

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“Implementación de controles de calidad en las etapas de desarrollo, cosecha y poscosecha para los cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) en la Hacienda San José del Real de la Carrera”

POR
BR. ANDREA CAROLINA FERNÁNDEZ HERRERA

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERA AGRÓNOMO

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO 2026

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M. Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

SECRETARIO GENERAL:

Lic. Pedro Rosalio Escobar Castaneda

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado

SECRETARIO:

M. Sc. Edgar Geovany Reyes Melara

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL:

M. Sc. Humberto Ruiz Mejía

ASESOR INTERNO:

M. Sc. Humberto Ruiz Mejía

ASESOR EXTERNO:

Ing. Agroind. Héctor Mauricio García Escobar

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL:**

Ing. Haydee Esmeralda Munguía de Pérez

RESUMEN

En El Salvador se consideran rubros de importancia comercial los cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L. var. Curare Enano). Por ello, la pasantía de práctica profesional se desarrolló en la Hacienda San José del Real de la Carrera, ubicada en Jiquilisco, Usulután, desde agosto de 2024, hasta marzo de 2025. El objetivo principal fue fortalecer los controles de calidad en cacao fino de aroma y plátano, orientados a cumplir con estándares de mercados nacionales e internacionales.

Durante la pasantía se realizaron actividades como sistematización de registros de los cultivos, monitoreo diario de temperaturas de fermentación, grados brix de pulpa de cacao y peso de la masa de cacao en fermentación. Posteriormente, se evaluó la calidad física del grano para verificar su clasificación según estándares internacionales. Asimismo, se dio seguimiento al desarrollo, floración y cosecha del cultivo de plátano.

En los registros de beneficiado de cacao se registraron 300 *batch* en total, siendo en promedio 50 *batch* por mes, el peso promedio de la masa a fermentar en cada *batch* fue de 504 lb, iniciando con una media de 17.8° brix y alcanzando una temperatura promedio de fermentación de 40.7 °C. Posteriormente al almacenamiento, se confirmó con la evaluación física del grano de cacao que cumple con los requisitos de Grado 1, conforme a normativas ISO y a la Plataforma de Cacao de Excelencia.

Respecto al plátano, el desarrollo vegetativo respondió al potencial genético de la variedad, alcanzando 2.3 m de altura de la planta y 57 cm del perímetro del pseudotallo y nueve hojas sanas al final de la floración. La cosecha presentó racimos de 31 lb en promedio, con frutos de 28 cm de longitud y 55 mm de diámetro.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme culminar la universidad, llevando conmigo valiosas experiencias agrícolas y personales que han fortalecido mi profesión. Gracias Cristo, porque Su voluntad jamás se apartó de cada uno de nosotros.

Doy gracias a la Universidad, alma mater que ha creado los espacios y medios para desarrollar profesionales que, con esfuerzo, nos hemos empeñado en obtener un título universitario.

Gracias a los docentes que mostraron a lo largo de la carrera cuál es la verdadera importancia de la Ingeniería Agronómica y la Ingeniería Agroindustrial en el mundo. A esos buenos docentes que dejaron huella, por enseñarnos con vocación y por transmitir con compromiso el verdadero valor que esta profesión puede aportar globalmente.

Agradezco también a los ingenieros docentes con quienes descubrí la agroecología, quienes apoyaron y orientaron en su momento nuestros proyectos, influyendo positivamente en mi vida estudiantil. Su huella fue más allá de lo intelectual, porque se esforzaron en hacer de este mundo un mejor lugar para las nuevas generaciones. Les deseo una larga y excelente vida.

A todo el personal universitario que siempre ha estado al servicio de lo que nosotros los estudiantes requerimos para que la formación sea más completa.

Gracias a todos mis compañeras y compañeros, que fueron parte de este camino. Un agradecimiento especial a todas las chicas de mi carrera, porque inspiran a que esta profesión tenga más mujeres fuertes e inteligentes en el campo de la agronomía.

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, quien sabe el propósito de cada uno y a pesar de muchas situaciones, me ha sostenido hasta este momento de tanta alegría.

Mi carrera entera se la dedico a mis padres, Rina Herrera y Juan José Fernández. Gracias porque con amor me han apoyado en todas las etapas de mi vida, orientándome en lo moral, físico, espiritual y financiero, siendo un excelente ejemplo para mi vida. Los amo muchísimo.

A mi abuelita, Mercedes Cerritos, pilar de nuestra familia: gracias infinitas por su amor, dedicación, y por ser un ejemplo de alegría y perseverancia ante la vida.

A mis hermanos, Adonay y Carlos, quienes me alentaron a convertirme en ingeniera, y me acompañaron en noches de desvelo estudiantil. Los amo profundamente.

A mi mentor, Raúl Reyes, quien con amor me formó y me impulsó a ser scout y a graduarme de la universidad. A mis dirigentes scout, quienes cultivaron en mí el interés, admiración y respeto por la naturaleza que aún sostengo.

A toda mi familia extensa, mis primas y primos, tíos y tías, con quienes, en medio de tanto estudio, he compartido momentos divertidos, y han sido una bendición en mi vida.

Con cariño, a nuestra compañera Yen, quien nos acompaña desde el cielo y, también se gradúa con cada uno de nosotros.

A todas mis amistades, compañeras y compañeros por el apoyo mutuo, y los inolvidables momentos y emociones compartidas durante la carrera.

A todos ustedes, les dedico este trabajo de graduación.

Que Dios los bendiga siempre.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general.	2
2.2. Objetivos específicos.	2
3. INFORMACIÓN DE LA UNIDAD PRODUCTIVA	3
3.1. Datos generales.	3
3.2. Antecedentes de la empresa.	3
3.3. Recursos.	3
3.3.1. Recursos naturales.	3
3.3.2. Instalaciones y equipos.	3
3.3.3. Recursos humanos.	4
3.4. Actividades.	4
3.4.1. Actividades de producción	4
3.4.2. Situación técnica y administrativa.	4
3.4.3. Actividades de comercialización.	4
4. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS	6
5. MARCO TEÓRICO	7
5.1. Importancia económica del cultivo de cacao.	7
5.2. Taxonomía y biología de la planta de cacao.	7
5.2.1. Tipos de cacao.	7
5.2.2. Madurez de mazorcas de cacao.	7
5.2.3. Cosecha de mazorcas.	8
5.3. Proceso de beneficiado de los granos de cacao.	8
5.3.1. En el área de fermentación.	9
5.3.1.1. Clasificación de mazorcas de cacao.	11
5.3.1.2. Quiebra de mazorcas de cacao.	11
5.3.1.3. Tiempos de fermentación del cacao.	11
5.3.1.4. Fermentación anaeróbica.	12

5.3.1.5. Fermentación aeróbica.....	12
5.3.1.6. Prueba de corte en cacao húmedo.	12
5.3.2. En el área de secado.	13
5.3.3. En el área de selección.	13
5.3.4. En el área de almacenamiento.	13
5.4. Marco regulatorio para el comercio del grano de cacao.	14
5.5. Importancia económica del cultivo de plátano.	14
5.6. Aspectos morfo agronómicos del cultivo de plátano.....	14
5.6.1. Descripción de la planta de plátano.	14
5.6.2. Ciclo de vida del plátano.	15
5.6.3. Índices de madurez del plátano.....	15
5.6.4. Daños más comunes en el cultivo del plátano.	15
5.7. Características agronómicas del cultivo de plátano.....	15
5.8.1. Práctica de deshije del plátano.....	15
5.8.2. Práctica de deshoje del plátano.....	16
5.8.3. Práctica de apuntalamiento del plátano.	16
5.8.4. Práctica de embolsado de racimos de plátano.	16
5.8.5. Práctica de encintado de racimos de plátano.	16
5.8.6. Práctica de desflore de racimos de plátano.....	16
5.8.7. Práctica de despichado de racimos de plátano.	16
5.9. Procesos de cosecha y poscosecha.	17
5.9.1. Cosecha de plátano.	17
5.9.2. Proceso de desmane.....	17
5.9.3. Proceso de desdede.....	17
5.9.4. Proceso de lavado y escurrido de plátano.....	17
5.10. Estándar de calidad para la variedad Curare Enano.	17
6. METODOLOGÍA	18
6.1. Descripción del lugar de estudio.....	18
6.2. Metodología de oficina.....	18

6.2.1. Rubro-cacao.	18
6.2.1.1. Identificación de puntos de monitoreo.	18
6.2.1.2. Definición de variables a medir.	18
6.2.1.3. Creación de formatos de medición.	19
6.2.1.4. Registro y seguimiento del batch de cacao.	19
6.2.1.5. Registro de las mediciones.	19
6.2.2. Rubro-plátano.	19
6.2.2.1. Identificación de puntos de monitoreo.	19
6.2.2.2. Definición de variables a medir.	19
6.2.2.3. Creación de formatos de medición.	19
6.2.2.4. Estimación de plantas a muestrear.	19
6.2.2.5. Registro de las mediciones.	20
6.3. Metodología de campo.	20
6.3.1. Rubro-cacao.	20
6.3.1.1. Visitas de campo.	20
6.3.1.2. Validación en campo de los formatos de medición.	20
6.3.1.3. Medición de peso del batch.	21
6.3.1.4. Medición de temperatura interna del batch.	21
6.3.1.5. Registro de la duración del secado del batch.	21
6.3.2. Rubro-plátano.	21
6.3.2.1. Visitas de campo.	21
6.3.2.2. Validación en campo de los formatos de medición.	21
6.3.2.3. Monitoreo del desarrollo vegetativo.	22
6.3.2.4. Monitoreo de la etapa de floración.	22
6.3.2.5. Monitoreo de la etapa de cosecha.	22
6.4. Metodología de laboratorio para el rubro de cacao.	23
6.4.1. Medición de los grados brix en la pulpa del <i>batch</i>.	23
6.4.2 Evaluación física de la calidad del grano de cacao.	24
6.4.2.1 Toma de muestra para evaluación física de calidad.	24

6.4.2.2. Evaluación física externa de los granos enteros de cacao.	25
6.4.2.3. Evaluación física interna con prueba de corte de los granos de cacao.....	27
6.4.2.4. Determinación del nivel de fermentación.....	28
6.4.2.5. Asignación de grado de calidad.....	28
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
7.1. Resultados del rubro de cacao.	30
7.1.1. Identificación de puntos de monitoreo en el beneficiado de cacao.	30
7.1.2. Lotes de origen de los <i>batches</i> según el mes de producción.	31
7.1.3. Comportamiento de grados brix del cacao durante la quiebra del fruto según el mes de producción.....	32
7.1.4. Comportamiento del peso del <i>batch</i> según el mes de producción.	33
7.1.5. Comportamiento de temperaturas internas del <i>batch</i> según el mes de producción.	34
7.1.6. Duración del secado del grano de cacao.	35
7.1.7. Medición del índice de grano de cacao.....	36
7.1.8. Porcentaje de humedad en el grano de cacao.	37
7.1.9. Evaluación de defectos externos de los granos de cacao.	38
7.1.10. Evaluación de defectos internos de los granos de cacao.	38
7.1.11. Porcentaje de fermentación del grano de cacao.	39
7.1.12. Asignación del grado de calidad.	40
7.2. Resultados del rubro de plátano.....	40
7.2.1. Identificación de puntos de monitoreo en los procesos de producción de plátano.	40
7.2.2. Comportamiento del desarrollo del cultivo de plátano.	42
CONCLUSIONES.....	45
RECOMENDACIONES.....	46
ANEXOS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la Hacienda San José del Real de La Carrera.	5
Figura 2. Partes de la planta de cacao.....	7
Figura 3. Viraje de color de mazorca de cacao.	8
Figura 4. Distribución de áreas del centro de acopio de la Hacienda La Carrera	9
Figura 5. Área de fermentación.....	10
Figura 6. Medición de temperatura interna del <i>batch</i>	21
Figura 7. Medición del pseudotallo de plátano..	22
Figura 8. Mediciones de calidad del plátano.	23
Figura 9. Toma de muestra para la medición de grados brix.....	24
Figura 10. Medición de grados brix en la pulpa de cacao.....	24
Figura 11. Método de muestreo por cuarteo para la evaluación de calidad física del grano de cacao.....	25
Figura 12. Uso del higrómetro para la medición de humedad en grano de cacao.....	26
Figura 13. Prueba de corte de granos de cacao con guillotina.	28
Figura 14. Grano de cacao en corte longitudinal completamente fermentados.	29
Figura 15. Flujograma del proceso de beneficiado en cacao.....	30
Figura 16. Comportamiento de cosecha de cacao según el mes de producción.....	31
Figura 17. Comportamiento de grados brix del cacao durante la quiebra del fruto por mes de producción.....	32
Figura 18. Comportamiento del peso del <i>batch</i> según el mes de cosecha.	33
Figura 19. Comportamiento de temperaturas diarias del <i>batch</i> por mes de producción.....	34
Figura 20. Comportamiento de los días totales de beneficiado.	35
Figura 21. Flujograma del cultivo de plátano.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Datos generales de la Hacienda San José del Real de la Carrera.	3
Cuadro 2. Medición de variables en el cultivo de cacao.....	18
Cuadro 3. Definición de variables para el cultivo de plátano y la frecuencia de monitoreos. .	20
Cuadro 4. Categorías del tamaño del grano de cacao.	26
Cuadro 5. Defectos externos comunes de granos de cacao.	27
Cuadro 6. Defectos internos comunes en granos de cacao.....	29
Cuadro 7. Resultados promedio (simulados) del índice del grano de cacao.	36
Cuadro 8. Resultados promedio (simulados) de la humedad del grano de cacao.	37
Cuadro 9. Resultados promedio (simulados) de los defectos externos del grano de cacao. ...	38
Cuadro 10. Resultados promedio (simulados) de los defectos externos del grano de cacao. .	39
Cuadro 11. Resultados promedio (simulados) de fermentación del grano de cacao.....	40
Cuadro 12. Resultados promedio (simulados) del desarrollo del cultivo de plátano.....	43

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de los procesos en la producción agroalimentaria constituye un factor determinante para acceder a los mercados nacionales e internacionales, que son cada vez más exigentes. Cultivos como el cacao fino de aroma y el plátano demandan controles de calidad en todas sus etapas productivas para cumplir con los estándares requeridos por dichos mercados (CONABIO, 2023). Es por ello que la empresa Platanares S.A. de C.V., a través de la Hacienda San José del Real de la Carrera, conocida como “Hacienda La Carrera”, implementó un sistema de control de calidad en la producción de cacao y plátano, orientado a garantizar que los granos y frutos sean competitivos, sostenibles y trazables (IICA, 2017).

