo 08150, un dispositivo portátil que permite medir

rápidamente el contenido de humedad en el grano, facilitando ajustes oportunos durante el secado y almacenamiento.

Beneficios esperados:

- Control preciso de la humedad del café pergamino en todas las etapas del proceso.
- Optimización del secado y reducción de tiempos y recursos utilizados.
- Prevención de pérdidas por exceso o déficit de humedad.
- Mejora en la calidad y consistencia de cada lote.
- Mayor capacidad de toma de decisiones en tiempo real durante el proceso productivo.

Figura 20

Agratronix Probador de Humedad de Café Modelo 08150



Fuente: Amazon

Sus características específicas se encuentran registradas en la ficha técnica, disponible en el **Anexo C.1.3**.

5.1.2 Etapa de selección del grano

a) Tamizado vibratorio de operación manual o semiautomatizada

La implementación de un tamizado vibratorio manual o semiautomatizado constituye una solución estratégica para optimizar la selección y clasificación de granos de café en la empresa El Criollito. Este sistema asegura la uniformidad en tamaño y calidad de los granos, reduce defectos e impurezas, y mejora la eficiencia operativa, manteniendo la esencia del proceso artesanal.

Descripción del equipo:

Se seleccionó como referencia la máquina clasificadora de café tipo pantalla vibratoria lineal (JFD-SZ-30), diseñada para separar impurezas y homogenizar el tamaño de los granos. Su funcionamiento combina un motor eléctrico de 270 W (0,27 kW) con un tamiz metálico vibratorio que genera un movimiento lineal uniforme. Los granos se alimentan desde la parte superior y, a medida que se desplazan, las partículas finas, polvo y residuos quedan retenidos en la malla, mientras los granos adecuados continúan hacia el tostador.

Para su implementación en Bolivia, esta máquina se tomará como modelo de referencia, de manera que una empresa local (Tritec Bolivia) que realiza equipos a pedido pueda fabricar un prototipo adaptado a las necesidades y condiciones de El Criollito, garantizando las dimensiones, capacidad y eficiencia requeridas, pero con materiales y componentes disponibles localmente. Esto permitirá mantener la funcionalidad y calidad del equipo original, reduciendo costos de importación y facilitando el mantenimiento futuro.

Figura 21

Maquina clasificadora de café tipo pantalla vibratoria lineal (JFD-SZ-30)



Fuente: Guangzhou Jinfuda Technology Industrial Corp, Ltd / Alibaba

Sus características específicas se encuentran registradas en la ficha técnica, disponible en el **Anexo C.1.4**.

5.1.3 Etapa de tostado

a) Sensor de temperaturas

El control preciso de la temperatura durante el proceso de tostado es un parámetro crítico para garantizar la calidad final del café torrado. La integración de sensores de temperatura permite monitorear la temperatura interna de los granos en tiempo real, y con la conexión a alarmas automáticas, alerta inmediatamente a los operarios cuando esta se desvía de los rangos preestablecidos. Este enfoque facilita la toma de decisiones correctivas inmediatas, evitando sobrecalentamiento o subcocciones que puedan afectar las propiedades organolépticas del café.

Acciones a implementar:

- **Selección de sensores de temperatura:** Se requiere un sensor de alta precisión, capaz de medir de manera confiable temperaturas entre 180 °C y 250 °C, adaptado a las condiciones térmicas del proceso de tostado.
- **Adquisición e implementación:** Se propone el termopar tipo K con termopozo cerámico C610 de la marca Resitérmica, diseñado para procesos térmicos industriales y alimentarios. Este sensor ofrece un rango de medición amplio (0 °C – 1200 °C) y alta estabilidad, asegurando la precisión necesaria para el control térmico del tostado de café.

Beneficios esperados:

- Monitoreo constante de la temperatura interna de los granos, evitando fluctuaciones indeseadas.
- Control preciso en tiempo real que asegura la uniformidad del tostado y previene daños en el grano.
- Mejora en la calidad sensorial del café, preservando aroma, color y sabor.
- Mayor eficiencia operativa al permitir ajustes inmediatos durante el proceso.

Figura 22

Termopar tipo K con termopozo cerámico C610, Resitámica



Fuente: Resitámica / Servicios técnicos e importaciones

Sus características específicas se encuentran registradas en la ficha técnica disponible en el **Anexo C.1.5**.

b) Sistema de monitoreo de temperatura y alarmas automáticas

Para optimizar el proceso de tostado del café torrado y garantizar uniformidad entre lotes, se propone la implementación de un sistema de monitoreo térmico en tiempo real mediante un Controlador de Temperatura Digital BEM 702, conectado al termopar tipo K instalado en el tostador. Este sistema permite registrar, visualizar y controlar la temperatura interna de los granos durante todo el proceso, emitiendo alertas visuales o sonoras ante cualquier desviación fuera del rango establecido de 180 °C a 250 °C.

El BEM 702 constituye una opción precisa, económica y compatible con procesos semi-artesanales, que facilita la rápida reacción del operario frente a variaciones térmicas, asegurando un tostado uniforme y preservando el perfil sensorial característico del café artesanal de El Criollito. Su instalación es sencilla, requiere bajo mantenimiento y permite integrar un registro continuo de temperatura para análisis posterior y trazabilidad del proceso.

Beneficios esperados:

- Monitoreo constante de la temperatura interna del grano durante el tostado.
- Alertas automáticas para evitar desviaciones que puedan afectar el color, aroma y sabor del café.
- Mejora en la uniformidad y consistencia de los lotes.
- Facilita la estandarización del proceso de tostado y la trazabilidad de los datos.
- Incremento en la eficiencia operativa y reducción de errores por intervención manual.

Figura 23

Controlador de Temperatura Digital, BEM 702



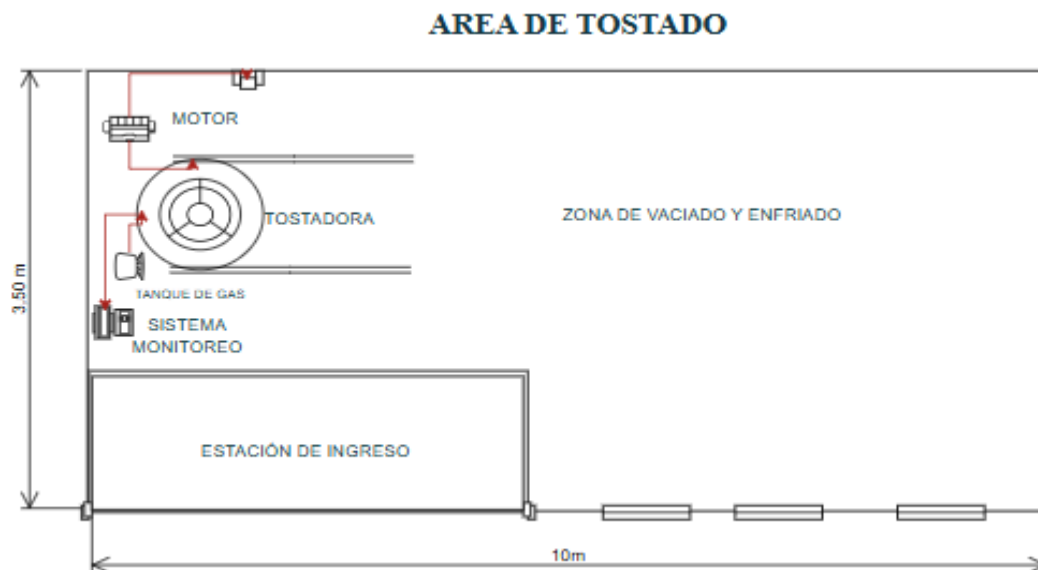
Fuente: Tekne Bolivia

Sus características específicas se encuentran registradas en la ficha técnica, disponible en el **Anexo C.1.6**.

Dicho sistema de monitoreo será instalado en un punto clave del área de tostado el cual reflejará en el siguiente plano

Figura 24

Área de tostado



Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

5.1.4 Etapas de torrado y vaciado

a) Deshumidificadores industriales

El control de la humedad ambiental es un factor crítico en la calidad del proceso de café torrado, así como en la conservación y el perfil sensorial del producto final. Niveles inadecuados de humedad pueden afectar la eficiencia del torrado, provocar variaciones en el color y aroma del café y disminuir la vida útil del producto.

Desde la perspectiva de ingeniería industrial, la implementación de deshumidificadores industriales permite establecer un control ambiental preciso, optimizando tanto la calidad del grano como la eficiencia del proceso de producción.

Beneficios principales:

1. **Estabilidad del perfil de torrado:** Mantener la humedad relativa del ambiente entre 40% y 50% asegura que los granos se torren de manera uniforme.
2. **Mejora de la eficiencia operativa:** Un ambiente controlado permite que los equipos de torrado funcionen de manera más eficiente, mejorando la transferencia de calor durante el proceso.

Equipo seleccionado:

Para este propósito se ha seleccionado el deshumidificador D150 Evolution Classic, un equipo desecante industrial diseñado para mantener condiciones ambientales óptimas, preservar la calidad del grano y garantizar un perfil de sabor consistente.

Figura 25

D150 Evolution Classic



Fuente: Oasis / Servicios técnicos e incorporaciones

Sus características específicas se encuentran registradas en la ficha técnica, disponible en el **Anexo C.1.7**.

5.1.5 Enfriado, triturado y envasado al vacío

a) Ventiladores industriales

El control de la temperatura y la circulación del aire en el área de producción es fundamental para garantizar la calidad del café torrado y la eficiencia de los procesos posteriores, como el enfriado del grano. La implementación de ventiladores industriales permite mantener un flujo de aire constante, acelerar el enfriamiento del café recién torrado, mejorar la ventilación en áreas de trabajo y minimizar la humedad relativa en el ambiente. Esto contribuye a mantener las propiedades organolépticas del café y optimizar la eficiencia operativa del proceso de producción.