Mejorar los procesos productivos exige evaluar el grado de cumplimiento de las normativas que regulan el comercio con destinos de alta exigencia como Europa y Asia (ICCO, 2025). Por ello, la empresa ha priorizado la sistematización de la información generada en los procesos del beneficiado y las evaluaciones físicas del grano fermentado. De forma paralela, se establecieron controles de calidad en el cultivo de plátano (var. curaré enano), registrando variables que permiten monitorear las etapas de desarrollo, floración y cosecha, con el fin de generar mediciones estandarizadas y fortalecer los parámetros de calidad del cultivo.

Como parte de estas acciones, durante la pasantía profesional se trabajó en fortalecer los controles de calidad en los cultivos de cacao y plátano, implementando prácticas que optimizan la gestión de datos y mejoran la eficiencia productiva, lo que a su vez facilita la toma de decisiones en el manejo agrícola. Esta experiencia permitió aplicar conocimientos técnicos en un entorno real, favoreciendo la sistematización de la información y los controles de calidad que contribuyen al desarrollo sostenible del sector agrícola local, apoyan la eficiencia administrativa y técnica, y generan impactos positivos en la competitividad, la diversificación de ingresos y la dinamización de la actividad rural.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.

Fortalecer el sistema de controles de calidad en las etapas de desarrollo, cosecha y poscosecha de los cultivos de cacao y plátano de la Hacienda San José del Real de la Carrera para alcanzar estándares internacionales que aseguren el acceso a mercados con mejores precios de comercialización.

2.2. Objetivos específicos.

- Sistematizar la información generada en las etapas del beneficiado del grano de cacao producido en la Hacienda San José del Real de la Carrera.
- Determinar la calidad física del grano de cacao posterior a la etapa de beneficiado y evaluar su cumplimiento con los estándares internacionales de calidad.
- Monitorear el desarrollo vegetativo, la floración y la cosecha del cultivo de plátano, var. curaré enano.

3. INFORMACIÓN DE LA UNIDAD PRODUCTIVA

3.1. Datos generales.

La Hacienda San José del Real de La Carrera pertenece actualmente al Grupo El Ángel, un grupo empresarial con amplia trayectoria en la agroindustria de El Salvador. Bajo su administración, la Hacienda produce diversos cultivos anuales y perennes (Cuadro 1) en sistemas de producción de monocultivo que se adaptan a la zona.

Cuadro 1. Datos generales de la Hacienda San José del Real de la Carrera.

Tamaño de la Hacienda.	Alrededor de 1,500 hectáreas de terreno.
Ubicación.	Km 108 1/2, carretera Litoral, Usulután. El acceso es contiguo a la ex cooperativa algodонера antes del <i>Bypass</i> de Usulután.
Coordenadas.	Las coordenadas son de altitud 13°19'27.8" N y longitud 88°31'15.5" W. Ubicado a 45 msnm.
Cultivos principales.	Caña, cacao fino de aroma, plátano, forestales.

3.2. Antecedentes de la empresa.

Fundada hace más de 125 años, la Hacienda La Carrera pasó de cultivar algodón a diversificar su producción con caña, cacao, plátano y forestales, destinando áreas a la regeneración y conservación ambiental. Desde su incorporación al Grupo El Ángel, a través de Platanares S.A. de C.V., ha reforzado su enfoque en innovación y sostenibilidad, aplicando tecnologías como uso de drones, riego por goteo, fertirriego y programas de conservación para optimizar la producción agrícola (Daarnhouwer, 2022).

3.3. Recursos.

La Hacienda cuenta con una sólida base de recursos naturales, infraestructura y capital humano que sustentan la producción de sus cultivos.

3.3.1. Recursos naturales. Se cuenta con pozos para la disponibilidad de agua, posee un clima tropical, suelos fértiles en planicie (latosol arcillo-rojizos), extensiones de tierra: para plátano (42 ha), cacao (168 ha), caña (1,260 ha) y un área forestal (30 ha). Esto suma, aproximadamente, 1,500 hectáreas para la producción y la conservación ambiental (Grupo El Ángel, 2023).

3.3.2. Instalaciones y equipos. En el área administrativa, se dispone de varias bodegas, oficinas, salas de reuniones, parqueos, áreas de descanso y dormitorios. Todo ello cuenta con

vigilancia y seguridad al interior de la Hacienda. En el área de cacao, se tiene un centro de Acopio equipado con fermentadores, cajones de selección, básculas, carretillas, bandejas de secado, termómetro de sonda y brixómetro. Para el Laboratorio de Control de Calidad, principalmente hay higrómetro para granos, balanza semi analítica, guillotina para cacao y lámpara LED con aumento. También cuenta con equipo para la preparación de pasta de cacao: horno tostador, quebradora de granos, aspiradora de cascarilla, molinillo de granos, refinadora de cacao y refrigeradores para su conservación. En el área de plátano, se cuenta con una planta de procesamiento, rieles de transporte de cosecha, drones agrícolas para aspersión, equipo de fertirriego y calibradores para plátano. Además, cuenta con maquinaria agrícola, riego por goteo, y un taller de mantenimiento para la maquinaria.

3.3.3. Recursos humanos. El personal se distribuye por áreas: (a) Personal agrícola: cerca de 60 trabajadores están bajo las instrucciones de los caporales (o supervisores de cada cultivo) que coordinan las actividades con los técnicos de cada cultivo. (b) Técnicos: un jefe de procesos agrícolas, un especialista para cacao y plátano, otro especialista para caña, y otro para riego y drones. (c) Personal administrativo: un jefe contable, un encargado de planillas, un encargado de bodega y un encargado de compraventas.

3.4. Actividades.

Las labores realizadas en la Hacienda comprenden de forma integral todo el ciclo agrícola y empresarial, desde la etapa de producción hasta la fase de comercialización.

3.4.1. Actividades de producción. En la zona, las condiciones edafoclimáticas plantean retos que incrementan la complejidad de las labores, pero a su vez impulsan mejoras continuas en la producción. Para cacao y plátano se desarrolla el ciclo productivo desde la siembra hasta la cosecha; y, aun luego de la cosecha, en cacao, se realiza el beneficiado y almacenamiento.

3.4.2. Situación técnica y administrativa. Una estructura organizativa (Figura 1) asegura el desarrollo de sus procesos y la toma de decisiones. A través de reuniones periódicas, se evalúan estrategias y ajustes en los procesos para garantizar una producción de calidad.

3.4.3. Actividades de comercialización. El área contable ejerce ventas al público, y se encarga de la recepción y el despacho de materias primas para usar dentro de la Hacienda.

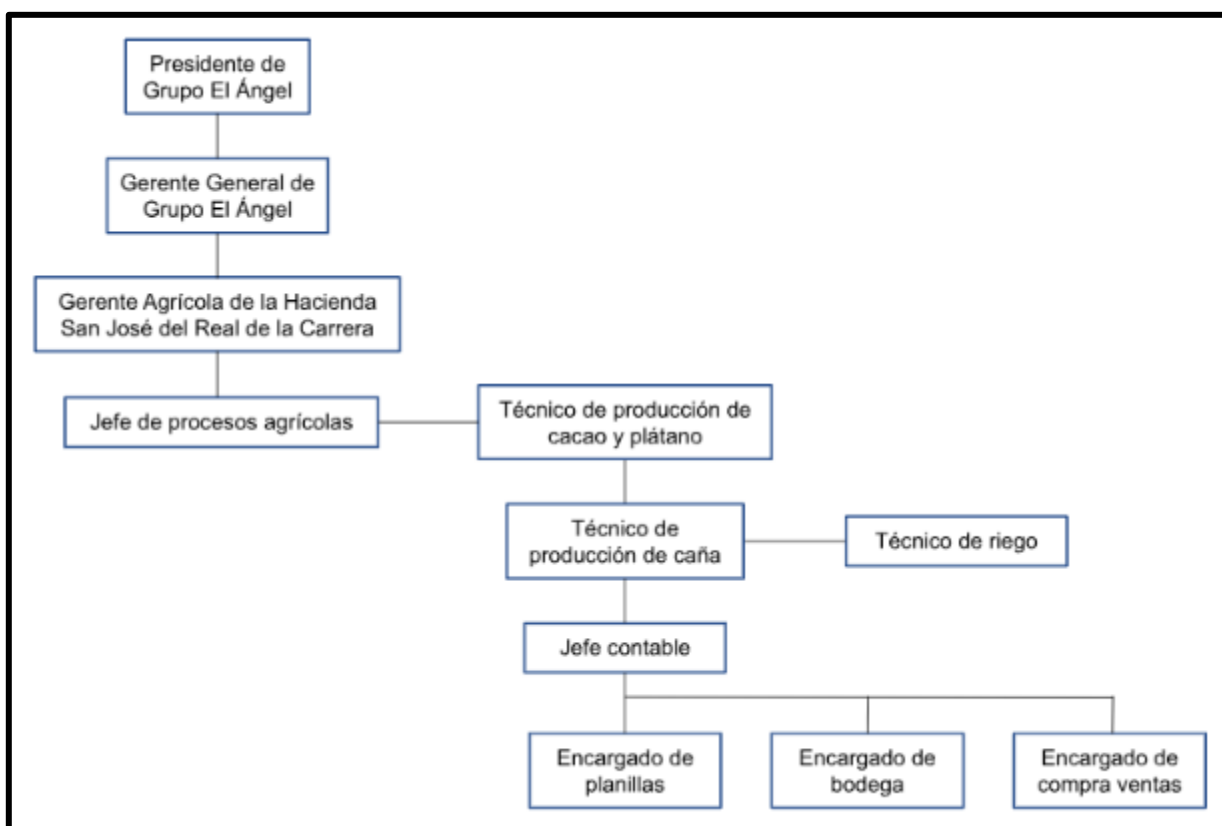


Figura 1. Organigrama jerárquico - administrativo de la Hacienda San José del Real de la Carrera.

4. ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS

La Hacienda La Carrera enfrenta limitaciones con la implementación de la trazabilidad y el control de calidad en los cultivos de cacao y plátano, lo que restringe su acceso a algunos mercados especializados. La Hacienda, a pesar de comercializar cacao fermentado, que tiene más valor para los clientes, no cuenta con un sistema digital que registre variables importantes durante el proceso del beneficiado (lotes de origen del *batch*, el peso del *batch*, los grados brix de la pulpa, las temperaturas internas del *batch* durante su fermentación y la duración del secado del grano), ni se registran las evaluaciones físicas del grano de cacao por lote de almacenamiento (porcentaje de la humedad del grano, el índice de grano, la medición de defectos externos e internos del grano de cacao o el porcentaje de fermentación obtenido). Además, los registros del beneficiado que actualmente se manejan, son de forma manual, lo que limita la visualización y manipulación de datos específicos sobre la fermentación.

Las normas internacionales como las ISO 2451:2017, la ISO 34101-3:2019, la ISO 34101-4:2019, el Reglamento Nº 178:2002 de la comisión europea o certificaciones como *Rainforest Alliance* que rigen los mercados europeos, exigen trazabilidad, calidad certificada, flujos de procesos de producción y documentación técnica (*Rainforest Alliance*, 2019). Sin embargo, su adopción en El Salvador enfrenta obstáculos como la baja digitalización, una infraestructura limitada y altos costos. La falta de registros impide validar procesos, acceder a certificaciones y posicionar productos en nichos de mercado específicos.

En el caso del cultivo de plátano (var. curaré enano), se necesita documentar el desarrollo vegetativo, la floración y la cosecha, para verificar si el material genético expresa su potencial productivo en las condiciones agrícolas de la Hacienda. Los factores como la nutrición, la calidad del suelo y la regulación sanitaria influyen directamente en la productividad; pero sin monitoreo estructurado, no se pueden orientar correctamente las decisiones agronómicas ni validar el rendimiento esperado.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Importancia económica del cultivo de cacao.

La demanda internacional de chocolate mantiene una tendencia creciente para el mercado del cacao y proyecta que las exportaciones de grano alcancen los 3,300 millones de dólares en 2026. Además, en 2024 el precio del cacao llegó a un precio histórico mayor a \$12,000 por tonelada, luego de haberse mantenido cerca de \$2,500 por tonelada desde el 2016 (ICCO, 2025). Este crecimiento ofrece oportunidades para que los países productores brinden granos con calidad y sabor acordes a las exigencias del mercado internacional.

5.2. Taxonomía y biología de la planta de cacao.

La planta de cacao es un árbol perennifolio (Anexo A-1) que, para cultivarlo se mantiene de 2 a 3 metros de alto. Las ramas primarias se disponen en verticilos terminales llamados "molinillos" con 3 a 6 ramas cada uno. Las inflorescencias se forman sobre el tronco o las ramas en grupos de 40 a 60 flores llamados "cojinetes florales" (Figura 2) que se activan en cada ciclo de floración, pero solo una o dos flores por cojinete logran desarrollarse plenamente en el fruto, que también es llamado "mazorca" (CONABIO, 2023).

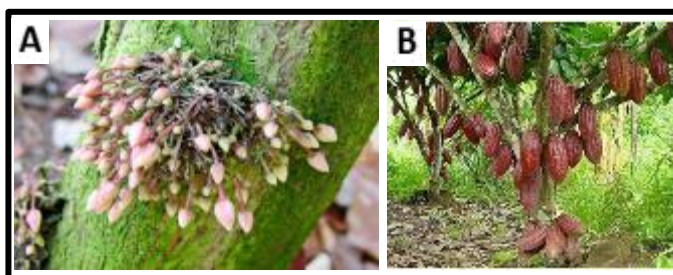


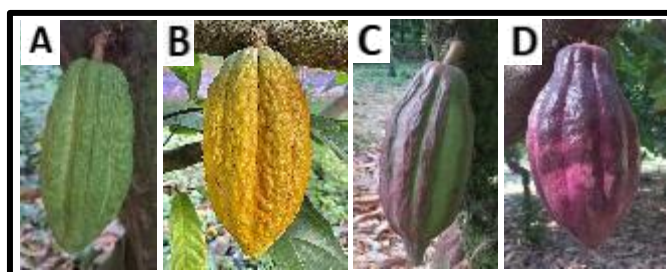
Figura 2. Partes de la planta de cacao. (A) Cojinetes florales y (B) frutos, llamados mazorcas.

5.2.1. Tipos de cacao. Predominan el tipo de cacao criollo y forastero con rasgos muy específicos (Anexo A-2) y el cacao trinitario se caracteriza por mezclar atributos de ambos tipos de cacao.

5.2.2. Madurez de mazorcas de cacao. La mazorca madura se distingue porque las marcas longitudinales del fruto se amplían y la pulpa se desprende ligeramente de la cáscara por lo que crea un sonido hueco al impacto. Además, la característica más notoria de madurez es el viraje de color externo. Es importante considerar que algunas mazorcas, en su estado inmaduro pueden cambiar de color verde a color amarillo, rojo o violeta (Figura 3); otros

frutos, aunque estén maduros, permanecen color verde o rojizo. Sin embargo, esta característica puede variar dependiendo de la genética o la caracterización de cada árbol y también se pueden generar colores mixtos (Pérez y Contreras, 2017).