Equipo seleccionado: Se considera la utilización de ventiladores industriales de tambor de alta velocidad, adecuados para enfriar grandes volúmenes de café torrado caliente y mantener una circulación de aire eficiente en áreas industriales o comerciales. Estos ventiladores son versátiles y resistentes, con diseños que facilitan su transporte y posicionamiento dentro del área de producción.

Figura 26

Ventilador industrial



Fuente: Construtores / Santa Cruz

Su ficha técnica está disponible en el **Anexo C.1.8.**

b) Compactadora manual

La compactación del café en determinadas etapas del proceso, como el empaque o almacenamiento, es crucial para garantizar la uniformidad del grano, reducir espacios vacíos y facilitar el manejo del producto, evitando daños durante el transporte o almacenamiento. La implementación de compactadoras manuales permite a los operarios realizar esta tarea de manera eficiente, controlando la densidad y el empaque del café de forma consistente.

Equipo seleccionado:

Se considera el uso de compactadoras manuales, herramientas simples, resistentes y portátiles, ideales para ajustarse al volumen de producción artesanal de la empresa y para ser operadas directamente por los trabajadores en cada estación de trabajo.

Figura 27

Compactadora manual



Fuente: Trupper

5.3 Estrategias y técnicas propuestas

5.3.1 Etapas de recepción, pesado y secado

a) Optimización de recepción con gestión de EMC

La optimización de Recepción con Gestión de Contenido de Humedad de Equilibrio (EMC) es un procedimiento estandarizado desarrollado para revolucionar el proceso de recepción del grano de café en la empresa El Criollito, corrigiendo las ineficiencias detectadas en el diagnóstico y elevando la calidad desde las primeras etapas. Este protocolo transforma la recepción informal en un sistema estructurado, integrando el control inmediato del EMC, la segregación dinámica de lotes y una gestión eficiente que optimiza el secado y prepara el grano para el tostado con mayor uniformidad y menor desperdicio.

Componentes principales

1. Formalización de la recepción:

Se implementa un proceso sistemático que incluye la verificación exhaustiva de la documentación del proveedor (certificados de origen, fecha) y el registro detallado de datos (origen, cantidad, fecha de ingreso). Este enfoque sustituye el manejo desorganizado previo, garantizando trazabilidad total desde la llegada del café pergamino y estableciendo una base sólida para la calidad. **Ver anexo E.1(Manual de procedimiento)**

2. Pesado controlado:

Se emplean balanzas calibradas conforme a la norma OIML R 76-1 para obtener un pesaje preciso del lote recibido, registrando el peso neto con una tolerancia estricta de $\pm 0.2\%$. Este paso asegura mediciones confiables, sirve como referencia para la gestión posterior del EMC y permite detectar anomalías tempranas, fortaleciendo la integridad del proceso.

3. Medición y gestión del EMC:

Inmediatamente tras el pesaje, se extraen muestras representativas de diferentes puntos del lote y se mide el EMC utilizando un higrómetro calibrado, con un objetivo de 10-12% según la NTP 209.027:2018. Este control inicial clasifica los lotes en rangos específicos (>14%, 12-14%, 10-12%), identificando la condición del grano y guiando su manejo para prevenir variaciones que afecten el tostado.

4. Segregación dinámica por EMC:

Los lotes se dividen según su contenido de humedad, dando prioridad a aquellos con EMC cercano al rango óptimo (10-12%) para un secado inmediato en las mesas solares parabólicas. Los lotes con mayor humedad (>14%) se destinan a un secado prolongado o ajustes adicionales, optimizando el uso de los recursos de secado, minimizando riesgos de moho, fermentación o pérdida de calidad, y asegurando un flujo de producción equilibrado.

b) Gestión de parámetros de secado

La gestión de parámetros de secado en El Criollito se centra en asegurar la uniformidad, eficiencia y control de humedad del café pergamino, garantizando la calidad del grano antes del almacenamiento. Tomando como base un lote de 600 kg de café pergamino con 60 % de humedad, se utiliza una mesa de secado parabólico solar pasivo con efecto invernadero, cuyas especificaciones técnicas permiten un secado controlado y eficiente las especificaciones del mismo se pueden ver en **Anexo C.1.2**.

Datos base:

Parámetro	Valor
Masa de café húmedo	600 kg
Humedad inicial	60 %
Humedad final	11 %
Horas de sol	6-8 h/día
Superficie secado natural	60 m ²
Superficie mesa parabólica	42 m ²
Eficiencia secado natural	25 %
Eficiencia mesa parabólica	50 %

Cálculos del tiempo de secado

Fórmula básica Masa seca = Masa húmeda × (100 % – Humedad inicial %)

$$MASA SECA = 600 * (1 - 0,60) = 240 \text{ Kg café pergamino seco}$$

Esa materia seca nunca cambia. Al final queremos que el café pergamino seco tenga 11 % de humedad (valor comercial estándar).

Masa de agua= 360 kg masa de agua en el café pergamino en los 600 kg

Masa de agua final deseada

$$Masa\ agua_f = MASA\ SECA = \frac{0,11}{1-0,11} * 240 = 29,7 \text{ Kg masa agua}$$

$$AGUA\ A\ EVAPORAR = 360 - 29,7 = 330,3 \text{ kg d agua a evaporar}$$

Modelo de secado (thin-layer — Page):

$$M(t) = M0 \cdot e^{(-kt^n)}$$

Donde M(t) = masa de agua (kg) en el grano al tiempo t (días), M0 = agua inicial (360 kg), k y n parámetros. El modelo Page (y variantes) es ampliamente usado porque refleja la caída rápida inicial y la desaceleración posterior.

Se tomo el exponente **n=1.2** (valor típico en estudios de secado de granos/semillas; ajustable según datos experimentales).

Para lo cual se tiene que encontrar un valor para “k” el cual será en dos situaciones: Natural y con la mesa de secado.

$$k = -\frac{\ln\left(\frac{Mf}{M0}\right)}{t^n}$$

K secado natural (8-10 Días) = 0,178

K mesa de secado (4-6 Días) = 0,362

Entonces calculamos como actúa el secado en los días propuestos

Tabla 24*Tabla de humedad vs tiempo*

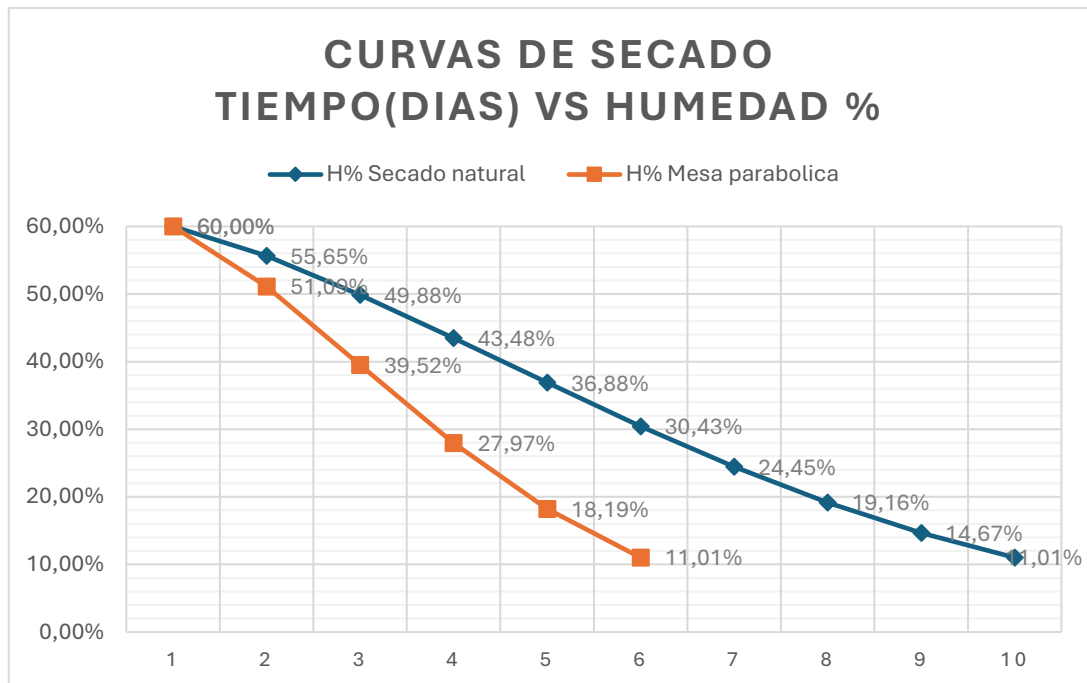
NATURAL			MESA		
t	Mt=Kg agua	H%	t	Mt=Kg agua	H%
0	360,000000	60,00%	0	360,000000	60,00%
1	301,107327	55,65%	1	250,747189	51,09%
2	238,818387	49,88%	2	156,840640	39,52%
3	184,657386	43,48%	3	93,178341	27,97%
4	140,225370	36,88%	4	53,370457	18,19%
5	104,977747	30,43%	5	29,700000	11,01%
6	77,661345	24,45%			
7	56,866562	19,16%			
8	41,264245	14,67%			
9	29,700000	11,01%			

Fuente y elaboración propia

Estos tiempos estarían sujetos a variaciones por distintos percances que se puede llegar a tener durante el secado.

Natural: 8 a 12 días

Mesa parabólica: 4 a 6 días

Figura 28*Grafica de curva de secado*

Fuente y elaboración propia

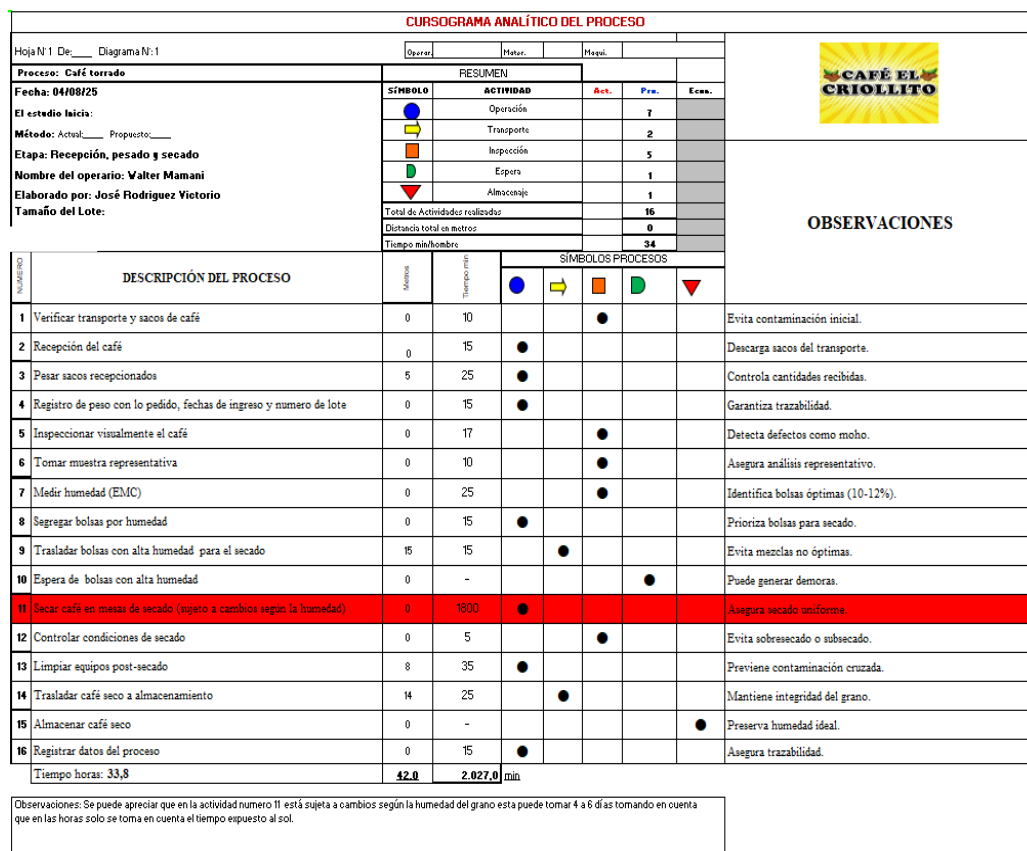
La tabla muestra la evolución de la humedad del café pergamino durante el secado natural y en mesa de secado. Ambos métodos inician con 60 % de humedad, pero la disminución ocurre a diferente velocidad: el secado natural es más lento, tomando hasta 9 días para alcanzar ~11 %, mientras que la mesa reduce este tiempo a solo 5 días, con una caída más pronunciada en los primeros días. Esto se debe a que la mesa combina calor y circulación de aire, acelerando la evaporación. Así, la mesa de secado permite una deshidratación más rápida y controlada, mientras que el secado natural, aunque más lento y dependiente del clima, requiere menor infraestructura.

- **Impacto esperado**

El siguiente cursograma ilustra de manera clara y detallada las propuestas de optimización implementadas bajo un enfoque estandarizado, con el objetivo de mejorar los tiempos de procesamiento y la calidad del producto antes de su ingreso a la etapa de tostado.

Figura 29

Cursograma analítico del proceso de recepción, pesado y secado



Fuente y elaboración propia

El cursograma analítico del proceso de recepción, pesado y secado del café torrado en la empresa El Criollito evidencia un proceso estandarizado, controlado y eficiente, con 16 actividades que suman aproximadamente 33,8 horas. La recepción garantiza descarga limpia, control de cantidades y trazabilidad; el pesado y la inspección visual

filtran los lotes óptimos; y el control de humedad mantiene el rango ideal del 10–12%. El secado en mesas se realiza uniformemente según parámetros técnicos, minimizando pérdidas, seguido de limpieza, almacenamiento y registro bajo criterios de higiene y control ambiental. En conjunto, se reduce la variabilidad, se optimizan tiempos y se asegura la calidad y consistencia del producto final.

5.3.2 Etapa de selección del grano

a) Plan de implementación

La implementación de tamizadoras vibratorias manuales o semiautomáticas en El Criollito tiene como objetivo mejorar la eficiencia y consistencia en la selección del café. Estas máquinas permitirán separar de manera más rápida y precisa las impurezas, optimizando el proceso sin comprometer la artesanía del café. A continuación, se describe el plan de implementación, que incluye la adquisición, instalación, capacitación del personal y evaluación continua del proceso.

Tabla 25

Descripción del plan de implementación

Fases	Descripción
Instalación de las Tamizadoras	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación estratégica: Instalar las tamizadoras en el área de selección, cerca de las estaciones de trabajo y de fácil acceso para los operarios. - Ajuste de vibración: Ajustar las vibraciones de las máquinas para que sean adecuadas al tamaño y peso de los granos.
Capacitación del Personal	<ul style="list-style-type: none"> - Formación: Capacitar al personal sobre el uso y mantenimiento de las tamizadoras vibratorias, cómo ajustar las vibraciones según el grano y cómo monitorizar la calidad del café. - Entrenamiento práctico: Asegurar que los operarios se familiaricen con la integración de las tamizadoras al proceso artesanal, manteniendo la supervisión visual.

Implementación Gradual	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción inicial: Comenzar con la introducción de las tamizadoras en pequeñas cantidades de grano, asegurando que la transición no afecte la calidad del proceso. - A medida que el personal se familiarice con el uso de las tamizadoras, se incrementará el uso en los lotes más grandes.
Evaluación y Ajustes Continuos	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar una evaluación continua del proceso para medir el impacto de las tamizadoras en la calidad del café y la eficiencia del proceso. - Ajustar según los resultados obtenidos, tanto en el rendimiento de las máquinas como en la calidad del café.

Fuente y elaboración propia

5.3.3 Etapa de tostado

a) Definición de Rangos de Temperatura Óptimos

Establecer rango de temperatura óptimo para cada tipo de tostado y garantizar que el proceso siga estos parámetros de forma consistente.

La Specialty Coffee Association (SCA) no especifica rangos de temperatura exactos para cada nivel de tostado (claro, medio, oscuro) en sus estándares oficiales. Sin embargo, la SCA utiliza la escala Agtron Gourmet.

Figura 30

Escala Agtron Gourmet.



Fuente: Specialty Coffee Association (SCA)

Para determinar los tiempos y temperaturas óptimos del proceso de tostado, es necesario realizar un análisis utilizando la escala de Agtron, con el fin de identificar el rango de color adecuado del grano antes de la adición de azúcar. Este análisis permitirá establecer con mayor precisión el punto ideal de tostado, asegurando una uniformidad en el color, el sabor y el perfil sensorial del café, de acuerdo con los estándares definidos por Café El Criollito.

Para garantizar un tostado consistente y de calidad, es esencial determinar el rango de temperatura y el tiempo de tostado adecuados para cada tipo de grano y perfil sensorial deseado. El uso de la escala Agtron en combinación con un análisis MCDM (Método de Toma de Decisiones Multicriterio) permite evaluar de manera objetiva las diferentes alternativas de tostado, considerando criterios clave como temperatura, tiempo de tostado, calidad sensorial, consistencia, eficiencia energética y costo.

MCDM

i. Identificación de Criterios:

Los criterios seleccionados para evaluar el proceso de tostado son los siguientes:

- **Temperatura:** El rango de temperatura durante el proceso de tostado. Es crucial porque influye directamente en el desarrollo de los compuestos volátiles que afectan el sabor y aroma del café.
- **Tiempo de Tostado:** El tiempo necesario para alcanzar el perfil de tostado deseado, lo que influye en el desarrollo de los sabores y la intensidad de la acidez y el cuerpo del café.
- **Sabor:** Evaluación de la intensidad de los sabores presentes en el café después del tostado, como la acidez, amargor, dulzura y cuerpo.
- **Aroma:** Evaluación de la frescura y complejidad del aroma durante y después del tostado. Los aromas a frutos secos, chocolate o caramelo dependen en gran medida del control de temperatura y tiempo.

- **Textura:** La sensación en boca del café, que se ve afectada por la distribución uniforme del calor durante el tostado. Esto incluye la suavidad o rugosidad del café, que está asociada con el grado de desarrollo de los aceites y azúcares.

Ponderación de los Criterios:

Asignamos una ponderación a cada criterio según su importancia relativa para la calidad sensorial del café. Estos criterios están más enfocados en el perfil de sabor y la experiencia sensorial global.

Tabla 26

Criterios para MCDM

Criterio	Ponderación
Aroma	0.25
Tiempo de Tostado	0.20
Sabor	0.25
Temperatura	0.15
Textura	0.15

Fuente y elaboración propia

ii. Evaluación de Alternativas:

Las alternativas que estamos evaluando son los distintos rangos de tostado según la escala Agtron:

- Agtron 75-85 (Tostado Claro)
- Agtron 60-75 (Tostado Medio)
- Agtron 50-60 (Tostado Medio-Oscuro)
- Agtron 45-50 (Tostado Oscuro)

Cada alternativa será evaluada en función de los criterios sensoriales establecidos, utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 es pobre y 5 es excelente.

Lo veremos a continuación

Tabla 27

Método de Toma de Decisiones Multicriterio

MCDM					
Alternativa/ Criterio	Aroma	Tiempo de Tostado	Sabor	Temperatura	Textura
Agtron 75-85 (Claro)	4	4	3	4	3
Agtron 60-75 (Medio)	4	4	4	4	4
Agtron 50-60 (Medio-Oscuro)	5	5	5	5	5
Agtron 45-50 (Oscuro)	5	5	4	4	4

Fuente y elaboración propia

iii. Cálculo de la Puntuación Total

Ahora, calculamos la puntuación total de cada alternativa multiplicando la evaluación de cada criterio por su ponderación correspondiente y luego sumamos los resultados.