Figura 3. Viraje de color de mazorca de cacao. (A) Fruto inmaduro; (B) fruto maduro; (C) fruto inmaduro y (D) fruto maduro.



5.2.3. Cosecha de mazorcas. Es fundamental cosechar la mazorca en su punto óptimo de madurez ya que no son frutos climatéricos. Si el fruto está inmaduro cuando se cosecha, la pulpa permanece muy sólida y produce granos pizarrosos, o con sabores amargos debido a la poca cantidad de mucílago. Si el fruto está sobre maduro, las semillas germinan dentro de la mazorca o son perforadas por animales. Si las mazorcas están perforadas, la pulpa comienza a fermentar antes de tiempo ya que tiene contacto con el oxígeno y, es mejor dejarlos en campo (CEDAF, 2009).

La cosecha se realiza con una cuchilla para cortar cacao, machete o tijera de podar, cortando justo en el pedúnculo, evitando jalar o retorcer la mazorca para no dañar el cojín floral. La recolección en picos de producción se realiza semanalmente y en los periodos de menor producción cada 15 a 21 días (FEDECACAO, 2005).

Al ser cosechados, los frutos maduros se colocan en redes de pita o yute (Anexo A-3) en las que caben alrededor de 100 frutos. Luego se trasladan las redes al centro de acopio por medio de un tractor de remolque para su posterior beneficiado.

5.3. Proceso de beneficiado de los granos de cacao.

Una vez cosechadas las mazorcas, el siguiente paso es el beneficiado de los granos de cacao. En esta etapa, se puede optar por fermentar o no los granos; no obstante, la fermentación es altamente recomendable, ya que es fundamental para desarrollar el sabor característico a chocolate, el cual es clave para los mercados internacionales (Aguilar, 2017).

Tipos de “lotes” durante el proceso de beneficiado:

Para comprender el flujo del beneficiado, es esencial distinguir los tipos de lotes que se mencionan en cada etapa. Los “lotes de campo” hacen referencia a las 12 parcelas de tierra sobre las que están sembradas las plantas de cacao. También, se mencionan los “lotes de origen” que corresponden a uno o varios lotes de campo que dan origen a los *batch* de fermentación. Estos *batch*, son sinónimo de los “lotes de producción”, que son una masa de cacao fresco que se extrae del fruto en una fecha específica y su pulpa se coloca en un mismo fermentador para continuar el proceso de beneficiado, compartiendo las mismas características antes de almacenarse. Luego se encuentra, un “lote de almacenamiento” que agrupa, según el mes de producción, los diferentes *batch* del mes y se guardan en bodegas.

El beneficiado se lleva a cabo en el centro de acopio (Figura 4), que contiene cuatro instalaciones principales: (1) el área de fermentación, (2) el área de secado, (3) el área de selección, (4) el área de almacenamiento. A continuación, se detalla que se hace en cada uno:



Figura 4. Distribución de áreas del centro de acopio de la Hacienda La Carrera (Google Maps, 2025).

5.3.1. En el área de fermentación. Debe ser una construcción cerrada, amplia y bien ventilada, protegida de la entrada de roedores (Aguilar, 2017). En la Hacienda, las paredes son de ladrillo, el techo de lámina y las ventanas se protegen con malla metálica para mantener las condiciones sanitarias. En su interior (Figura 5), se localizan dos estructuras principales: los cajones de selección y los cajones de fermentación.

Los cajones de selección cumplen la función de clasificar las mazorcas según su madurez y apariencia externa e interna al descargar la cosecha de mazorcas y quebrarlas para su

fermentación. Son dos cajones de madera de 4 metros cúbicos cada uno y poseen un filo metálico en el borde (Anexo A-4) que facilita la apertura de las mazorcas durante la quiebra. Los cajones de fermentación cumplen la función de fermentar los *batch*. Estos cajones, deben de construirse con madera blanca lijada, sin resina ni barniz, para evitar la presencia de sustancias que alteren el proceso fermentativo. Presentan un diseño tipo cascada de cuatro niveles, cada uno con una capacidad aproximada de un metro cúbico. Las tablas frontales son móviles para facilitar el volteo de la masa de cacao en cada *batch*, mientras que la base es fija y cuentan con orificios de drenaje que permiten evacuar los lixiviados hacia una canaleta y un recipiente recolector. Existe por separado otra estructura de cajón de fermentación de un nivel, que contiene el cacao que está sobremaduro, cuya función es llevar a cabo una fermentación más corta ya que su proceso de fermentado inició desde el campo. No se realiza la desinfección entre cada fermentación, ya que la carga microbiana residual favorece el desarrollo natural del proceso, asegurando así una fermentación continua y eficiente (FEDECACAO, 2005).



Figura 5. Área de fermentación. (A) Instalación; (B) cajón de selección y (C) cajones fermentadores.

Es importante mencionar que, para lograr una fermentación óptima del cacao, es esencial mantener un volumen de granos que permita alcanzar y conservar temperaturas internas adecuadas, entre 21 y 55 °C, asegurando así un proceso de fermentación homogéneo y de alta calidad (End y Dand, 2023). El volumen de masa de cacao por *batch* que es suficiente para generar dichas temperaturas oscila entre 55 y 1,100 lb de cacao fresco (Ruíz y Pangan, 2018). Considerando que cada mazorca aporta cerca de 0.5 lb de granos, se requieren entre 110 y 2,200 mazorcas para conformar una masa fermentable representativa (Pérez y Contreras, 2017). Sin embargo, los *batch* de peso intermedio (440–880 lb) permiten una fermentación estable en cajones medianos como el de la Hacienda, que permiten favorecer la oxigenación,

el drenaje del mucílago y los volteos periódicos (Ruíz y Pangan, 2018). No obstante, es importante aclarar que, cuando el volumen supera las 1,000 lb, la fermentación puede volverse irregular, generando acidez excesiva o granos pizarrosos que afectan la calidad del cacao (Aguilar, 2016).

A continuación, se describen las fases del proceso de fermentación de los granos de cacao:

5.3.1.1. Clasificación de mazorcas de cacao. Primero, el operario distingue de cuales lotes del campo proviene la cosecha; y luego, en el cajón de selección, evalúa visualmente el exterior de cada mazorca según su grado de madurez y condición sanitaria, clasificándolas, ya sea como mazorca madura y sana o como mazorca sobremadura, inmadura o con defectos leves. Se colocan en diferentes cajones de selección según sea el caso.

5.3.1.2. Quiebra de mazorcas de cacao. Las mazorcas se abren y su pulpa se evalúa visualmente antes de extraerla a mano junto con las semillas. Si la pulpa es blanca y abundante, significa que es un mucílago sano proviene de mazorcas maduras y sanas. Esta pulpa se desgrana sobre una cubeta hasta llenarla (es pulpa de mejor calidad, conocida en la Hacienda como cacao clase A). Al llenar la cubeta, se pesa la cubeta anotando el peso y se vacía en el cajón correspondiente de fermentación en cascada. Por el contrario, si el mucílago es escaso, amarillento o con defectos leves, se dirige a otra cubeta donde se contiene este tipo de pulpa (de menor calidad, conocida en la Hacienda como cacao clase B) y suele provenir de mazorcas con defectos leves, sobremaduras o inmaduras. Se pesa la cubeta anotando el peso y se vacía en el fermentador de un nivel, que se fermenta menos tiempo. Este proceso de llenar y vaciar las cubetas se repite hasta que las mazorcas que se hayan cosechado sean quebradas en su totalidad. Al terminar la quiebra, los granos se distribuyen de manera uniforme y se cubren los cajones con hojas de plátano y sacos de yute, para conservar el calor y propiciar el desarrollo microbiano que inicia la fermentación (Ruíz y Pangan, 2018).

5.3.1.3. Tiempos de fermentación del cacao. Se manejan diferentes días de fermentado según la calidad de la pulpa. Donde, si el mucílago es blanco y abundante, tiene un tiempo de fermentación entre 5 a 7 días. Sin embargo, aquella pulpa escasa, amarillenta o con defectos leves, la fermentación oscila entre 3 a 5 días (End y Dand, 2023).

En la Hacienda, estos tiempos ya están definidos, por lo que al cacao que llaman “clase A”, lo

dejan fermentar 5 días en los fermentadores estilo cascada (multinivel) y al cacao “clase B” solo 3 días en el fermentador de un solo nivel; porque generalmente ya ha iniciado su proceso de fermentación en campo. Es importante aclarar que estas clases de cacao facilitan los procesos internos de la Hacienda y que no definen el grado de calidad que el cacao pueda tener según el criterio internacional.

5.3.1.4. Fermentación anaeróbica. La primera fase de la fermentación se caracteriza por un ambiente anaeróbico durante las primeras 48 horas. En este periodo, el cacao permanece en reposo y las levaduras transforman los azúcares del mucílago en etanol. Inicialmente, el mucílago tiene concentraciones de azúcares de 14 a 22° brix (García, 2018), temperatura inicial de 21 a 27 °C y el pH oscila de 3 a 4 (IICA, 2017). Mientras la fermentación anaeróbica sucede, la masa de cacao se calienta, aumentando la temperatura de 28 a 45 °C (Pérez y Contreras, 2017).

5.3.1.5. Fermentación aeróbica. Luego de las 48 horas, para generar la fase aeróbica, se realiza el primer volteo, que es la remoción de granos hacia el siguiente cajón de fermentación, donde se permite el ingreso de aire en la masa de cacao. De esta forma, después de las 48 horas de fermentación, las bacterias acéticas convierten el etanol en ácido acético. En este entorno, la temperatura asciende de 45 a 50 °C (Pérez y Contreras, 2017), y se mantiene así hasta el final de la fermentación ya que se debe continuar con los volteos cada 24 horas. Esta práctica de volteos se hace solo con palas de madera lijada para evitar contaminación (Aguilar, 2017).

5.3.1.6. Prueba de corte en cacao húmedo. Se puede observar la calidad de la fermentación al partir el grano longitudinalmente. Si sus cotiledones están bien agrietados, eso evidencia la entrada de los ácidos de la pulpa al interior del grano; además el grano ya posee un color café característico que indica que la fermentación fue exitosa. Para un cacao criollo, puede ser un tono café más claro que para un cacao amazónico, ya que antes de la fermentación, en su estado crudo, el cacao criollo tiende a tonos blancos o rosados y el amazónico, tiende a tonos violetas. También, se puede dar una fermentación parcial dentro del grano, donde las grietas no se definen completamente y el viraje de color es parcial, por lo que la fermentación se desarrolla sólo en ciertas áreas equivalentes a un 50% de la superficie (Quevedo, 2006).

5.3.2. En el área de secado.

En la Hacienda, el secado del cacao se realiza en bandejas corredizas metálicas que facilitan su exposición al sol y su resguardo bajo techo según las condiciones climáticas. Cada bandeja posee dimensiones de 2 m de largo, 1.5 m de ancho y 0.20 m de alto. La base de las bandejas se construye con doble malla metálica fina galvanizada para permitir una mejor aireación del grano sin que estos se salgan entre las rendijas de la malla.

Posterior a la fermentación, los granos se trasladan en carretillas hasta las bandejas y se distribuyen uniformemente (Anexo A-5), donde inicia el proceso de secado. Durante esta fase, se emplean paletas de madera blanca lijada para removerlos con frecuencia, evitando su adherencia y asegurando un secado uniforme (Bobiles et al., 2021).

Durante los dos primeros días, los granos se exponen brevemente al sol y luego permanecen bajo sombra para permitir la liberación gradual de los ácidos volátiles formados durante la fermentación (ICCO, s.f.). En los días siguientes, los granos se exponen completamente al sol, y se remueven cada dos horas para garantizar la homogeneidad del proceso de secado que se detiene cuando alcanza una humedad del grano del 7% (Aguilar, 2016).

5.3.3. En el área de selección.

Cuando el grano está seco, se limpia y clasifica dos veces antes de su almacenamiento, con el fin de eliminar los granos defectuosos. Se usa primero una máquina cribadora (Anexo A-6) para separar los granos planos y vanos. Posteriormente, los operarios realizan una clasificación manual colocando el grano sobre una mesa donde se retiran los granos partidos, germinados, pegados y mohosos. Al finalizar la selección, se depositan los granos en sacos de yute con su respectiva identificación y se guardan en las bodegas.

5.3.4. En el área de almacenamiento.

Las bodegas son estructuras con techos metálicos y sus puertas y ventanas se protegen con malla para evitar la entrada de plagas. Los sacos de cacao se colocan sobre tarimas de madera, en bolsas resellables (Anexo A-7) especiales para granos para que no absorban humedad, ni desarrollen hongos. El estibamiento se realiza con un máximo de seis filas de sacos para evitar que se quiebre el grano, y conservarlos hasta un máximo de 3 meses (ICCO, s.f.).

5.4. Marco regulatorio para el comercio del grano de cacao.

El comercio internacional del cacao está regulado por normas, plataformas y certificaciones que garantizan su calidad, inocuidad, trazabilidad y sostenibilidad, los cuales influyen directamente en su precio.

Para la trazabilidad, que es asegurar el seguimiento del producto desde el origen hasta el consumidor (FAO, 2017), se cuenta con el apoyo de la ISO 22000:2018 y el Reglamento europeo 178:2002 que velan por su cumplimiento.

Para comercializar, los principales lineamientos se encuentran en las versiones gratuitas de las ISO 2451:2017, ISO 2292:2017 e ISO 1114:1977. Sin embargo, cada país o comprador puede tener sus propios lineamientos para el grano de cacao que prefiere comprar.

Para los demás aspectos de evaluación del cacao se toman como referentes la plataforma de Cacao de Excelencia y la FHIA, ya que, en conjunto, este marco regulatorio fortalece el control de calidad y la competitividad del cacao salvadoreño.

5.5. Importancia económica del cultivo de plátano.

La demanda mundial de plátano continúa en aumento, generando oportunidades para productores y exportadores en regiones tropicales. En 2022, las exportaciones mundiales de banano y plátano alcanzaron un valor de 14,600 millones de dólares, siendo América Latina y el Caribe responsables de cerca del 80 % del comercio internacional (FAO, 2021).

5.6. Aspectos morfo agronómicos del cultivo de plátano.

5.6.1. Descripción de la planta de plátano. Es una herbácea gigante (Anexo A-8) cuyo rizoma o corno subterráneo constituye el tallo verdadero, mientras que el tallo aparente, del cual se origina el racimo, se denomina pseudotallo. La planta alcanza una altura de 2 a 3 metros y posee raíces superficiales, concentradas principalmente en los primeros 15 a 20 cm del suelo (*GreenLab Biotechnology*, 2025). Presenta hojas grandes, alargadas y dispuestas en espiral, destacando la “hoja bandera”, que se mantiene enrollada y anuncia la formación de una nueva hoja. La inflorescencia, conocida como “pichota”, es una espiga terminal también llamada “bellota”, que se forma a partir de una estructura denominada “raquis”, ubicada cerca de la hoja bandera. Esta estructura da origen a los racimos, compuestos por “manos” de plátano,

cada una integrada por “dedos”, es decir, bayas alargadas desarrolladas de forma partenocárpica (Bolaños et al., 2020).

5.6.2. Ciclo de vida del plátano. Su ciclo de vida abarca entre 9 y 12 meses desde el vivero hasta la cosecha, dependiendo de las condiciones agroclimáticas y las prácticas de manejo (Jaramillo et al., 2019). Cada planta produce un único racimo y genera brotes adyacentes en la base del pseudotallo, que pueden emplearse para la reproducción asexual (Mejía, 2018).

La selección adecuada del material de siembra influye directamente en la productividad: la propagación *in vitro* ofrece plantas uniformes, muy sanas y de alto rendimiento. Por su parte, si se extraen cormos o rizomas (Anexo A-9), se generan plantas vigorosas y muy adaptadas a la zona climática donde el cultivo es desarrollado (Fernández et al., 2021).

5.6.3. Índices de madurez del plátano. La madurez se determina por el llenado y desaparición de aristas o angularidad en el fruto (Anexo A-10). La cosecha se realiza en estado verde-maduro, su piel es totalmente verde, pero el fruto fisiológicamente está maduro (Bolaños et al., 2020). Una maduración controlada puede ser inducida durante la poscosecha por medio del tratamiento con etileno exógeno (Arias y Toledo, 2000).

5.6.4. Daños más comunes en el cultivo del plátano. Entre las enfermedades más comunes (Anexo A-11) se encuentran la Sigatoka, la punta de cigarro, la antracnosis y la pudrición de la corona. Los frutos también pueden sufrir daños mecánicos que ocurren durante las actividades de producción y afectan su apariencia (UCDAVIS, 2024).

5.7. Características agronómicas del cultivo de plátano.

El cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) var. curaré enano, se caracteriza por su alta productividad y adaptabilidad a sistemas intensivos en zonas cálidas y húmedas como la zona costera de El Salvador. Requiere temperaturas de 25-30 °C, humedad relativa >80 % y precipitaciones anuales de 2,000 a 2,500 mm (Mejía, 2018). Los suelos ideales son profundos, fértiles, bien drenados, con pH de 5.5 a 7.0 y buena retención hídrica (Jaramillo et al., 2019).

5.8. Prácticas culturales realizadas en el cultivo de plátano.

5.8.1. Práctica de deshije del plátano. El deshije mantiene la plantación en buen estado y optimiza el rendimiento al eliminar brotes cada dos meses, conservando solo el hijo de espada más vigoroso y bien posicionado respecto a la planta madre (UCDAVIS, 2024).

5.8.2. Práctica de deshoje del plátano. El deshoje sanitario elimina hojas enfermas, viejas o dañadas, mientras que el deshoje de protección retira las que puedan afectar el racimo. Ambos se realizan de abajo hacia arriba, dejando parte del falso pecíolo para prevenir infecciones (Arias y Toledo, 2000).

5.8.3. Práctica de apuntalamiento del plátano. Esta labor busca dar soporte a las plantas con racimos para evitar que se doblen o vuelquen por su peso, lo cual genera pérdidas. Se debe prevenir adoptando esta práctica en épocas de viento, durante el deshoje y frente a plagas como el picudo y nematodos que debilitan el tallo (Mejía, 2018).

5.8.4. Práctica de embolsado de racimos de plátano. Se coloca una bolsa protectora (Anexo A-12) en el racimo moviendo primero la hoja bandera al lado opuesto de la bellota, retirando las hojas que interfieran y marcando la bolsa con una cinta según la semana de embolsado. Este procedimiento favorece el crecimiento del fruto, mejora su tamaño y peso, y protege contra plagas, aves y daños físicos (Mejía, 2018).

5.8.5. Práctica de encintado de racimos de plátano. La cinta o listón (Anexo A-13) se coloca en la parte superior o inferior del racimo junto con la bolsa y se utiliza como herramienta práctica para planificar y controlar la cosecha (Fernández et al., 2021). En la Hacienda, esta labor se realiza durante diez semanas consecutivas, asignando un color distinto por semana para identificar la etapa de desarrollo de los racimos. Este sistema permite estimar la edad fisiológica del fruto, organizar la producción según la demanda del mercado y garantizar una recolección uniforme y de calidad (Bolaños et al., 2020).

5.8.6. Práctica de desflore de racimos de plátano. El desflore mejora la apariencia del fruto y previene enfermedades como la pudrición falsa del dedo y la punta de cigarro. Se realiza manualmente, manteniendo una adecuada higiene y aplicando productos fitosanitarios al finalizar. Puede hacerse en dos fases, con un intervalo de dos días, o en una sola jornada, según la práctica del productor (UCDAVIS, 2024).

5.8.7. Práctica de despichado de racimos de plátano. Una vez formado el racimo, utilizando un machete, se retira la inflorescencia, bellota o pichota y los dedos de la última mano (Anexo A-14) y luego se descartan para evitar plagas. Con esta actividad se busca que el racimo alcance

mayor tamaño y peso en los plátanos ya que mejora la distribución de nutrientes, favorece una maduración uniforme y aumenta el peso de los frutos (Arias y Toledo, 2000).

5.9. Procesos de cosecha y poscosecha.

A continuación, se explican conceptos para cosecha y poscosecha de plátano:

5.9.1. Cosecha de plátano. Los racimos se cortan del raquis con machete, evitando que caigan al suelo para prevenir daños en los frutos. En la Hacienda, se cosecha alrededor de la semana 33 y tiene una duración aproximada de diez semanas o más, según el grado de madurez de los racimos en cada lote, hasta completar la recolección total. Al cosechar, los racimos se colocan en el cable vía (Anexo A-15) y son transportados hacia el centro de procesamiento de plátano.

5.9.2. Proceso de desmane. Es una labor de poscosecha que consiste en separar las manos del racimo principal. Se cortan cuidadosamente separándolas del raquis con herramientas afiladas. Esto facilita el manejo, el pesado y la entrega del producto (Jaramillo et al., 2019).

5.9.3. Proceso de desdede. consiste en retirar los dedos del racimo, separando los plátanos defectuosos o dañados, que tengan malformaciones, golpes, rajaduras, pudriciones o manchas que reduzcan su valor comercial. Se dejan únicamente las unidades que tengan apariencia homogénea, para mejorar la presentación y calidad (Fernández et al., 2021).

5.9.4. Proceso de lavado y escurrido de plátano. Se realiza inmediatamente después del desmane o desdede, a petición del cliente, sumergiendo las unidades en pilas de lavado con soluciones dispersantes de látex y desinfectantes, dejándose escurrir en jabas (Anexo A-16). Esta práctica mejora la apariencia del plátano, contribuye a la higiene y seguridad alimentaria, reduce la proliferación de patógenos, y prolonga su vida anaquel (Arias y Toledo, 2000).

5.10. Estándar de calidad para la variedad Curare Enano.

Se basan principalmente en normas de calidad para plátanos destinados al mercado fresco, que exigen que los frutos estén sanos, limpios, de consistencia firme y libres de plagas o daños. Es importante que se garantice la uniformidad en el tamaño del fruto para la aceptación de los clientes. A continuación, se detallan las categorías de calidad del *Codex Alimentarius*, en la Norma CXS 205:1997 (2022), (Anexo A-17), para *Musa paradisiaca*. En la Hacienda, la categoría Extra y Clase I se manejan a precios más altos que la Clase II.

6. METODOLOGÍA

6.1. Descripción del lugar de estudio.

La Hacienda San José del Real de La Carrera colinda al noroeste con Jiquilisco, al suroeste con Puerto El Triunfo y al noreste con la cabecera departamental de Usulután. El cacao está distribuido en 12 parcelas dentro de 168 hectáreas, mientras que el plátano ocupa 8 parcelas en 42 hectáreas (Grupo El Ángel, 2023). Se detalla a continuación la metodología que se usó para implementar los controles de calidad en ambos cultivos.

6.2. Metodología de oficina.

Para facilitar la comprensión metodológica, se estructuraron: rubro-cacao y rubro-plátano dentro de la metodología de oficina, de campo, y de laboratorio, permitiendo describir los procedimientos de forma más clara, ordenada y comparable.

6.2.1. Rubro-cacao. Se evaluaron los procesos del beneficiado de cacao y se identificaron los puntos de monitoreo y las variables clave para medir y registrar dentro del control de calidad.

6.2.1.1. Identificación de puntos de monitoreo. Se observaron las actividades llevadas a cabo en los procesos de producción para el beneficiado de cacao y se reflejaron en un flujograma hecho con el programa en línea *Lucidchart*.

6.2.1.2. Definición de variables a medir. Se establecieron las variables (Cuadro 2) en los puntos de monitoreo identificados dentro del sistema de control de calidad de la empresa.

Cuadro 2. Medición de variables en el cultivo de cacao.

Monitoreo.	Variable.
Trazabilidad.	Lotes de origen de cada <i>batch</i> .
Trazabilidad.	Grados brix de la pulpa del <i>batch</i> durante la quiebra del fruto.
Trazabilidad.	Peso del <i>batch</i> en fermentación.
Trazabilidad.	Temperatura interna del <i>batch</i> en fermentación.
Trazabilidad.	Duración del secado del <i>batch</i> .
Evaluación física.	Índice del grano de cacao.
Evaluación física.	Porcentaje de humedad en el grano de cacao.
Evaluación física.	Porcentaje de defectos externos de los granos de cacao.
Evaluación física.	Porcentaje de defectos internos de los granos de cacao.
Evaluación física.	Porcentaje de fermentación del grano de cacao.

6.2.1.3. Creación de formatos de medición. Se crearon formatos (Anexo A-18 y Anexo A-19) en hojas de cálculo para la medición de las variables a usar en el campo y en el laboratorio.

6.2.1.4. Registro y seguimiento del *batch* de cacao. Para cada *batch* se asignó una etiqueta con un código único que registró tanto su origen —los lotes de campo de donde provenía la cosecha— como el fermentador en el que se procesó. Además, se incorporó el peso total del *batch*, obtenido por el operario de la quiebra. Esta etiqueta acompañó al *batch* durante todas las etapas, desde la fermentación hasta el secado, asegurando la continuidad del registro y la trazabilidad.

6.2.1.5. Registro de las mediciones. Se tomó nota en físico por medio de los formatos impresos y de forma virtual en hojas de cálculo de Excel para la medición de todas las variables definidas y se entregó al ingeniero a cargo del cultivo.

6.2.2. Rubro-plátano. Se analizaron los procesos productivos del cultivo de plátano, y se identificaron los puntos de monitoreo con las variables para medir y registrar en el control de calidad.

6.2.2.1. Identificación de puntos de monitoreo. Se analizaron los procesos de producción para identificar los puntos de monitoreo del cultivo de plátano. Se registraron estos procesos en un flujograma hecho con el programa en línea *Lucidchart*.

6.2.2.2. Definición de variables a medir. Se establecieron las variables (Cuadro 3) a medir para los puntos de monitoreo identificados, y la frecuencia en la que estos se realizaron de acuerdo a la edad fenológica de la planta para incluirlos en el control de calidad de la empresa.

6.2.2.3. Creación de formatos de medición. Se elaboraron formatos en hojas de cálculo (Anexo A-20, Anexo A-21 y Anexo A-22) para la toma de datos en campo, incorporando las variables anteriormente definidas.

6.2.2.4. Estimación de plantas a muestrear. La estimación del número de plantas a evaluar se determinó con base en el área total de cultivo y la densidad de siembra. La plantación abarcaba 63 manzanas, con una población promedio de 2,100 plantas por manzana, equivalente a más de 132,000 individuos en toda la plantación. Para obtener datos representativos y minimizar posibles sesgos, se aplicó un muestreo aleatorio del 1% de la población por lote, equivalente a 21 plantas por manzana y más de 1,300 plantas que se evaluaron. Según FAO (2017), se

sugiere el 1% como un punto de equilibrio entre la precisión estadística y la disponibilidad de recursos y tiempo para la evaluación.

Cuadro 3. Definición de variables para el cultivo de plátano y la frecuencia de sus monitoreos.

Frecuencia de monitoreos.	Variables.
Evaluaciones de etapa de desarrollo de plátano.	
A los 30 días de siembra.	Altura (m), perímetro (cm), N°. de hojas sanas, N°. de hojas enfermas.
A los 60 días de siembra.	Altura (m), perímetro (cm), N°. de hojas sanas, N°. de hojas enfermas.
A los 90 días de siembra.	Altura (m), perímetro (cm), N°. de hojas sanas, N°. de hojas enfermas.
A 120 días de siembra.	Altura (m), perímetro (cm), N°. de hojas sanas, N°. de hojas enfermas.
A 150 días de siembra.	Altura (m), perímetro (cm), N°. de hojas sanas, N°. de hojas enfermas.
Evaluación de etapa de floración de plátano.	
A las 32 semanas de edad (Última semana de floración).	N°. de manos, N°. de frutos sanos, N°. de frutos dañados, causas de los daños, N°. de hojas sanas, N°. de hojas enfermas.
Evaluación de etapa de cosecha de plátano.	
A las 33 semanas de edad (Primera semana de cosecha).	Longitud del fruto (cm), diámetro del fruto (mm), N°. de manos, N°. de frutos sanos, N°. de frutos dañados y causas de los daños.

6.2.2.5. Registro de las mediciones. Se tomó nota en físico por medio de los formatos impresos y virtual en hojas de cálculo de Excel para la medición de todas las variables definidas y se entregó al ingeniero a cargo del cultivo.

6.3. Metodología de campo.

6.3.1. Rubro-cacao.

6.3.1.1. Visitas de campo. Se identificaron de los puntos de monitoreo, realizando visitas al centro de acopio y observando las actividades diarias del personal. Se entrevistaron los trabajadores para conocer y evaluar el flujo de los procesos del beneficiado.

6.3.1.2. Validación en campo de los formatos de medición. Los formatos recién creados fueron aplicados en pruebas piloto de campo para comprobar su funcionalidad y practicidad. Se hicieron ajustes necesarios para su estandarización. Luego de validarlos, se escanearon para facilitar su disponibilidad en las futuras evaluaciones de la empresa.

6.3.1.3. Medición de peso del *batch*. En la quiebra, se usaba una báscula industrial de plataforma Ferrawyy BAG200-YJ para pesar en libras cada cubeta llena con cacao fresco. Se sumó el peso de todas las cubetas incluidas en un mismo *batch* para tener un solo total.