Fórmula de Cálculo:

$$\text{Puntuación Total} = \sum (\text{Evaluación de Criterio} \times \text{Ponderación})$$

Agtron 75-85 (Claro)

$$(4 \times 0.25) + (4 \times 0.20) + (3 \times 0.25) + (4 \times 0.15) + (3 \times 0.15) = 1.0 + 0.8 + 0.75 + 0.6 + 0.45 = 3.6$$

Agtron 60-75 (Medio)

$$(4 \times 0.25) + (4 \times 0.20) + (4 \times 0.25) + (4 \times 0.15) + (4 \times 0.15) = 1.0 + 0.8 + 1.0 + 0.6 + 0.6 = 4.0$$

Agtron 50-60 (Medio-Oscuro)

$$(5 \times 0.25) + (5 \times 0.20) + (5 \times 0.25) + (5 \times 0.15) + (5 \times 0.15) = 1.25 + 1.0 + 1.25 + 0.75 + 0.75 = 5.0$$

Agtron 45-50 (Oscuro)

$$(5 \times 0.25) + (5 \times 0.20) + (4 \times 0.25) + (4 \times 0.15) + (4 \times 0.15) = 1.25 + 1.0 + 1.0 + 0.6 + 0.6 = 4.45$$

El tostado medio-oscuro (Agtron 50-60) es la mejor opción para obtener un perfil sensorial equilibrado, con la mejor puntuación de 5.0. Esta alternativa destaca por su temperatura, tiempo de tostado, sabor, aroma y textura, brindando una calidad sensorial excelente. Esto lo convierte en la mejor elección para lograr el perfil de sabor deseado en el café, con un balance perfecto entre cuerpo, dulzura, complejidad y tener una buena entrada antes de realizar la etapa del torrado.

Tiempo y temperatura tostado

Dado el análisis MCDM se sugiere para el tipo de grano (Arabica) que se usa actualmente en la empresa “El Criollito” usar la escala de Agtron 50-60 ya que es el punto ideal para el tostado previo a la etapa de torrado.

Rango de Temperatura para Agtron 50-60

La escala Agtron mide el color del café tostado, y para alcanzar un tostado medio-oscuro (Agtron 50-60), se deben seguir ciertos parámetros de temperatura que aseguren un desarrollo adecuado de los sabores sin llegar a un tostado excesivamente amargo. La temperatura del grano de café durante el tostado debe estar dentro del rango de 200°C - 250°C pero siendo lo más ideal no pasar de los 230° para evitar aproximaciones de sobre cocido.

Justificación de la Temperatura:

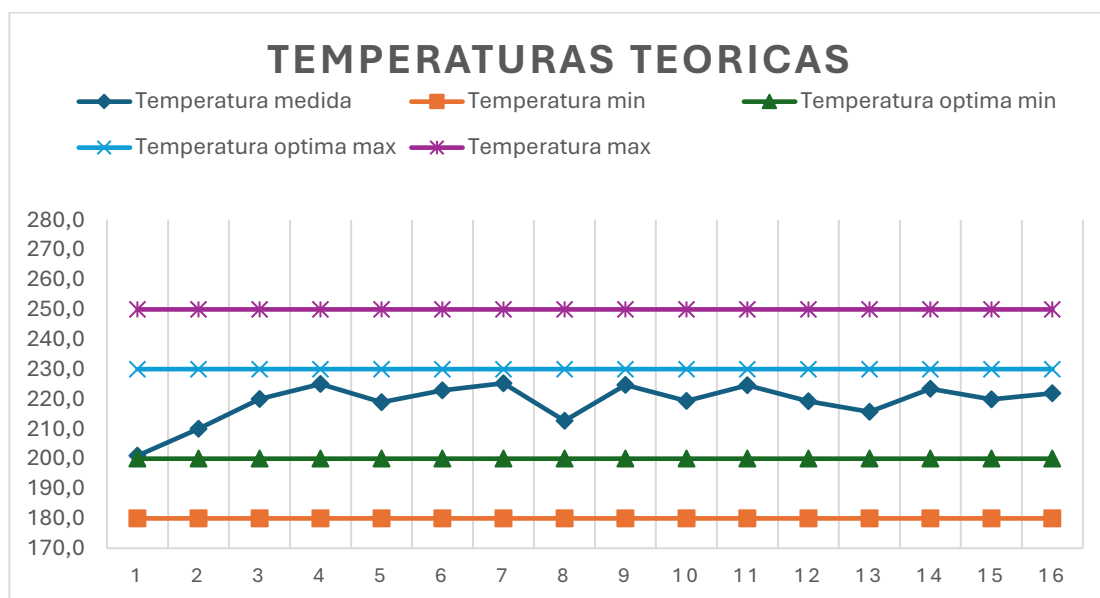
- **Temperaturas entre 200°C - 230°C** son ideales para un tostado medio-oscuro porque:
 - Permiten la desarrollo de los azúcares del grano, logrando una caramelización adecuada que aporta una dulzura compleja.

- Aseguran un tostado completo del grano, donde los aceites y compuestos volátiles se liberan, mejorando el cuerpo y sabor del café.
- Evitan que el café llegue a un sabor demasiado amargo o “quemado”, manteniendo el equilibrio entre acidez y cuerpo.
- **Temperaturas inferiores a 200°C** (como en el tostado claro o medio) no permiten que el grano desarrolle completamente estos compuestos, lo que daría como resultado un café con menos cuerpo y menos profundidad de sabor.
- **Temperaturas superiores a 250°C** (tostado oscuro) pueden llevar a la descomposición excesiva de los compuestos volátiles, lo que resulta en un sabor amargo y seco.
- **Impacto esperado**

Para ver el comportamiento de la temperatura con estas alternativas de optimización se verá un comportamiento teórico de la temperatura con dichas alternativas. (Ver el punto 5.1.1.3 Etapas de pesado y tostado)

Figura 31

Temperaturas teóricas esperadas



Fuente y elaboración propia

El gráfico de Temperaturas Teóricas evidencia que las temperaturas medidas durante el proceso de tostado se mantuvieron dentro del rango óptimo establecido, entre 195°C y 230°C, lo que indica un control térmico adecuado y estable. Esta estabilidad es fundamental, ya que garantiza que el calor se distribuya de manera uniforme sobre los granos, permitiendo un tostado homogéneo y evitando defectos como quemaduras o zonas crudas.

5.3.4 Etapas de torrado y vaciado

Dado que en la etapa anterior se propusieron alternativas técnicas que influyen y respaldan directamente el proceso de torrado, como la implementación de sensores de temperatura de alta precisión, el sistema de alarmas térmicas y el análisis mediante la escala de Agtron antes del inicio del torrado con la diferencia que las temperaturas óptimas en el torrado son de 220°C -250°C, esta fase del proceso se sustenta y optimiza gracias a dicha información. Estas herramientas permiten iniciar el tostado con parámetros previamente validados, garantizando mayor control, coherencia y calidad en el desarrollo térmico del grano. (Rev. 5.3.3 tostado)

a) Sistema de vaciado

La etapa de vaciado es un paso crucial en el proceso de torrado ya que asegura que los granos sean manipulados correctamente después de haber alcanzado la temperatura de tostado ideal. Un vaciado eficiente y controlado garantiza que la calidad del café se mantenga intacta, evitando defectos como el enfriamiento desigual o la exposición a contaminantes. Para asegurar que este proceso se realice de manera adecuada, se implementará técnicas de trabajo que detallaran en CRIO-TOR- PROC- 00 (sección 2) ahí se podrán verlas a detalle cada paso del proceso de vaciado, proporcionando directrices claras y estandarizadas para los operarios.

Objetivos

- **Preservar la calidad del café:** El vaciado debe realizarse de forma que los granos no sufran daños o alteraciones en su estructura, lo que podría afectar el sabor y aroma.

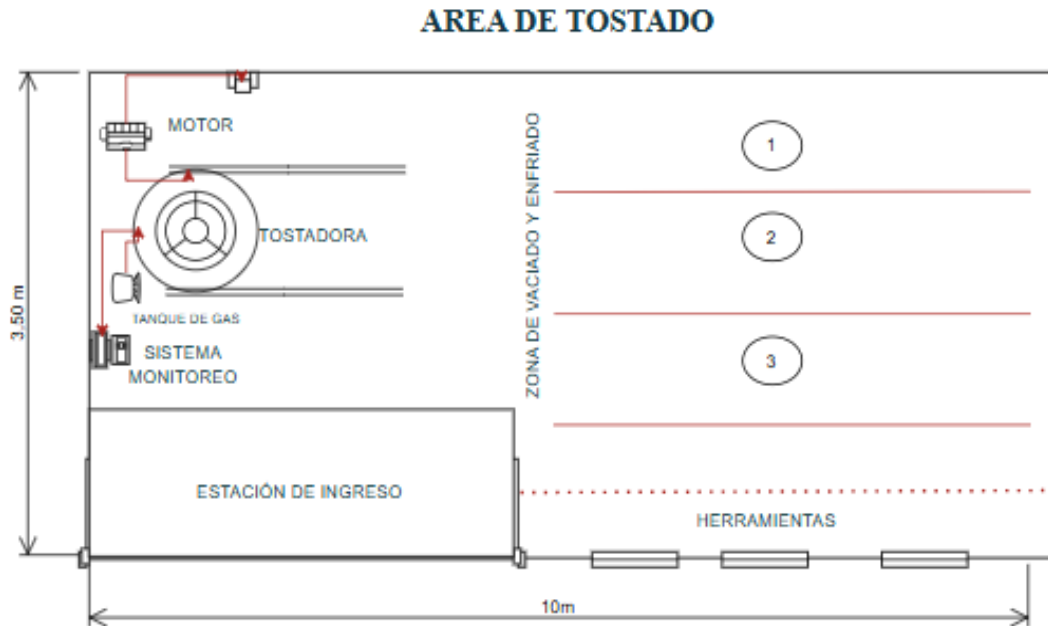
- **Evitar el enfriamiento desigual:** Es crucial que los granos se distribuyan de manera uniforme para asegurar un enfriamiento eficiente y consistente, evitando que algunos granos se enfríen más rápido que otros.
- **Prevenir la contaminación:** El vaciado debe ser realizado en un ambiente limpio y controlado para evitar la exposición a contaminantes que puedan deteriorar la calidad del café.
- **Garantizar la ergonomía en el proceso:** El proceso de vaciado debe ser diseñado para minimizar la carga física y los riesgos de lesiones para los operarios. Esto implica el uso de herramientas adecuadas y la organización del espacio de trabajo de manera que los operarios puedan realizar la tarea con el mínimo esfuerzo físico y sin esfuerzo repetitivo, mejorando así la eficiencia y el bienestar del personal.
- **Mejorar los tiempos de vaciado:** Optimizar el proceso para reducir los tiempos de vaciado, permitiendo una mayor eficiencia en la producción. Esto puede lograrse mediante la estandarización de los procedimientos, la implementación de tecnologías que aceleren la manipulación de los granos, y la mejora de la logística en el flujo de trabajo. El objetivo es mantener la calidad del café sin comprometer la rapidez en la ejecución del proceso.