6.3.1.4. Medición de temperatura interna del *batch*. Dos veces al día, con ayuda de un termómetro de sonda SafetyBlue IP68, se hicieron tres lecturas en grados centígrados para la temperatura interna de cada *batch*. La primera lectura fue superficial, tomada sobre la hoja de huerta; para las otras dos lecturas, se hizo de uso pequeños orificios que existen en la parte frontal de los cajones (Figura 7) creados para dicho fin, uno ubicado en medio del cajón y el otro al fondo del mismo. En cada punto de lectura, se insertó el termómetro y se esperó a que la lectura se mantuviera estable para luego promediar estos tres valores como un solo valor del *batch* y se anotó en el respectivo día y hora que se hizo la medición. Para cada *batch*, se tomó la temperatura de esta forma durante los cinco días que dura la fermentación.



Figura 6. Medición de temperatura interna del *batch*. (A) Temperatura superficial, (B) temperatura al medio del cajón, y (C) temperatura al fondo del cajón.

6.3.1.5. Registro de la duración del secado del *batch*. Se llevó control de los días de secado hasta que la lectura de humedad del grano de cacao alcanzó 7%, que es la humedad óptima del grano para almacenarlo en bodega.

6.3.2. Rubro-plátano.

6.3.2.1. Visitas de campo. Para analizar la correcta identificación de los puntos de monitoreo, se realizaron visitas periódicas al área de producción de plátano: desde los viveros, las diferentes parcelas y los centros de procesamiento. Se observó directamente la realización de actividades y se entrevistó al personal para evaluar el flujo de los procesos existentes.

6.3.2.2. Validación en campo de los formatos de medición. Los formatos creados fueron aplicados en pruebas piloto de las mediciones en campo para comprobar su funcionalidad y

practicidad, realizando los ajustes necesarios para su estandarización. Luego de validarlos, se escanearon para facilitar su disponibilidad en las futuras evaluaciones de la empresa.

6.3.2.3. Monitoreo del desarrollo vegetativo. Se realizó con los formatos validados, durante los primeros 150 días posteriores a la siembra, se evaluaron cada 30 días los lotes de campo. En cada medición se registró la altura de la planta, el perímetro del pseudotallo, el número de hojas sanas y enfermas (por *Mycosphaerella fijiensis* y *M. musicola*). La medición del pseudotallo se hizo con dos instrumentos (Figura 7) y los datos se registraron y se promediaron digitalmente.

- Medición de la altura del pseudotallo. Con una cinta métrica, se midió desde la base hasta la separación de las últimas hojas, procurando medir en línea recta. Se expresó en metros.
- Medición del perímetro del pseudotallo. Se utilizó una cinta métrica de costura, rodeando la base del pseudotallo y excluyendo los hijos que la planta pudiera tener alrededor. Esta medición se expresó en centímetros.



Figura 7. Medición del pseudotallo de plátano. (A) Altura y (B) perímetro.

6.3.2.4. Monitoreo de la etapa de floración. Durante la semana 32, correspondiente a la etapa de floración, se hizo un monitoreo a los racimos encintados en los distintos lotes, registrando el color del listón, el número de frutos y manos, los daños visibles y el estado fitosanitario. Se tomaron apuntes de estas características visualmente. La información se recopiló en el formato físico de floración y posteriormente se promedió en hojas de cálculo para entregarlo al ingeniero del cultivo.

6.3.2.5. Monitoreo de la etapa de cosecha. En las plantas con 33 semanas de desarrollo se realizó este monitoreo de cosecha, las cuales incluyeron las mediciones más significativas que eran la longitud y el diámetro promedio de los frutos (Figura 8). También se contó el número de manos en el racimo, el número de frutos totales, el número de frutos dañados y se anotó

las posibles causas de esos daños. Luego, los formatos se escanearon para su futura implementación.

A continuación, se explica cómo se hicieron las dos mediciones principales de la cosecha.

- **Medición de longitud del plátano.** También conocida como la talla del fruto. Se midió con una cinta métrica de costura, y por cada racimo, se escogieron tres frutos que estuvieran ubicados en la parte media del racimo y fueran de diferentes manos. En cada fruto, se colocó la cinta métrica en el extremo del fruto donde iniciaba la pulpa, cerca de la corona de la mano de plátano. Siguiendo con la cinta métrica la curvatura inferior del fruto hasta otro extremo, se tomó la lectura en centímetros. Este valor se promedió para los tres frutos seleccionados y se anotó en la hoja de evaluación para su posterior manejo de datos.
- **Medición del diámetro del plátano.** Esta medida se conoce como el calibre del fruto y se realizó con un calibrador variable especial para plátano (CEQSA) con un pie de rey. A cada uno de los tres frutos escogidos, se le ubicó el instrumento a mediación del fruto, procurando no maltratar los frutos. Se toma la lectura en milímetros y se promediaron sus valores para la hoja de evaluación.



Figura 8. Mediciones de calidad del plátano. (A) Longitud del fruto y (B) diámetro del fruto.

6.4. Metodología de laboratorio para el rubro de cacao.

En el laboratorio de calidad de la Hacienda, se llevó a cabo la medición de grados brix de la pulpa al inicio de la fermentación y la evaluación de calidad física del grano de cacao.

6.4.1. Medición de los grados brix en la pulpa del *batch*. Se extrajo una muestra de 10 a 15 semillas de cacao al momento de la quiebra, mezclando las semillas en la cubeta antes de tomar la muestra. Se colocaron en una bolsa estéril (Figura 9) para llevarlas al laboratorio. Luego, a esa muestra de cacao se le midió el contenido de azúcares con la ayuda de un medidor de sólidos solubles llamado brixómetro o refractómetro digital (Milwaukee MA871).



Figura 9. Toma de muestra para la medición de grados brix. (A) Toma de muestra de pulpa de cacao, (B) colocación en bolsa estéril.

Para iniciar la medición, se calibró el equipo con agua destilada, ayudándose de una pera de succión pequeña (Figura 10). Seguidamente, se extrajo el jugo de la pulpa presionándola lo más posible para que liberara el lixiviado y procurando que saliera por un extremo de la bolsa. Este líquido se colocó en el lente del brixómetro hasta cubrirlo. Se hicieron tres lecturas del mismo líquido y se calculó el promedio para anotarlo en el registro. Al finalizar, se volvió a calibrar el equipo de medición.



Figura 10. Medición de grados brix en la pulpa de cacao. (A) Calibración del brixómetro, (B) extracción de jugo de pulpa, (C) toma de lectura.

6.4.2 Evaluación física de la calidad del grano de cacao. Se utilizó una muestra representativa del lote de cacao seco almacenado para evaluar el grano externa e internamente. Se adaptaron y combinaron procedimientos basados en la ISO 2292 (2017), la ISO 2451 (2017) y la Guía de Calidad y Sabor del Cacao (Cacao de excelencia, 2023). Todos los datos de esta sección, desde la identificación de la muestra hasta la asignación del grado de calidad, quedaron registrados en la ficha de evaluación física interna y externa de los granos de cacao.

6.4.2.1 Toma de muestra para evaluación física de calidad. Se realizó el muestreo en bodega, se homogenizó en el laboratorio y se identificó apropiadamente antes de hacer la evaluación.

- **Muestreo.** Se seleccionaron en bodega los sacos de cacao de forma sistemática (en zigzag) equivalentes al 10 % de los sacos por lote a evaluar. De esa selección, se obtuvo una muestra compuesta de 2 kg para cada lote de almacenamiento, medida con una balanza semi analítica.
- **Homogeneización.** En el laboratorio, se aplicó el método de cuarteo (Figura 11) para reducir la muestra compuesta (2 kg) a una muestra de ensayo entre 600 g y 1 kg, como recomienda ISO 2451 (2017). El proceso consistió en dividir la muestra compuesta en cuatro partes, descartar dos secciones opuestas, y mezclar las dos restantes; se repitió el proceso hasta alcanzar el peso deseado, en caso de la Hacienda se usó 1 kg para las muestras de ensayo.
- **Identificación de la muestra.** A cada muestra de ensayo se le identificó con el número de lote de almacenamiento, la fecha de muestreo, nombre del evaluador y ubicación de origen.

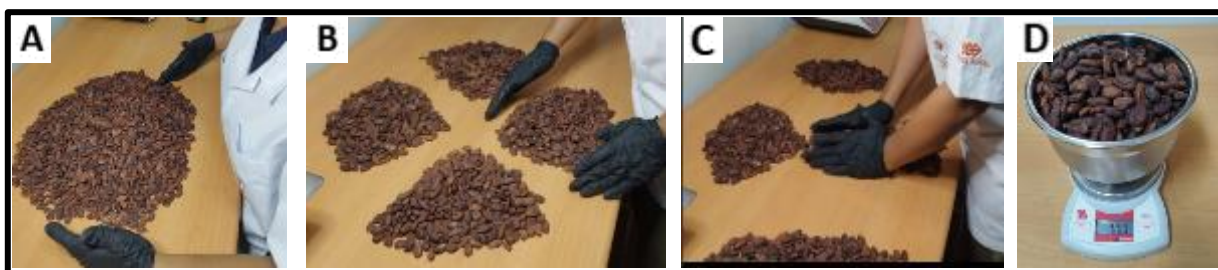


Figura 11. Método de muestreo por cuarteo para la evaluación de calidad física del grano de cacao. (A) Muestra compuesta (2 kg); (B) división en cuatro partes iguales; (C) mezcla de dos partes opuestas y (D) pesado de la muestra de ensayo (1 kg).

6.4.2.2. Evaluación física externa de los granos enteros de cacao. Se le midió el índice de grano y el porcentaje de humedad del grano. Luego se limpió la muestra de ensayo, seleccionando sus granos buenos, separándolos de los defectos externos (Cuadro 4). De esta forma, se dejó solamente el grano de cacao entero y sano.

- **Índice del grano.** Por medio de este índice se representó el tamaño de un grano de cacao de forma adimensional y es inversamente proporcional al número total de granos enteros de cacao por 100 g. de peso (ISO 2451, 2017). Para su estimación, se usó el método del cuarteo para extraer de la muestra tres submuestras de 100 g cada una, pesadas en una balanza digital. Luego se contó cuántos granos había en cada submuestra y se promediaron. Con el promedio de número de granos, se determinó el Índice de Grano utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de grano} = \frac{100}{\text{Número de granos en 100 g}}$$

Seguidamente, se clasificó de acuerdo a los estándares de la Norma Técnica Colombiana NTC 1252 (Cuadro 5), para determinar la categoría del grano de cacao al que pertenece la muestra.

Cuadro 4. Categorías del tamaño del grano de cacao.

Clasificación del tamaño del grano de cacao.	Índice de grano.	Equivalente en N° de granos de cacao en 100 g.
Grado 1: Grano premio (premium).	Desde 1.20 hasta 1.50.	Desde 83 hasta 67 granos.
Grado 1: Grano corriente (estándar).	Desde 1.05 hasta 1.19.	Desde 95 hasta 84 granos.
Grado 2: Grano pequeño (pasilla).	Desde 0.80 hasta 1.04.	Desde 125 hasta 96 granos.

Nota. Adaptado de la Norma Técnica Colombiana NTC 1252, 2003.

- **Humedad del grano.** Se tomó la muestra de ensayo limpia de defectos externos y se dividió en tres submuestras mediante el método de cuarteo; el tamaño de cada submuestra se definió por la cantidad de granos que aforaba el medidor de humedad. Con el higrómetro MG-Pro (Figura 12), se tomaron tres lecturas por submuestra, haciendo un total de nueve lecturas para la muestra de ensayo. Luego se promedió para obtener el valor definitivo de la humedad del grano. Según la Guía de la plataforma de Cacao de excelencia (2023), el rango ideal de humedad para el grano seco de cacao debió ser entre 6.5 % y 8 %.

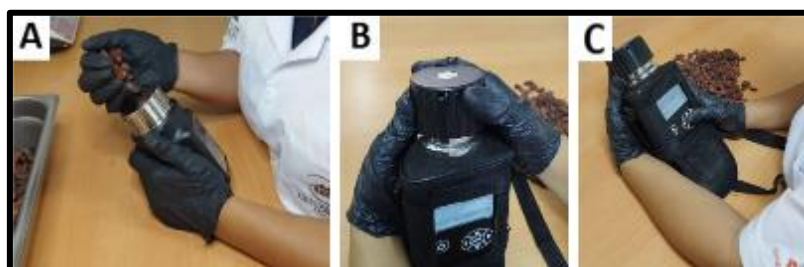


Figura 12. Uso del higrómetro para medición de porcentaje de humedad en grano de cacao. (A) Ingreso de granos; (B) comprobación de aforo y (C) toma de lectura.

- **Determinación de defectos externos en la muestra.** Se realizó de forma sistemática, donde, primero se pasó toda la muestra por un tamiz de 5 mm, para separarle la basura, sin botarla. Luego, se separaron los residuos de cacao, la materia extraña y los granos defectuosos. Cada uno de estos elementos se pesó por separado, se le calculó el porcentaje con base al peso total de la muestra y se comparó dicho porcentaje con la norma ISO 2451 (2017) y la plataforma de Cacao de excelencia (Cuadro 4). Cabe mencionar que estos valores no son absolutos y que cada comprador puede tener sus propios valores para cada defecto en el grano de cacao.

Cuadro 5. Defectos externos comunes de granos de cacao.

Defecto externo.	Descripción.	% Permitido para comercialización.		Foto.
		Internacional.	Local.	
Material tamizado.	Es el material que pasa a través de un tamiz de 5 mm.	≤ 1.50 %.	≤ 2.00 %	
Materia relacionada al cacao.	Fragmentos de cacao, granos fuertemente pegados y/o trozos de cáscara que no pasan por el tamiz de 5 mm.	≤ 3.50 %.	≤ 3.50 %.	
Materia extraña.	Cualquier elemento distinto al cacao como hojas, piedras, insectos.	≤ 0.75 %.	≤ 1.50 %.	
Granos aplanados.	Muy delgados y que no permiten su corte longitudinal completo.	≤ 1.50 %.	≤ 6.00 %.	
Granos perforados.	Son los granos dañados a causa de insectos o granos germinados y que su germen ha perforado la cáscara.	≤ 3.00 %.	≤ 6.00 %.	

Nota. Adaptado de la ISO 2451: Granos de cacao, especificaciones y requisitos de calidad (2017).

6.4.2.3. Evaluación física interna con prueba de corte de los granos de cacao. Esta prueba fue la más importante en términos del sabor del cacao, ya que verificó la calidad de la fermentación, evaluando que no tenga elementos que aporten sabores no deseados al cacao. Se hizo la prueba de corte, y luego se observó detenidamente los defectos que esta muestra pudo tener en su interior, así como el nivel de fermentación que ésta tenía.

- Prueba de corte. Se realizaron seis pruebas de corte con la guillotina Tesserba Magra 14 para granos de cacao que tenía capacidad para 50 granos de cacao por prueba (Figura 13). De esta manera, se completan los 300 granos de cacao requeridos por la ISO 2451 (2017). Luego de que la guillotina cortara los granos longitudinalmente, ambas mitades se observaron bajo un

lente amplificador con iluminación homogénea, y se identificaron los granos completamente fermentados, parcialmente fermentados, así como sus defectos internos.



Figura 13. Prueba de corte de granos de cacao con guillotina. (A) Colocación de granos; (B) corte de granos; (C) observación de granos y (D) granos bajo lente magnificador.

- Determinación de defectos internos en la muestra. Usualmente, los defectos se distinguían antes que un cacao bien fermentado por las características que poseen (Cuadro 6). Los defectos eran más fáciles de identificar a simple vista y se limitaban en porcentajes regulados por la ISO 2451:2017 y la plataforma de Cacao de excelencia porque aportaban sabores no deseados. Se calcularon en porcentaje con base en los 50 granos por muestra, por lo que se anotó el resultado de cada corte en guillotina hasta completar los 300 granos, y se promediaron sus valores por separado según cada defecto indicó

6.4.2.4. Determinación del nivel de fermentación. Se contaron los granos bien fermentados (Figura 14) en cada prueba de corte y se anotó el resultado para las seis pruebas de corte hasta completar los 300 granos que indicó la ISO 2451:2017. Los valores se promediaron y se obtuvo un solo porcentaje de la muestra. El cacao bien fermentado se diferencia por sus surcos bien agrietados y una coloración marrón (Aguilar, 2017).

6.4.2.5. Asignación de grado de calidad. Se compararon los porcentajes obtenidos en la evaluación física externa e interna. Si todos los valores correspondieron a los permitidos en una comercialización internacional, el cacao se clasificó como Cacao Grado 1. Por el contrario, si uno de los valores se observó como comercialización local, toda la muestra se clasificó como Cacao Grado 2. En el caso que la muestra tuviera algunos de sus valores fuera de lo permitido en comercio local, automáticamente se descarta para su venta. En el caso de muestras descartadas, los productores pueden repetir el proceso de selección de grano con el lote del

que provenía la muestra, para que su calidad aumente y nuevamente evaluar el lote con otra muestra (Aguilar, 2017).

Cuadro 6. Defectos internos comunes en granos de cacao.

Defecto interno.	Descripción.	% Permitido.		Imagen.
		Internacional.	Local.	
Granos parcialmente violetas o parcialmente fermentados.	Coloración marrón violeta de aspecto crudo que es indicativo de fermentación parcial. Proporciona astringencia.	≤ 20 %	≤ 30 %	
Granos violetas o sin fermentar.	Color violeta en al menos la mitad de la superficie de los cotiledones y no tiene surcos definidos. Proporciona astringencia al cacao.	≤ 8 %	≤ 20 %	
Granos sobre fermentados.	Color café oscuro o negro, textura de corcho, olor agrio y sabor a jamón o ahumado.	≤ 3 %	≤ 15 %	
Granos mohosos.	Se evidencia el crecimiento de moho a simple vista.	≤ 3 %	≤ 4 %	
Granos pizarrosos.	De color grisáceo y sin ranuras en el interior. Procede de falta de oxigenación.	≤ 3 %	≤ 8 %	
Granos infectados por insectos.	Con insectos en cualquier fase de desarrollo o signos de daños causados por ellos, visibles a simple vista.	≤ 3 %	≤ 6 %	

Nota. Adaptado de la ISO 2451: Granos de cacao, especificaciones y requisitos de calidad (2017).



Figura 14. Grano de cacao en corte longitudinal completamente fermentado (García, 2018).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Resultados del rubro de cacao.

7.1.1. Identificación de puntos de monitoreo en el beneficiado de cacao. Se presenta el flujograma de los procesos de producción (Figura 15) enfocados en el beneficio del cacao.

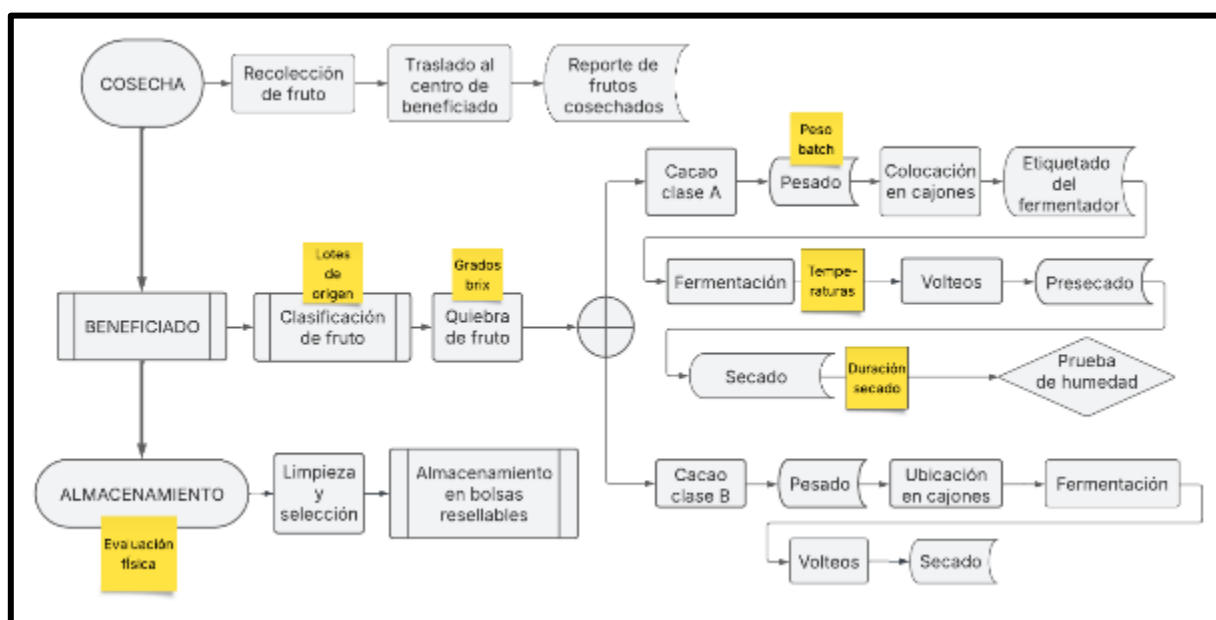


Figura 15. Flujograma del proceso de beneficiado en cacao.

Fueron identificados seis puntos de monitoreo y se marcó cada uno con una viñeta amarilla dentro del diagrama de flujo. Los primeros cuatro monitoreos corresponden a mediciones del grano de cacao fresco y los dos restantes corresponden al grano seco de cacao.

El primer punto de monitoreo se ubicó en el proceso de clasificación del fruto, donde se registró el origen de la cosecha identificando cuáles eran los lotes de campo que se habían cosechado. Seguidamente, en el proceso de la quiebra del fruto se ubicó el segundo monitoreo, correspondiente a la medición de los grados brix del cacao fresco. Continuando con el proceso de pesado del *batch*, se hizo el tercer monitoreo. Luego, durante los días de fermentación, se midieron las temperaturas internas de cada *batch*, llevando a cabo el cuarto monitoreo de grano de cacao fresco. En el proceso de secado del grano, se hizo el quinto monitoreo y una vez almacenado, se realizó el sexto punto de monitoreo donde se evaluó la calidad del grano interna y externamente.

La identificación de puntos de monitoreo asegura trazabilidad y control de calidad desde la cosecha del cacao hasta su almacenamiento (FAO, 2017). Las mediciones para el grano fresco aseguran uniformidad en la fermentación; mientras que, para el grano seco, garantizan la conservación del grano (Schlafli, 2023). Finalmente, la evaluación física del cacao seco mejora la competitividad del producto en mercados internacionales (Ruíz y Pangan, 2018).

7.1.2. Lotes de origen de los *batches* según el mes de producción. Se muestra cuáles fueron los lotes donde se originó la cosecha de cada mes (Figura 16), correspondiente al periodo de enero a junio, así como el número de *batches* que se fermentaron a partir de la cosecha.

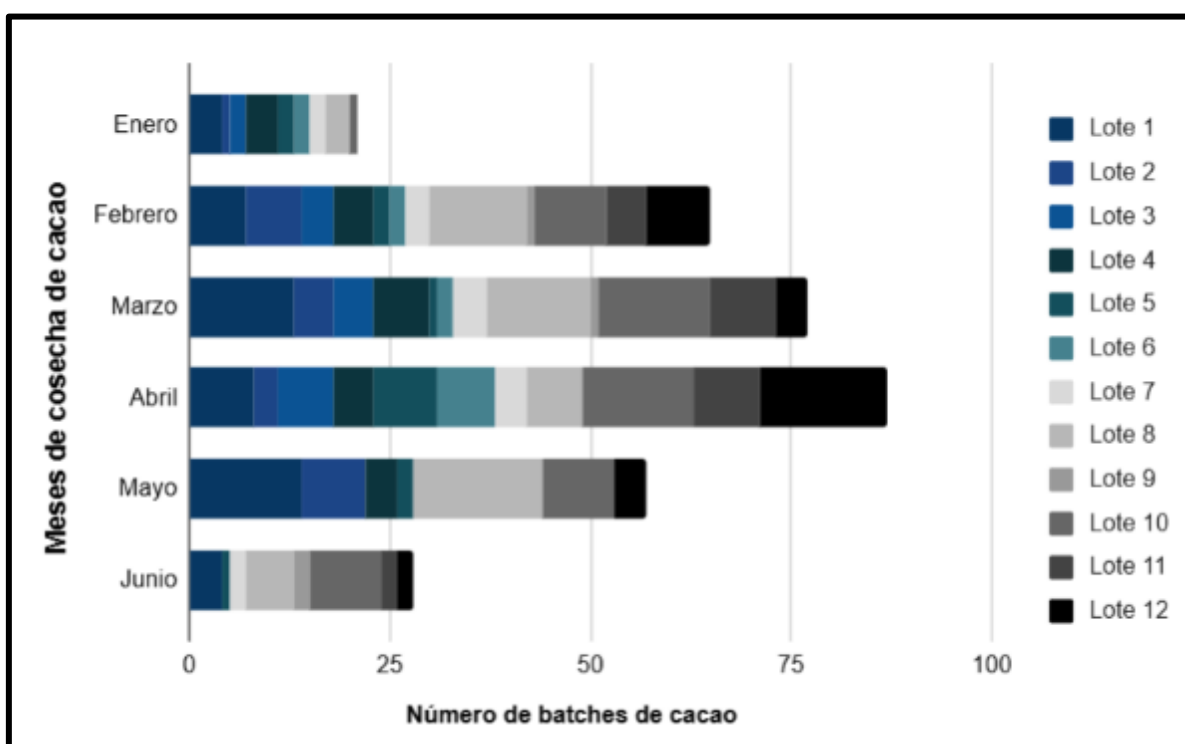


Figura 16. Comportamiento de cosecha de cacao según el mes de producción.

Se puede observar que el mes con mayor producción de cacao fue abril, ya que registró 87 *batches*, procedentes de once lotes de campo en la Hacienda; mientras que en enero se presentó el valor más bajo, con 21 *batches*, procedentes de nueve lotes. El promedio global fue de 50 *batches* producidos por mes.

Por lo general, el cultivo de cacao en regiones tropicales tiene el pico de producción en los

primeros meses del año, cercanos al mes de abril (ICCO, 2025). En el caso de la Hacienda, sí se cumplió ya que la cosecha aumentó gradualmente desde febrero hasta abril. Además, al clasificar el origen de las cosechas según los lotes del campo, se facilita el cumplimiento de los requisitos para la trazabilidad del producto final (ISO 34101-3,2019).

7.1.3. Comportamiento de grados brix del cacao durante la quiebra del fruto según el mes de producción. El valor de grados brix, obtenido a partir de mediciones diarias durante cada quiebra de fruto, indica la madurez de las mazorcas cosechadas (Figura 17) y refleja la cantidad de azúcares solubles en el mucílago, esenciales para iniciar la fermentación.

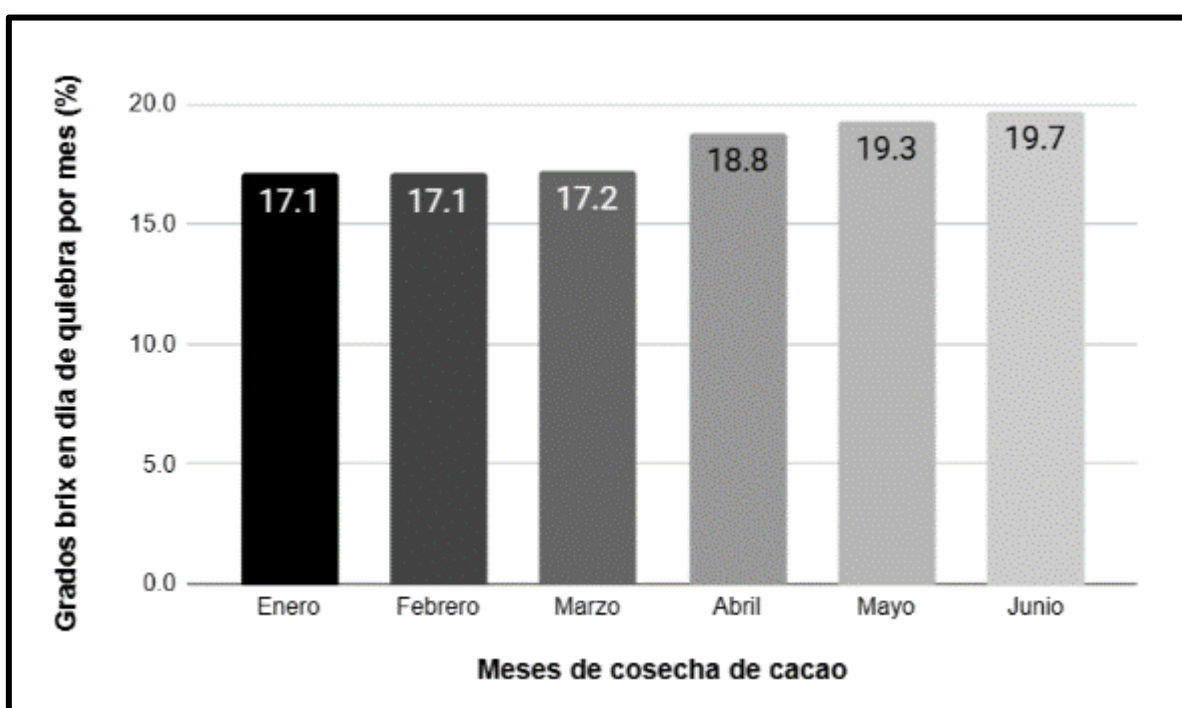


Figura 17. Comportamiento de grados brix del cacao durante la quiebra del fruto por mes de producción.