A continuación, se presenta una introducción para el paso a paso de vaciado y esparcido de granos de café torrado en la zona de vaciado y enfriado. Este procedimiento, adaptado al plano del área de tostado, asegura un proceso eficiente y uniforme, previniendo la acumulación de calor y preservando la calidad del café con la colaboración de dos operarios.

Estrategia paso a paso

1. Preparación del área

- **Descripción:** Delimitar rápidamente la Zona de Vaciado y Enfriado (3.5 m x 10 m) en 3 secciones de aproximadamente y una sección para las herramientas con una tiza o cinta. Verificar que el suelo esté limpio.

Figura 32*Área de tostado dividida*

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

2. Vaciado acelerado desde la tostadora

- **Descripción:** Sacar la tostadora para liberar los 124 kg en 3 sub-lotes de aproximadamente 40-42 kg cada uno (3 ciclos) lo cual va permitir que se puedan trabajar las siguientes etapas de manera más efectiva y en conjunto a todas
- **Tiempo por sub-lote:** 1.5 minuto (total: 4.5 minutos para 3 sub-lotes).

3. Esparcido uniforme de cada sub-lote

- **Descripción:** Usar palas de acero inoxidable para esparcir cada sub-lote de 40-42 kg en capas de máximo 5 cm de espesor sobre una sección de 11-12 m². Trabajar en un patrón de ida y vuelta desde el centro hacia los bordes.
- **Tiempo por sub-lote:** 1.5 minutos (total: 4.5 minutos para 3 sub-lotes).

4. Agitación y ajuste rápido

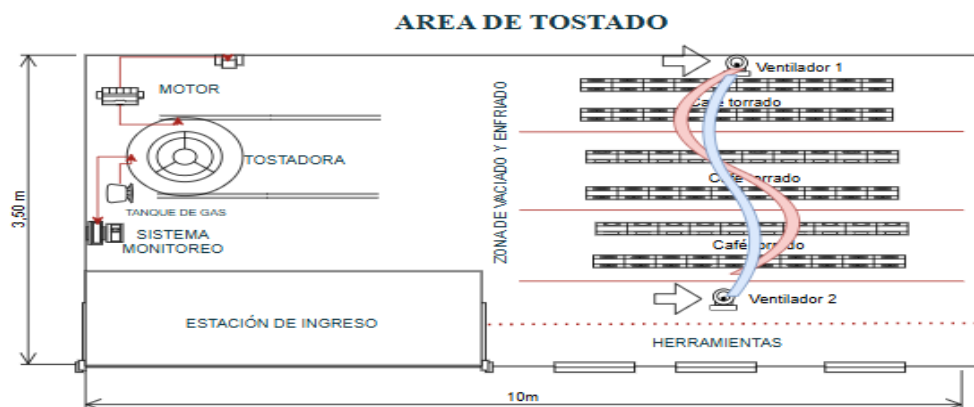
- **Descripción:** Usar un rastrillo de dientes anchos para agitar suavemente cada sub-lote, eliminando acumulaciones. Realizar una revisión visual breve y ajustar con pala si hay puntos gruesos.
- **Tiempo por sub-lote:** 1 minutos (total: 3 minutos para 3 sub-lotes).

5.3.5 Etapas de enfriado, triturado y envasado al vacío

a) Ventilación forzada cruzada

La ventilación forzada cruzada es un método altamente eficiente y efectivo para optimizar el proceso de enfriado del café torrefacto caliente. Este tipo de ventilación involucra el uso de ventiladores industriales que crean un flujo de aire dirigido y controlado, moviendo el aire a través de los granos en un patrón cruzado. La circulación cruzada permite que el aire fluya de manera uniforme y constante, lo que facilita un enfriado rápido y homogéneo, evitando que algunos granos queden sobrecalentados mientras otros se enfrían demasiado rápido. Para esto se sugiere la implementación de dos ventiladores el cual se detallará a continuación.

Estos ventiladores se colocarán de la siguiente manera y podremos apreciar en el siguiente plano la ventilación cruzada que se busca generar para los granos torrado lo cual facilitara todo el proceso de enfriado permitiéndole pasar directo si ninguna a espera a la molienda.

Figura 33*Posiciones y ventilación cruzada*

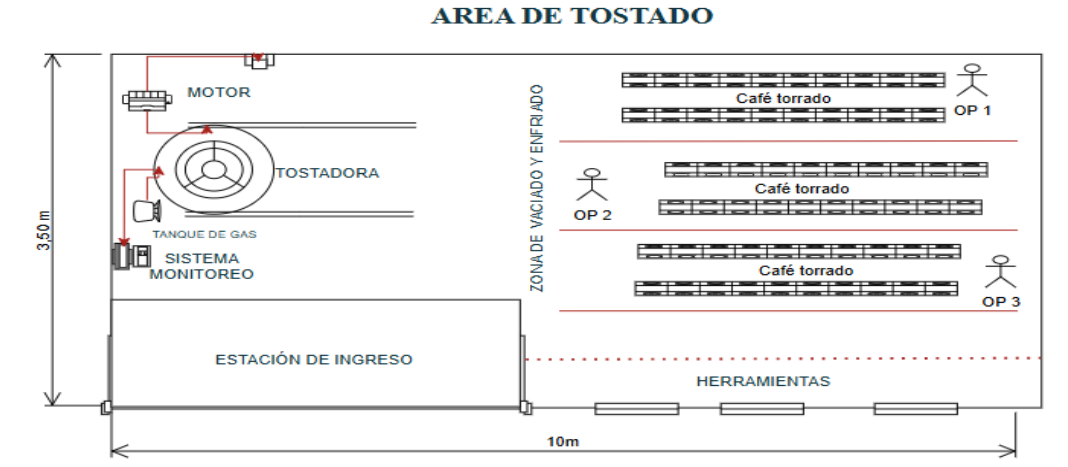
Fuente: Empresa “El criollito”

Elaboración propia

b) Estrategia de triturado

El triturado del café es una etapa crucial para garantizar que los granos tengan un tamaño uniforme antes de la molienda final. Actualmente, este proceso se realiza manualmente mediante un solo compactador, lo que genera fatiga en los operarios y puede afectar la consistencia del producto. Por lo cual siguiendo la línea del vaciado y enfriado que se vio en los anteriores puntos seguir esa división por secciones del área de vaciado y enfriado para realizar el triturado por secciones. Por lo cual se sugiere adquirir 2 compactadoras adicionales para de esa manera reducir los tiempos y la fatiga que un solo operador maneje la compactadora actual. Ver: CRIO-ETE- PROC- 00

Una vez adquiridos las apisonadoras manuales se realiza una disposición de lugares en los cuales los operarios trabajaran en sus secciones de esa manera creando un sentido de orden.

Figura 34*Plano de tostado*

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración: Propia

Nota: De esa manera el triturado alcanzara su máxima eficiencia evitando agotamientos de un solo trabajador y mejorando la calidad del producto antes de ser pasado llevado a la siguiente etapa de envasado al vacío.

5.3.6 Enfriado post molienda

El enfriado post-molienda es crítico, ya que el café recién molido mantiene temperatura elevada por la fricción, lo que puede acelerar la oxidación de aceites esenciales, reducir compuestos aromáticos y afectar el sabor y frescura. El enfriamiento manual lento genera cuellos de botella que retrasan el envasado.

En procesos artesanales, es clave aplicar técnicas de enfriamiento eficientes, seguras y económicas sin comprometer la calidad. Este procedimiento propone un método reproducible que utiliza ventilación cruzada con ventilador doméstico y soporte elevado, disminuyendo controladamente la temperatura del café molido en su bolsa de yute, preservando sus características organolépticas y facilitando su almacenamiento o procesamiento posterior.

a) Enfriamiento en altura con ventilador casero

Materiales:

- Café recién molido, contenido en su bolsa de yute.
- Silla o soporte elevado (40–50 cm del suelo, estable).
- Ventilador doméstico (preferiblemente de pie o de mesa, con dirección ajustable).

Procedimiento:

1. Colocación del café:

- Apoyar la bolsa de café sobre la silla, asegurándose de que esté estable y a la altura de los hombros o un poco más baja.
- La altura permite que el aire circule libremente alrededor del saco, evitando contacto directo con el suelo que podría ser más cálido o húmedo.

2. Aplicación del flujo de aire:

- Prender el ventilador apuntando directamente hacia la bolsa desde un lado.
- Mantener encendido durante 10 a 15 minutos por un lado del saco.
- Rotar la bolsa para exponer el otro lado al flujo de aire y repetir otros 10 a 15 minutos.

3. Rotación y circulación:

- Cada lado debe recibir aire de manera uniforme para que el enfriamiento sea homogéneo.
- Si se desea acelerar el proceso, se puede sacudir muy suavemente la bolsa para redistribuir el calor interno, pero sin abrirla.

Ventajas:

- No requiere equipos industriales.
- Método rápido: 15-20 minutos totales por bolsa.

- Mantiene la integridad del café y su bolsa de yute.

5.4 Propuesta de gestión de documentación y trazabilidad

La gestión de documentación y trazabilidad es fundamental para garantizar que cada etapa del proceso de producción del café torrado se realice de manera controlada, segura y reproducible. Esta propuesta busca establecer un sistema claro y estandarizado que permita registrar y monitorear todas las actividades analizadas asegurando la calidad, la inocuidad y la consistencia del producto. A lo largo de este apartado, se presentarán los procedimientos y registros correspondientes a las etapas del proceso, incluyendo el recepción, selección, tostado, vaciado, enfriado, triturado y molienda, facilitando la trazabilidad completa de cada lote de café.

A continuación, se verán los manuales de procedimientos, registros e instructivos propuestos

Tabla 28

Documentación propuesta

Etapa del Proceso	Manual de Procedimiento	Instructivo de Trabajo	Registro
Recepción del grano	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-01 (Ver Anexo E.1)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-01 (Ver Anexo E.1, pág. 8.)
Pesado del grano	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-01 (Ver Anexo E.1)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-01 (Ver Anexo E.1, pág. 8.)
Secado del grano	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-01 (Ver Anexo E.1)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3) CRIO-PROD-INST-02 (Ver Anexo F.2)	- CRIO-PROD-REG-01 (Ver Anexo E.1, pág. 8.) -CRIO-PROD-REG-09 (Ver Anexo F.2, pág. 6)
Inspección del grano	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-02 (Ver Anexo E.2)	- CRIO-PROD-INST-01 (Ver Anexo F.1) - CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-02 (Ver Anexo E.2, pág. 7.)

Selección del grano	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-02 (Ver Anexo E.2)	- CRIO-PROD-INST-01 (Ver Anexo F.1) - CRIO-PROD-INST-03(Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-02 (Ver Anexo E.2, pág. 7.)
Pesado y tostado	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-03 (Ver Anexo E.3)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-03 (Ver Anexo E.3, pág. 8.)
Torrado	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-04 (Ver Anexo E.4)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- - CRIO-PROD-REG-04 (Ver Anexo E.4, pág. 13)
Vaciado	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-04 (Ver Anexo E.4)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3))	- CRIO-PROD-REG-05(Ver Anexo E.4, pág. 16)
Enfriado	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-05 (Ver Anexo E.5)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-06 (Ver Anexo E.5, pág. 12)
Triturado	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-05 (Ver Anexo E.5)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-06 (Ver Anexo E.5, pág. 12)
Envasado al vacío	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-05 (Ver Anexo E.5)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-07 (Ver Anexo E.5, pág. 15)
Molienda	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-06 (Ver Anexo E.6)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-08 (Ver Anexo E.6, pág. 15)
Enfriado	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-06 (Ver Anexo E.6)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-08 (Ver Anexo E.6, pág. 15)
Envasado	- CRIO-PROD-POE-00 (Ver anexo D) - CRIO-PROD-MP-06 (Ver Anexo E.6)	- CRIO-PROD-INST-03 (Ver Anexo F.3)	- CRIO-PROD-REG-08 (Ver Anexo E.6, pág. 15)

Fuente y elaboración propia

5.5 Programa de capacitación

Con el fin de asegurar la correcta implementación del sistema de estandarización del proceso de café torrado en El Criollito, se diseñó un Programa de Capacitación orientado a fortalecer las competencias técnicas, operativas y de gestión del personal involucrado en las diferentes etapas productivas. Este programa contempla contenidos esenciales sobre control de calidad, trazabilidad, seguridad operativa y uso adecuado de los equipos e instrumentos incorporados (medidor de humedad, termopar, controlador digital, tamizadora y equipos de envasado).

La capacitación está dirigida a todo el personal operativo y administrativo del proceso, se desarrolla bajo modalidad mixta (teórica y práctica), y tiene una duración total de tres semanas. Su estructura se organiza en módulos que abarcan desde la introducción al sistema de estandarización hasta la evaluación final del desempeño, incluyendo sesiones específicas para recepción y secado, selección, tostado/torrado, enfriado, triturado y envasado.

La evaluación del programa considera fases diagnóstica, formativa y final, reforzadas con autoevaluación y coevaluación, registrándose los resultados en el formulario CRIO-CAP-REG-00. Con ello se garantiza que el personal adquiera las competencias necesarias para ejecutar el proceso productivo conforme a los procedimientos documentados, reduciendo errores y fortaleciendo la cultura de calidad de la empresa.

El Programa completo de Capacitación y Desarrollo, con su estructura detallada, contenidos, métodos, cronograma y formatos de registro, se encuentra disponible en el **Anexo G.**

5.6 Impacto esperado de la propuesta de estandarización.

La aplicación de las propuestas de estandarización desarrolladas para El Criollito representa un cambio sustancial en la eficiencia, calidad y trazabilidad del proceso productivo del café torrado. A partir del diagnóstico realizado, donde se identificaron demoras significativas en etapas como la selección de grano el enfriado natural y la falta de control en el secado y humedad del grano, se implementaron acciones correctivas que permiten transformar un sistema artesanal con variaciones considerables en uno controlado, documentado y tecnológicamente asistido, sin perder su esencia artesanal.

5.6.1 Justificación técnica de la nueva etapa incorporada en el flujograma estandarizado

Se introduce una etapa de secado controlado entre la recepción del grano y la selección/inspección. Su objetivo principal es estabilizar la humedad del café verde en un rango óptimo de 10–12%, lo que permite que las etapas posteriores se desarrollen bajo condiciones más uniformes y predecibles.

Esta intervención responde a tres problemáticas críticas detectadas:

- **Variabilidad en la humedad:** algunos lotes superaban 12%, afectando la consistencia del torrado y el perfil sensorial.
- **Riesgo de impurezas y defectos:** la falta de secado controlado provocaba granos quebradizos o con mohos incipientes.
- **Ineficiencia en la selección:** la ausencia de parámetros estandarizados aumentaba el tiempo de inspección y clasificación, afectando la productividad.

La incorporación de esta etapa permite un control más preciso de la calidad y contribuye a una trazabilidad confiable, constituyendo una reingeniería técnica que optimiza la productividad y la estabilidad operativa.

5.6.2 Resultados de la estandarización y optimización por etapa

A continuación, se presenta un resumen consolidado de las acciones implementadas por etapa del proceso productivo, que integra de manera sistemática los hallazgos detectados durante el diagnóstico previo (Ver tabla 23) y las estrategias definidas en la propuesta. Esta tabla tiene como objetivo mostrar de manera clara cómo cada intervención responde a problemáticas específicas, los equipos y herramientas utilizados, las técnicas y estrategias aplicadas, la documentación generada y los registros asociados, así como los impactos esperados en términos de calidad, eficiencia, uniformidad del producto y trazabilidad de los lotes.

Tabla 29*Tabla de acciones implementadas y mejoras por etapa*

Etapa	Hallazgo	Acciones propuestas	Equipos / Herramientas	Técnicas / Estrategias	Impacto esperado
Recepción y pesado	Humedad no controlada; ausencia de registro formal	-Diseño de un plan de control de humedad y formalización de recepción	- Higrómetro digital - Medidor de humedad Agratronix 08150	- Optimización de recepción con gestión EMC - Segregación de lotes por origen y humedad	Reducción riesgo microbiológico; mejora rendimiento del torrado
Secado controlado (nueva etapa)	Humedad variable y falta de secado formal	- Incorporación de etapa de secado controlado 10–12%	- Mesa de secado solar parabólica - Higrómetro - Medidor de humedad Agratronix 08150	- Rotación periódica de granos, ventilación controlada, monitoreo constante	Uniformidad de humedad, reducción defectos, trazabilidad del lote
Selección e inspección	Variabilidad de tiempos (900–1560 min); falta de estandarización en inspección	- Estandarización de criterios de inspección; capacitación; uso de tamizadora vibratoria	-Tamizadora vibratoria - Instructivo	- Clasificación por tamaño y defectos; flujo optimizado; rotación de operarios	Reducción de tiempos improductivos; uniformidad de lotes; consistencia sensorial
Tostado	Fluctuaciones térmicas; control visual del operario; sin registros	- Control digital de temperatura con sensor tipo K; hoja de control	- Sensor termopar tipo K -Controlador BEM 702	- Establecimiento de límites críticos en la temperatura y escala de agtrom.	Torrado uniforme; reducción de quemado; trazabilidad por lote
Torrado (caramelización)	Picos térmicos >260°C; variación según operario	- Control de fuego y tiempo - Control de la humedad	- Sensor termopar tipo K -Controlador BEM 702 - Deshumificador	- Supervisión continua	Uniformidad de color y aroma; reducción defectos sensoriales

Vaciado de la tostadora	Distribución desigual; sobrecocción potencial	Distribución estandarizada	-	- División de tareas por secciones - Técnicas ergonómicas	Evita sobrecocción; mejora seguridad y calidad
Enfriado del café torrado	Dependencia del ambiente	- Ventilación cruzada	- Ventiladores industriales	- Ventilación cruzada o forzada	Estabilización térmica; preservación de aroma
Triturado manual	Tiempos variables; ergonomía deficiente	- Uso de compactadores optimizados	- Compactadoras manuales	División por secciones; presión uniforme; rotación de operarios	Reducción de fatiga; consistencia del grano
Envasado al vacío (intermedio)	Ajustes irregulares en sellado	Procedimiento estandarizado	-	Uniformidad en registro	Mejora en la trazabilidad
Molienda	Sobrecalentamiento y tiempos altos	Procedimiento estandarizado	-	Coordinación operarios; control térmico	Preservación de aroma y sabor; control de calidad
Enfriado post-molienda	Tiempo variable; no controlado	Enfriado con ventilación	-	Flujo de aire homogéneo; control de temperatura	Preservación de aroma y frescura

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Nota: La descripción de las acciones implementadas se detalla en el **anexo E** (manuales de procedimiento), y cada etapa cuenta con registros que fortalecen la documentación y trazabilidad, según lo evidenciado en el diagnóstico (ver tabla 28). Asimismo, se dispone de un programa de capacitación, detallado en el **anexo G**.