Los grados brix del mucílago presentaron un máximo de 19.7° Brix en junio, valores mínimos de 17.1° brix en enero y febrero; y una media general de 17.8° Brix.

Los valores se mantuvieron dentro del rango inicial de azúcares en cacao que es de 14° a 22° brix (García, 2018). Además, se afirma que antes de la fermentación, el mucílago debería contener como mínimo 16° brix para favorecer la actividad microbiana; lo que es beneficioso para la formación de precursores de aroma y sabor del cacao (Pérez y Contreras, 2017).

7.1.4. Comportamiento del peso del *batch* según el mes de producción. Se presentan los resultados del peso promedio de cada *batch* de cacao destinados a fermentación (Figura 18), calculados a partir de mediciones diarias que reflejan el comportamiento mensual de esta variable.

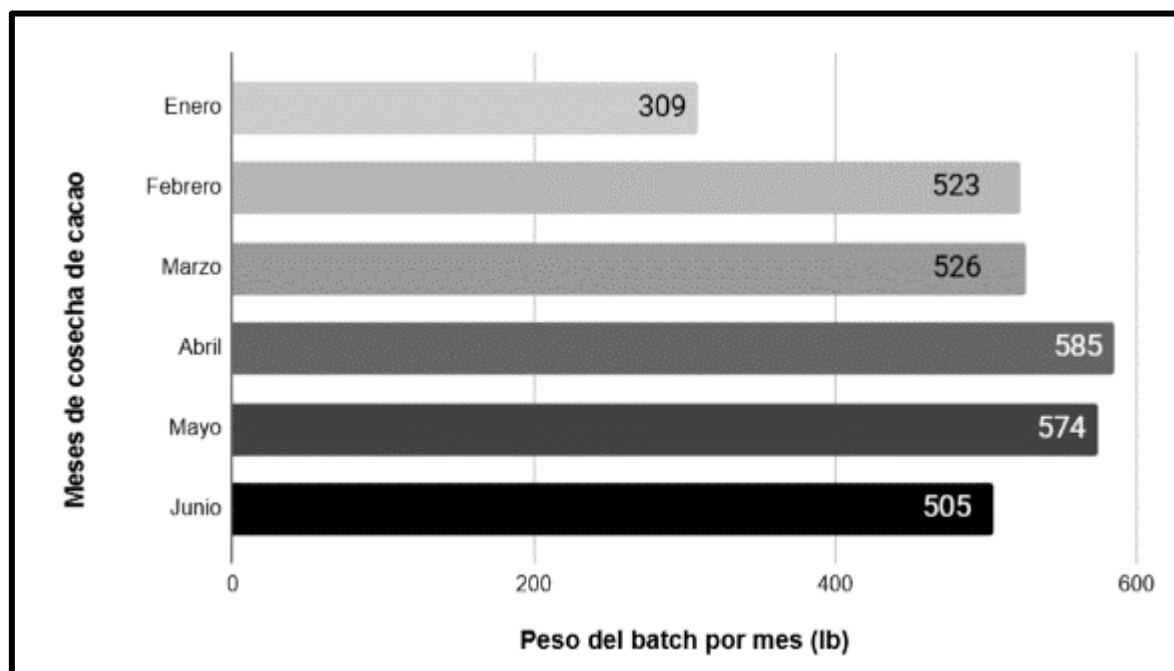


Figura 18. Comportamiento del peso del *batch* según el mes de cosecha.

El peso de la masa destinada a fermentación alcanzó su valor máximo en abril, con 585 lb por *batch*, mientras que el mínimo se registró en enero, con 309 lb. En términos generales, el promedio mensual fue de 504 lb por *batch*.

Los pesos son adecuados para cajones de fermentación medianos, como los empleados en la Hacienda, donde los valores entre 440 y 880 lb por *batch* favorecen la homogeneidad, la oxigenación y el drenaje del mucílago (Ruíz y Pangan, 2018). No obstante, en enero se registró un lote subóptimo, por debajo del mínimo recomendado. Para ese caso con pesos reducidos, se concentra la pulpa en una esquina del cajón para permitir la acumulación del calor interno necesario en la pulpa, evitando que la pulpa pierda calor al distribuirla sobre toda la base. Con este manejo, se asegura la conservación de las cualidades esenciales del proceso de beneficiado, incluso en lotes de menor peso (Aguilar, 2016).

7.1.5. Comportamiento de temperaturas internas del *batch* según el mes de producción. El seguimiento diario de la temperatura durante la fermentación del cacao (Figura 19) permite evaluar la eficiencia del proceso de fermentación.

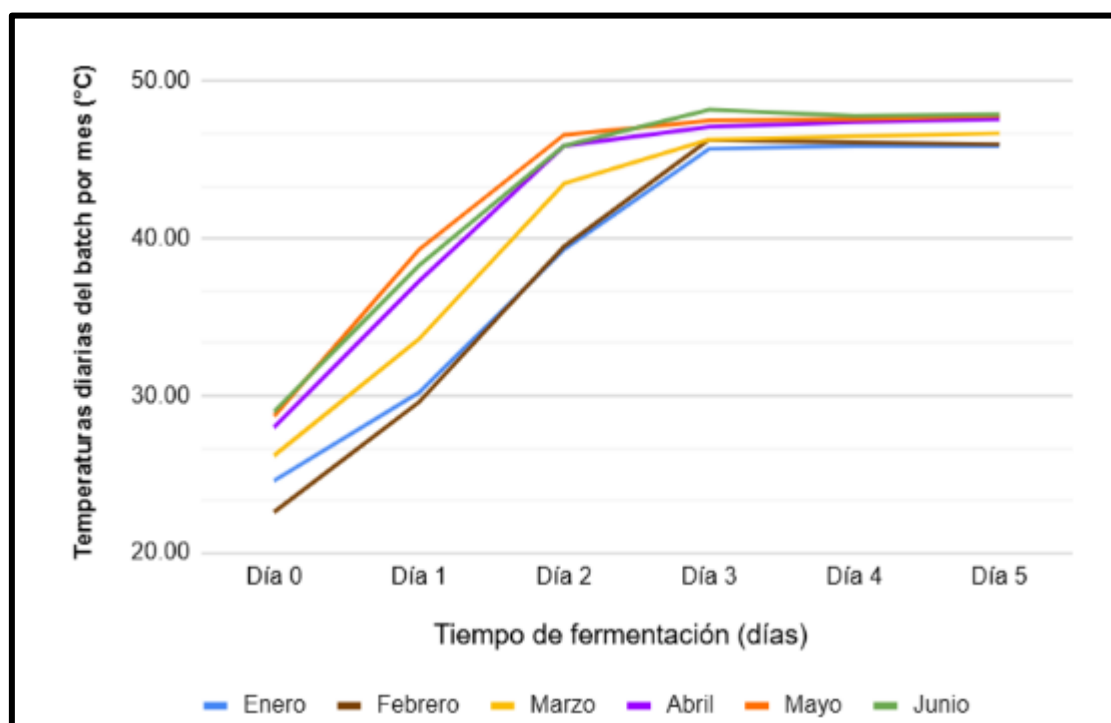


Figura 19. Comportamiento de temperaturas diarias del *batch* por mes de producción.

Las temperaturas internas de la masa de cacao alcanzaron su valor máximo en junio, con 48.2 °C registrado en el día 3, mientras que el mínimo se observó en febrero, con 22.6 °C en el día 0. El promedio general fue de 40.7 °C.

Estos valores se mantienen dentro de los rangos esperados para fermentaciones controladas; donde, primero existe un comportamiento ascendente que culmina en la estabilización térmica hasta el final del proceso. Además, las temperaturas de cada fase fueron cercanas, ya que para la fase anaeróbica del proceso – las primeras 48 horas – las temperaturas ascienden alrededor de los 45 °C; y, para la fase aeróbica – de 48 horas en adelante – fueron temperaturas entre los 45 y 50 °C.

7.1.6. Duración del secado del grano de cacao. El tiempo de secado es la única variable que define el tiempo promedio de beneficiado (Figura 20), y es clave para estandarizar el proceso y garantizar la calidad del cacao.

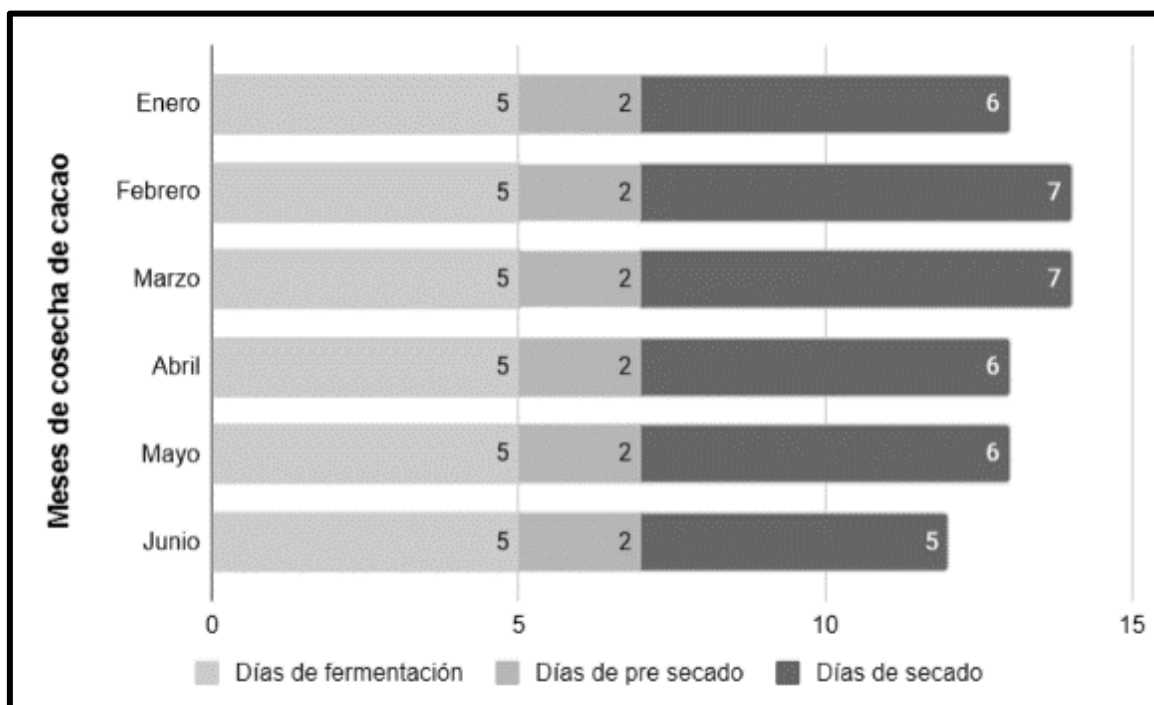


Figura 20. Comportamiento de los días totales de beneficiado.

La fase de secado alcanzó su mayor duración en febrero y marzo, con 7 días, mientras que el mínimo se registró en junio, con 5 días. En promedio, el secado se mantuvo en 6 días.

Esta variable define la cantidad de días del proceso del beneficiado, ya que la fermentación son cinco días fijos y el pre secado son dos días. Por ello, en conjunto con el promedio de 6 días de secado, se completó un ciclo de beneficiado de 13 días.

Este tiempo está dentro de los rangos que la literatura menciona para cada fase, ya que para la fermentación se conoce que por lo general es de 5 a 7 días (Aguilar, 2017); y para el secado, incluyendo el presecado, puede ser entre 7 a 22 días, depende de las condiciones climáticas (Mujaffar et al., 2017); y, el mismo autor, enfatiza que con condiciones controladas, como la semi – sombra del pre secado, existe una liberación gradual de los compuestos volátiles en el grano de cacao y esto evita defectos de aroma y sabor, asegurando la calidad del cacao.

A continuación, se presentan las evaluaciones físicas del grano de cacao comparando los lotes de enero y mayo. El lote de mayo cumplió con los criterios internacionales, mientras que el de enero no alcanzó dichos parámetros. Cabe señalar que los datos son promedios simulados, utilizados únicamente para ilustrar la aplicación del criterio internacional.

7.1.7. Medición del índice de grano de cacao. A continuación, se muestran los promedios simulados de dos lotes de producción (Cuadro 7) a los que se les ha medido el índice de grano, reflejando el tamaño y peso de los granos de cacao de forma adimensional.

Variable.	Muestra (Datos simulados).		Parámetro.	
	Lote de Enero.	Lote de Mayo.	Grado 1.	Grado 2.
Índice de grano.	0.95 (Son 105 granos por 100 g.)	1.25 (Son 80 granos por 100 g.)	De 1.05 a 1.50. (De 95 a 67 granos por 100 g.)	De 0.80 a 1.04. (De 96 a 125 granos por 100 g.)

Cuadro 7. Resultados promedio (simulados) del índice del grano de cacao.

El análisis del índice de grano mostró que el lote de mayo alcanzó un valor de 1.25, lo que lo ubicó dentro de los parámetros de Grado 1 (1.05–1.50) y evidenció granos más grandes y pesados, siendo 80 granos en los 100 g de peso. En contraste, el lote de enero registró un índice de 0.95, clasificándose en Grado 2 (0.80–1.04), lo que refleja granos más pequeños y de menor peso promedio, resultando 105 granos por cada 100 g de peso.

El índice de grano es directamente proporcional al tamaño y al peso del grano; pero es inversamente proporcional al número de granos que hay por cada 100 g de cacao seco. Es decir que mientras mayor sea el índice del grano, mayor será el tamaño y peso de cada grano y menor será cantidad de granos en una submuestra que pese 100 g (IICA, 2017). Por lo general, se esperaba que un grano de cacao, pese como mínimo 1 gramo (CEDAF, 2009).

Según Aguilar (2016), el índice de grano representa el peso aproximado de cada grano de cacao y también determina la cantidad aproximada de granos por 100 g, aunque estos no sean valores exactos al usar la fórmula del índice de cacao. Por ejemplo, para el lote de enero, el índice adimensional de 0.95, y se calcula: $100 / 105 = 0.95238095238...$ esto significa para el autor que cada grano tiene un peso aproximado de 0.95 g., clasificándose como Grado 2 del

criterio internacional. De la misma forma se interpreta para la muestra de mayo. (Pérez y Contreras, 2017).

Siendo aún más específicos, la Norma Técnica Colombiana NTC 1252 distingue dentro del Grado 1 dos subcategorías, cacao estándar (1.05–1.19) y cacao premium (1.20–1.50), esta sistematización es adoptada para quienes deseen comercializar bajo los lineamientos colombianos, pero ayuda a distinguir dentro del Grado 1 un cacao estándar de un cacao premium (NTC 1252, 2003).