5.6.3 Tiempos esperados

La siguiente tabla presenta los tiempos teóricos estimados para cada etapa del proceso de producción de café torrado, comparando el tiempo observado promedio del diagnóstico en condiciones de referencia con los tiempos estandarizados propuestos una vez realizado las propuestas de optimización.

Tabla 30

Tabla comparativa de tiempos observados y tiempos estandarizados

Etapa	Tiempo observado (min)	Tiempos estandarizados (min)	Reducción (%)
Recepción y pesado	-	50	-
Secado controlado (nueva etapa)	-	Variable según humedad inicial	Nueva etapa
Selección e inspección	1.300	233	-82
Tostado	75,3	60	-20
Torrado	90	75	-17
Vaciado de la tostadora	12	15	+3
Enfriado del café torrado	59,7	30	-50
Triturado manual	51	20	-39
Envasado al vacío	26	20	-23
Molienda	90	90	±0
Enfriado post-molienda	76,7	35	-54
Envasado final	112,7	111	-1,5

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

5.6.4 Impacto de la propuesta en la jornada laboral

El presente análisis evalúa cómo los nuevos tiempos estandarizados del proceso de café torrado impactan la duración y organización de la jornada laboral en la empresa El Criollito, permitiendo optimizar la secuencia de actividades y la eficiencia operativa.

5.2.4.1 Jornada laboral actual área de tostado

La siguiente tabla presenta el cronograma detallado de las actividades realizadas en el área de Tostado-Torrado durante una jornada laboral estándar.

Tabla 31

Jornada laboral actual

JORNADA LABORAL AREA DE TOSTADO ACTUAL										
1- TOSTADO-TORRADO			Inicio	Fin	2- TOSTADO-TORRADO	Inicio	Fin	3- TOSTADO-TORRADO	Inicio	Fin
1	Pesado previo (café, azúcar y cáscara)	17	7:00	7:17		7:00	7:17		7:00	7:17
2	Tostado (café pergamino)	75,33	7:17	8:32		10:15	11:30		13:15	14:30
3	Torrado (café + azúcar + cáscara)	90	8:32	10:02		11:30	13:00		14:30	16:00
4	Vaciado	12	10:02	10:14		13:00	13:12		16:00	16:12
5	Enfriado	59,67	10:14	11:14		13:12	14:12		16:12	17:12
6	Triturado manual	51	11:14	12:05		14:12	15:03		17:12	18:03
7	Envasado al vacío (café triturado)	26	12:05	12:31		15:03	15:29		18:03	18:29

Fuente: Empresa “El criollito”

Elaboración propia

La jornada actual tiene un horario laboral de unas 11:29 horas la cuales inician a las 07:00 am y concluye a las 18:29 tomando en cuenta que hay periodos en los que se hacen tareas simultáneamente y momento como ser en periodos de almuerzo que se pueden alternar para realizar sus descansos en la espera del tostado o torrado.

Tabla 32

Jornada laboral propuesta

JORNADA LABORAL AREA DE TOSTADO PROPUESTO										
1-. TOSTADO-TORRADO			Inicio	Fin	2-. TOSTADO-TORRADO	Inicio	Fin	3-. TOSTADO-TORRADO	Inicio	Fin
1	Pesado previo (café, azúcar y cáscara)	15	6:00	7:15		6:00	7:17		6:00	7:17
2	Tostado (café pergamino)	60	7:15	8:15		10:15	11:15		12:45	13:45
3	Torrado (café + azúcar + cáscara)	75	8:15	9:30		11:15	12:30		13:45	15:00
4	Vaciado	15	9:30	9:45		12:30	12:45		15:00	15:15
5	Enfriado	25	9:45	10:10		12:45	13:10		15:15	15:40
6	Triturado manual	20	10:10	10:30		13:10	13:30		15:40	16:00
7	Envasado al vacío (café triturado)	20	10:30	10:50		13:30	13:50		16:00	16:20

Fuente: Empresa “El criollito”

Elaboración propia

La jornada laboral propuesta es de aproximadamente 9 horas y 20 minutos, de 07:00 a 16:20, considerando la ejecución simultánea de algunas tareas y la programación estratégica de descansos y almuerzo durante los tiempos de espera de los procesos de tostado o torrado, sin afectar la continuidad operativa.

5.2.4.2 Jornada laboral área de envasado

La siguiente tabla presenta el cronograma detallado de las actividades realizadas en el área de Tostado-Torrado durante una jornada laboral estándar, tomando en cuenta el horario de la mañana ya que es el que se mantiene constante, siendo los otros turnos sujetos a cambios para otros productos.

Tabla 33

Jornada actual envasado

JORNADA LABORAL ENVASADO ACTUAL				
ENVASADO			Inicio	Fin
1	Molienda del café torrado	90	7:00	8:30
2	Enfriado del café molido	76,67	8:30	9:46
3	Envasado final	112,67	9:46	11:38

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

La jornada actual tiene un horario laboral de unas 4:38 horas la cuales inician a las 07:00 am y concluye a las 11:38.

Tabla 34

Jornada propuesta envasado

JORNADA LABORAL ENVASADO PROPUESTO				
ENVASADO			Inicio	Fin
1	Molienda del café torrado	90	7:00	8:30
2	Enfriado del café molido	35	9:05	9:46
3	Envasado final	112,67	9:46	10:57

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Se puede observar que hay una reducción de 41 min por jornada laboral frente a la jornada actual.

- **KPI de productividad de café**

Tomando en cuenta los siguientes datos se calculara dos KPI.

Jornada A= 11 horas con 29 min

Jornada B= 9 horas con 20 min

N° lotes= 3

Cantidad por lote= 135 kg café torrado

Aplicando la formula

$$KPI = \frac{PRODUCCIÓN\ TOTAL}{JORNADA}$$

Tabla 35

KPI de productividad producción-jornada

Jornada	Producción total (kg)	Duración de la jornada	Duración en horas decimales	Cálculo	KPI Final
Jornada A	405 kg (3 lotes × 135 kg)	11 h 29 min	11.48 h	405 ÷ 11.48	35.29 kg/h
Jornada B	405 kg	9 h 20 min	9.33 h	405 ÷ 9.33	43.41 kg/h

Fuente y elaboración propia

$$KPI = \frac{JORNADA}{N^{\circ}\ DE\ LOTES}$$

Tabla 36

KPI de productividad jornada-lote

Jornada	Duración total (h)	Lotes producidos	Duración promedio por lote (h/lote)
Jornada 1	11,48 h	3	3,83 h por lote
Jornada 2	9,33 h	3	3,11 h por lote

Fuente y elaboración propia

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO

6. Análisis económico

En este capítulo se presenta el análisis económico asociado a la implementación del plan de estandarización del proceso productivo del café torrado en la empresa El Criollito.

Se evaluarán los costos necesarios para su ejecución, así como los beneficios y ahorros que se obtendrán a partir de su aplicación, considerando el impacto en la eficiencia operativa, la reducción de desperdicios y el aprovechamiento de recursos.

6.1 Presupuesto de inversión del plan de estandarización

En la siguiente tabla se describe los costos que involucran llevar a cabo el plan de estandarización.

Tabla 37

Presupuesto de inversión del plan de estandarización

PRESUPUESTO DE INVERSIÓN						
N	ITEM	Unidad	Cant	P/Unit (Bs.)	Monto Total (Bs.)	Procedencia
EQUIPOS						
1.	Mesas de secado solar parabólico (incluye estructura metálica, malla y marquesina)	global	4	3.500,00	14.000,00	Fabricación a pedido-Tarija
2	Higrómetro digital HTC-2	global	1	120,00	120,00	Mercatech - Tarija
.3	Medidor de humedad Agratronix Modelo 08150	global	1	2.240,00	2.240,00	Ubuy-Bolivia(envio)
4	Tamizadora vibratoria lineal	global	1	20.000,00	20.000,00	Tritec Bolivia(Fabricación a pedido)
5	Termopar tipo K con termopozo cerámico C610	global	2	600,00	1.200,00	Tekne Bolivia

6	Controlador de temperatura digital BEM 702	global	1	850,00	850,00	Tekne Bolivia
7	Deshumificador industrial D150 Evolution Classic	global	1	5.500,00	5.500,00	STI-Gas Bolivia
8	Ventiladores industriales (para ventilación cruzada)	global	2	750,00	1.500,00	Tiendas locales
9	Compactadoras manuales adicionales	global	2	350,00	700,00	Tiendas locales
Subtotal de equipos (en Bs.)					46.110,00	
INSUMOS OPERATIVOS						
10	Material de registro (planillas, cuadernos, marcadores)	global	1	150,00	150,00	Imprenta local – Tarija
11	Elementos de seguridad industrial (guantes térmicos, tapabocas, mandiles)	global	4	60,00	240,00	Ferretería Industrial – Tarija
12	Etiquetas y sellos para trazabilidad de lotes	pack	5	35,00	175,00	Imprenta local – Tarija
13	Manuales, instructivos y registros impresos	global	1	300,00	300,00	Elaboración propia / impresión local
Subtotal de insumos operativos (en Bs.)					865,00	
ACTIVOS INTANGIBLES						
14	Programa de capacitación al personal (cruzada y técnica)	global	1	1.500,00	1.500,00	Elaboración propia / implementación interna
Subtotal de activos intangibles (en Bs.)					1.500,00	
TOTAL (en bolivianos)					48.475,00	

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

6.2 Evaluación de ahorro de costos operativos

El plan de estandarización propuesto para El Criollito genera beneficios económicos directos al optimizar los recursos humanos y técnicos del proceso de producción del café torrado.

Las mejoras aplicadas, tales como la calibración térmica del horno, la instalación de ventiladores industriales, el uso del termopar con controlador digital y la capacitación técnica del personal, contribuyen a una reducción de errores, tiempos improductivos y costos de mantenimiento, el cual para jornadas nos centraremos en el área de tostado

A continuación, se muestran los indicadores comparativos estimados del proceso anterior frente al estandarizado:

Tabla 38

Comparativo de desempeño operativo antes y después de la estandarización

Detalle	Proceso anterior	Proceso propuesto	Ahorro (unidad)
Tiempo total por día tostado (h/día)	11,29 hrs/día	9,2 hrs/día	2,09 hrs/día
Tiempo total por día envasado	4,38 hrs/día	3,57 hrs/día	0,81 h/día
Pérdidas de materia prima (% por defectos/humedad/selección) (189kg/día)	5 % (9,45 kg)	3 % (5,67 kg)	3,78 kg
Consumo energético (kWh/lote)	45	35	10 kWh

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Con relación a esta tabla se realiza el valor monetario de lo ahorrado.

Tabla 39*Evaluación de costos ahorrados bajo el proceso propuesto*

Detalle	Costo unitario (Bs.)	Ahorro estimado por día (Bs.)	Ahorro mensual (Bs.)
Tiempo total por día tostado (h/día)	12,5 Bs/h x 2 op	52,25	1045
Tiempo total por día envasado	12,5 Bs/h x 2 op	20,25	405
Pérdidas de materia prima (% por defectos/humedad/selección) (189kg/día)	39 Bs/kg	147,42	2948,4
Consumo energético (kWh/lote)	1,426 Bs/kWh	14,26	285,2
Total estimado de ahorro	—	234,18	4683,6

Fuente: Empresa “El Criollito”

Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla el ahorro en los costos operarios bajo la implementación del nuevo proceso propuesto se estima en 56.203,20 bolivianos al año.

6.3 Cálculo del ROI

Bajo los ahorros operativos previamente establecidos en el análisis económico, se procede al cálculo del Retorno sobre la Inversión (ROI), indicador financiero que permite medir la eficiencia de las inversiones ejecutadas dentro del plan de estandarización del proceso de café torrado en la empresa El Criollito.

A diferencia del cálculo convencional del ROI, que se fundamenta principalmente en los ingresos por ventas, en este caso se aplica un ROI basado en eficiencia o ahorro, dado que el impacto económico del proyecto se origina en la reducción de costos operativos, las menores mermas de materia prima, el disminuido consumo energético y la optimización de los tiempos improductivos dentro del proceso productivo.

Este tipo de ROI refleja cómo las mejoras técnicas implementadas entre ellas, la incorporación del secado controlado, el control de humedad mediante el medidor digital Agratronix 08150, la instalación del sensor térmico tipo K, y la reorganización funcional de las etapas del proceso contribuyen a generar un retorno financiero sostenible, sin requerir un incremento de la capacidad instalada de la planta.

$$ROI = \frac{AHORRO\ MENSUAL}{INVERSIÓN} \times 100$$

$$ROI = \frac{4683,6}{48.475,00} \times 100$$

$$ROI = 9,661\%$$

Interpretación del ROI:

El ROI obtenido es de 9,66 %, cercano al 10 %, lo que indica que la inversión genera un ahorro mensual significativo respecto al capital invertido. Este nivel de retorno demuestra que la inversión es rentable y justificada, ya que permite recuperar gradualmente el monto inicial y contribuye a la eficiencia financiera del proyecto. En términos prácticos, un ROI cercano al 10 % se considera suficiente para validar la viabilidad de la inversión.

CAPÍTULO VII
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se identificaron los puntos críticos de control (PCC) más relevantes del proceso, observándose que las etapas de selección, tostado, torrado y enfriado concentran las mayores desviaciones operativas, en estas etapas se evidenció que la falta de parámetros definidos generaba inconsistencias en la curva de calentamiento, tiempos de exposición y velocidades de enfriamiento, afectando tanto el color como el aroma del café torrado, esta identificación resultó esencial para orientar la propuesta hacia un control más preciso de los parámetros críticos
- Durante el diagnóstico se registraron picos térmicos de hasta 269,3°C en la tostadora debido al control manual de leña, la implementación del controlador digital BEM 702 y el sensor termopar tipo K permite mantener el proceso estrictamente dentro del rango óptimo de 200°C a 230°C, evitando la carbonización del grano
- Se detectó que la Humedad Relativa en el área de tostado y vaciado alcanzaba el 55%, superando el rango ideal del 40-50%, asimismo la propuesta incluye la instalación de deshumidificadores industriales D150 Evolution Classic para mantener la humedad controlada, protegiendo la higroscopicidad del grano procesado
- El diagnóstico reveló deficiencias críticas por la ausencia total de documentación (manuales y registros), lo cual causaba la variabilidad del producto final, la propuesta corrigió esta falla al implementar una estructura documental sólida compuesta por seis manuales de procedimiento y dos instructivos de trabajo, garantizando la trazabilidad, el control de registros y sentando las bases para futuras auditorías
- La comparación entre los tiempos observados y los estandarizados muestra una optimización global significativa, el enfriado del café torrado se reduce en un 50% (de 59,7 a 30 min) y la selección e inspección en un 82% (de 1.300 a 233 min), gracias a la mecanización y ventilación forzada

- El análisis de laboratorio inicial encontró lotes con 13,5% de humedad (Lote 3), excediendo el límite seguro, la incorporación de la nueva etapa de secado con mesas solares parabólicas asegura que toda la materia prima ingrese al proceso con una humedad estabilizada entre el 10% y 12%, reduciendo el riesgo microbiológico
- El secado natural diagnosticado era ineficiente y variable, el cálculo de ingeniería para la propuesta demuestra que el uso de mesas de secado parabólicas reduce el tiempo de secado de 8-12 días (método natural) a solo 4-6 días, aumentando la eficiencia del proceso previo al tostado
- Las operaciones de tostado y torrado fluctuaban en tiempo entre 78 y 95 minutos, generando curvas de tostado y torrado no uniformes y picos térmicos de hasta 269,3°C, la propuesta corrige esto al estandarizar el tiempo de tostado en 60 y 75 minutos
- Para estandarizar el punto exacto de torrado, que se realizaba empíricamente, se aplicó un análisis multicriterio (MCDM) que determina que la escala Agron 50-60 (Medio-Oscuro) obtiene la puntuación máxima de 5.0 en calidad sensorial, definiendo este parámetro como el estándar operativo para la empresa
- Se identificó que el triturado manual representaba un cuello de botella con una duración promedio de 51 minutos y alta fatiga física, la incorporación de dos compactadoras manuales adicionales y la división del trabajo por secciones permite reducir este tiempo en un 39%, bajando a 20 minutos estandarizados
- Del presupuesto total de inversión (48.475,00 Bs), la mayor parte (46.110,00 Bs) se destina a equipamiento técnico tangible (mesas de secado, tamizadora, sensores), lo que asegura que el capital se invierte directamente en activos que mejoran la capacidad productiva y la calidad del producto
- El cálculo del ROI mostró un valor de 9,66%, indicando que la inversión genera un ahorro mensual significativo respecto al capital invertido, lo que evidencia que la inversión es rentable y justificada y que un ROI cercano al 10% es suficiente para validar su viabilidad

7.2 Recomendaciones

- La implementación del plan de estandarización propuesto debe enfocarse en priorizar el control térmico, la medición de humedad y el registro sistemático de datos de producción. Estas acciones son fundamentales para garantizar la uniformidad del café torrado, reducir la variabilidad entre lotes y asegurar que cada etapa del proceso cumpla con los estándares de calidad definidos por la empresa.
- Es necesario adquirir los equipos mínimos de control, como higrómetro digital portátil, termómetro infrarrojo y termómetro de contacto. Su uso acompañado de registros diarios y calibraciones periódicas permitirá mantener la precisión de las mediciones, detectar oportunamente desviaciones en los parámetros críticos y asegurar la consistencia en la calidad del producto final.
- Los manuales de procesos, instructivos y registros deben colocarse en áreas estratégicas y de fácil acceso para todo el personal operativo. Esto facilita su consulta continua, promueve la correcta ejecución de cada procedimiento y refuerza la responsabilidad de los operadores en el cumplimiento de los estándares de producción y control de calidad.
- La capacitación continua del personal operativo resulta esencial, incluyendo temas de control de procesos, higiene, seguridad alimentaria, manejo de instrumentos de medición y análisis de datos. Este enfoque fortalece la cultura de calidad en la empresa, aumenta la competencia técnica del personal y contribuye a la eficiencia y seguridad en todas las etapas del proceso de producción.
- La realización de mantenimientos preventivos a los equipos de molienda, envasado y torrado constituye una estrategia clave para prevenir fallas, evitar variaciones operativas y prolongar la vida útil de la maquinaria. Esta práctica contribuye a mantener la eficiencia de los procesos y asegura que los equipos funcionen dentro de los parámetros óptimos establecidos en los procedimientos