7.1.8. Porcentaje de humedad en el grano de cacao. Se muestra a continuación un ejemplo simulado de humedad del grano para dos muestras de diferentes lotes de producción mensual, que se midió con el higrómetro para granos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultados promedio (simulados) de la humedad del grano de cacao.

Variable.	Muestra (Datos simulados).		Parámetro.	
	Lote de Enero.	Lote de Mayo.	Grado 1.	Grado 2.
Humedad del grano.	7.8 %	6.8 %	6.5 % a 7.5 %	7.6 % a 8.0 %

El análisis de la humedad del grano de cacao mostró que el lote de mayo se clasificó como Grado 1 por presentar una humedad de 6.8%, dentro del rango óptimo de 6.5–7.5% establecido por la norma ISO 2451 (2017) y por la FHIA (Aguilar, 2016), mientras que el lote de enero, con 7.8%, se ubicó en Grado 2 al superar el límite superior permitido para esa categoría. De acuerdo con la ISO 2451 (2017), la humedad del cacao no debe exceder el 8% en el país de origen y debe mantenerse en torno al 7.5% en el país de destino durante la compra-venta internacional. En este sentido, el lote de mayo, al cumplir con los parámetros de Grado 1, representa un cacao más seguro para la conservación y con mayor aceptación en mercados exigentes. Sin embargo, el lote de enero, aunque dentro de los límites de Grado 2, presenta un riesgo mayor de absorción de humedad durante el almacenamiento, especialmente en condiciones tropicales como las de El Salvador, donde el grano es altamente higroscópico. Por ello, se recomienda un secado y un almacenamiento controlado para evitar incrementos de humedad que puedan favorecer el desarrollo de mohos y afectar la calidad comercial.

7.1.9. Evaluación de defectos externos de los granos de cacao. Este valor es un indicativo externo de qué tan limpio y clasificado está el grano almacenado (Cuadro 9), y de cuáles defectos externos pueden poseer las muestras simuladas.

Cuadro 9. Resultados promedio (simulados) de los defectos externos del grano de cacao.

Defecto externo del grano de cacao.	Muestra (Datos simulados).		Parámetro.	
	Lote de Enero.	Lote de Mayo.	Grado 1.	Grado 2.
Material tamizado.	1.70 %	0.35 %	≤ 1.50 %	≤ 2.00 %
Material relacionado al cacao.	3.10 %	2.60 %	≤ 3.50 %	≤ 3.50 %
Materia extraña.	1.10 %	0.10 %	≤ 0.75 %	≤ 1.50 %
Granos aplanados.	3.20 %	0.30 %	≤ 1.50 %	≤ 6.00 %
Granos perforados.	4.20 %	1.80 %	≤ 3.00 %	≤ 6.00 %

En la evaluación de residuos y material extraño del grano de cacao se determinó que el lote de enero presentó un 6.2% de residuos y un 93.8% de granos enteros, valores que lo ubicaron dentro de los parámetros establecidos para el grado 2 de calidad de grano de cacao; mientras que el lote de mayo mostró un 2.8% de residuos y un 97.2% de granos enteros, cumpliendo con los requisitos más estrictos del grado 1, lo que evidenció que este último alcanzó una mejor clasificación en términos de limpieza y proporción de granos enteros.

La comparación entre los lotes mostró que el cacao de mayo sí cumplió con los parámetros del Grado 1 de calidad según la norma ISO 2451, al presentar menor porcentaje de residuos y mayor proporción de granos enteros. Sin embargo, el lote de enero se clasificó en Grado 2, ya que, presentó más impurezas y menos cantidad de granos enteros. Cabe destacar que la sumatoria de residuos y materia extraña incluye (1) pedazos de cáscara, placenta y granos partidos; (2) hojas, insectos, piedras y otros agentes externos; (3) granos planos y (4) granos pegados o visiblemente perforados, lo que refuerza la diferencia de calidad observada entre ambos lotes.

7.1.10. Evaluación de defectos internos de los granos de cacao. Este valor simulado indica por medio de la prueba de corte (Cuadro 10), qué tan bien fermentado se encuentra el cacao seco y la cantidad de defectos internos que este pueda tener en una muestra.

Cuadro 10. Resultados promedio (simulados) de los defectos externos del grano de cacao.

Defecto interno del grano de cacao.	Muestra (Datos simulados).		Parámetro.	
	Lote de Enero.	Lote de Mayo.	Grado 1.	Grado 2.
Granos parcialmente fermentados (parcialmente violetas).	22.0 %	12.0 %	≤ 20.0 %	≤ 30.0 %
Granos no fermentados (violetas).	14.0 %	6.0 %	≤ 8.0 %	≤ 20.0 %
Granos sobre fermentados.	12.0 %	2.0 %	≤ 3.0 %	≤ 15.0 %
Granos mohosos.	2.0 %	0.0 %	≤ 3.0 %	≤ 4.0 %
Granos pizarrosos.	6.0 %	2.0 %	≤ 3.0 %	≤ 8.0 %
Granos infectados por insectos.	4.0 %	1.0 %	≤ 3.0 %	≤ 6.0 %

En la evaluación de defectos internos del grano de cacao se determinó que el lote de enero presentó un 22.0% de granos parcialmente fermentados, un 14.0% de granos no fermentados (violetas) y un 12.0% de granos sobre fermentados, además de un 2.0% de granos mohosos, 2.0% pizarrosos y 4.0% infectados por insectos. Estos valores superaron los límites establecidos para el Grado 1, lo que ubicó al lote dentro de los parámetros del Grado 2 de calidad.

Por su parte, el lote de mayo mostró un perfil más favorable: 8.0% de granos parcialmente fermentados, 6.0% violetas, 2.0% sobre fermentados, y porcentajes mínimos o nulos en mohosos, pizarrosos e infectados por insectos. Estos resultados cumplieron con los requisitos del Grado 1, evidenciando una mejor fermentación y menor presencia de defectos internos.

La comparación entre ambos lotes mostró que el cacao de mayo alcanzó una clasificación superior, al presentar menor proporción de granos defectuosos y mayor consistencia en la fermentación. En contraste, el lote de enero reflejó problemas de uniformidad en el proceso, con exceso de granos violetas y sobre fermentados, además de una incidencia mayor de insectos, lo que limitó su calidad comercial.

7.1.11. Porcentaje de fermentación del grano de cacao. Se muestran los promedios simulados de dos lotes (Cuadro 11) a los que se les ha medido el porcentaje de fermentación total, como resultado de la suma de los granos parcialmente fermentados y completamente fermentados que fueron evaluados internamente a través del corte longitudinal.

Cuadro 11. Resultados promedio (simulados) de fermentación del grano de cacao.

Variable.	Muestra.		Parámetro.	
	Lote de Enero.	Lote de Mayo.	Grado 1.	Grado 2.
Granos completamente fermentados.	70%	91%	Mayor al 75%	Mayor al 65%

En la evaluación del porcentaje de fermentación del grano de cacao (Cuadro 11), el lote de enero presentó un 70% de granos completamente fermentados, valor que lo ubicó dentro de los parámetros del Grado 2 ($\geq 65\%$). En contraste, el lote de mayo mostró un 91% de granos completamente fermentados, superando el mínimo requerido para el Grado 1 ($\geq 75\%$). Esta diferencia evidencia que el lote de mayo alcanzó una mejor clasificación en términos de fermentación, mientras que el lote de enero reflejó un proceso incompleto de fermentado.

La FHIA (2015) establece que la calidad del cacao depende de la prueba de corte, con un mínimo de 75% de granos bien fermentados para calidad A y 65% para calidad B, además de límites para violetas y sobre fermentados. En cambio, la ISO 2451:2017 no fija porcentajes de fermentación mínimos si no que califica la calidad de sus granos con base en los límites permitidos por defecto como se evaluó anteriormente. Por su parte, la Plataforma Cacao de Excelencia (2023) recomienda al menos un 70–75% de granos bien fermentados para mercados de excelencia, priorizando la homogeneidad de los granos y ausencia de defectos. Así, mientras la FHIA prioriza los porcentajes de fermentación, la ISO se centra en defectos físicos y la plataforma Cacao de Excelencia busca un equilibrio entre ambos.

7.1.12. Asignación del grado de calidad.

Con los resultados anteriores, se le asigna al lote de Mayo el Grado 1 de calidad de cacao, ya que cumplió con los diferentes parámetros establecidos internacionalmente; y, en consecuencia, el lote de Enero, se asignó como Grado 2, al cumplir con los requisitos locales.

7.2. Resultados del rubro de plátano.

7.2.1. Identificación de puntos de monitoreo en los procesos de producción de plátano. El flujograma representa las etapas clave del proceso productivo del plátano (Figura 21), desde la siembra hasta la poscosecha, que facilita la identificación de los puntos de monitoreo.

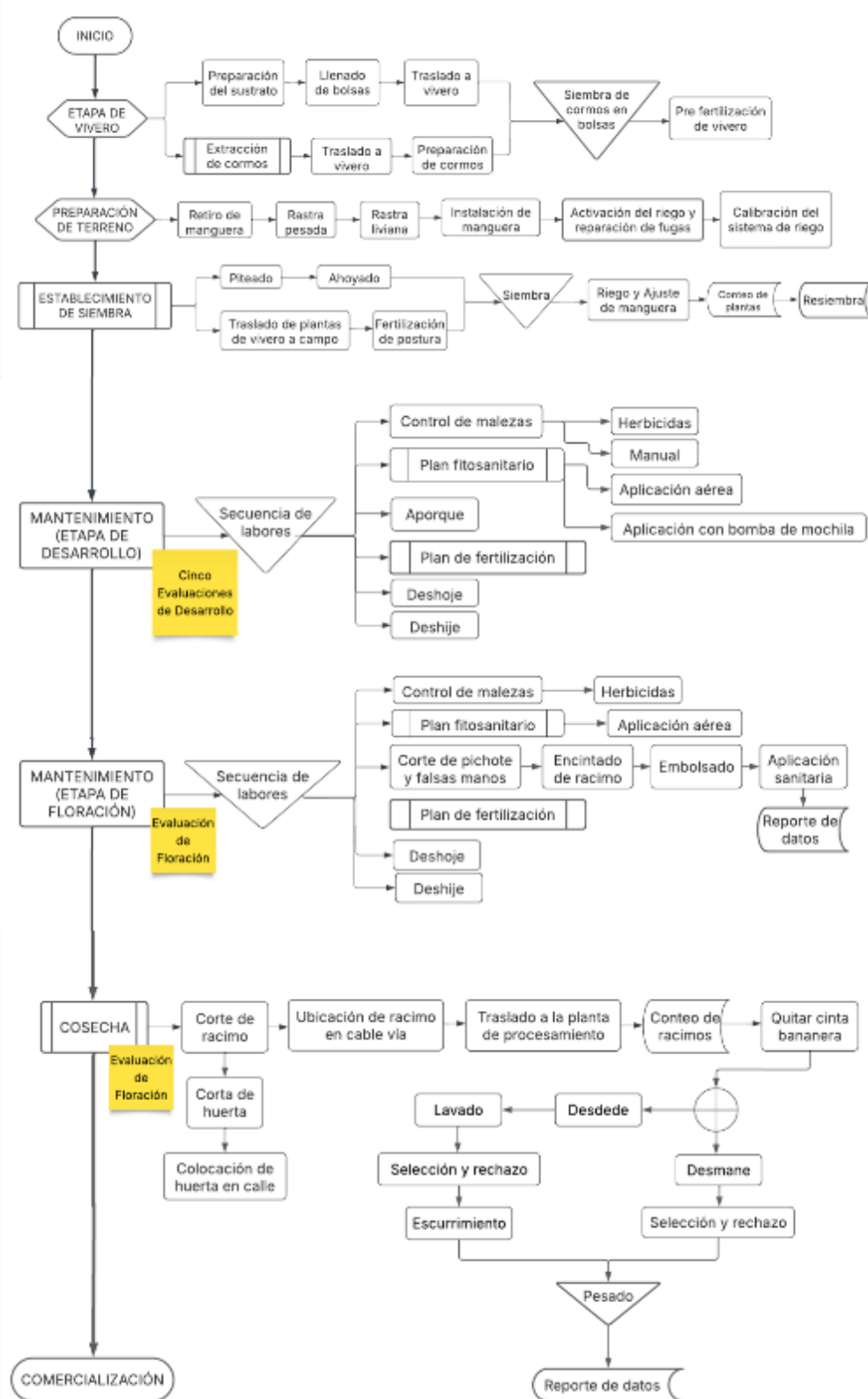


Figura 21. Flujograma del cultivo de plátano.

Fueron identificados tres puntos de monitoreo y se marcaron cada uno con una viñeta amarilla dentro del diagrama de flujo. El primero corresponde a las evaluaciones de desarrollo, realizadas cada 30 días durante los primeros 50 días de la etapa vegetativa, donde se registraron parámetros de crecimiento como altura de planta, número de hojas y vigor general. El segundo punto de monitoreo se ubicó en la evaluación de floración, realizada en la semana 32, en la cual se midió el desarrollo de la inflorescencia, uniformidad de racimos y estado fitosanitario. Finalmente, el tercer punto de monitoreo se realizó en la evaluación de cosecha, en la semana 33, donde se verificó el llenado del racimo y la calidad externa del fruto antes de su traslado a la planta de procesamiento.

La identificación de estos puntos de monitoreo asegura el control de calidad básico desde el establecimiento de la plantación hasta la cosecha. Las mediciones en la etapa de desarrollo permiten ajustar fertilización y control fitosanitario; mientras que la evaluación de floración garantiza uniformidad en la producción. Finalmente, la evaluación de cosecha asegura que el racimo cumpla con los estándares de calidad exigidos en el mercado nacional (Mejía, 2018).

En conclusión, la integración de puntos de monitoreo en el flujograma del cultivo de plátano fortalece la eficiencia productiva y asegura la competitividad del fruto en el mercado, alineándose con las recomendaciones de la FAO (2022) sobre la calidad del plátano.

7.2.2. Comportamiento del desarrollo del cultivo de plátano. Se presentan a continuación las variables más relevantes para el desarrollo vegetativo y reproductivo, comparándolos contra los parámetros establecidos para la variedad de plátano curaré enano (Cuadro 12). Se aclara que los resultados mostrados como el promedio de la etapa de desarrollo incluyen solamente la última medición tomada a los 150 días desde la siembra ya que todos los días anteriores no tienen parámetros establecidos y se utilizan dichas mediciones para practicidad en el campo solamente ya que su comportamiento influye directamente en el rendimiento y la calidad del fruto. Es importante mencionar que los valores del parámetro son para un cultivo en condiciones controladas proporcionadas por el laboratorio de donde procede la variedad curaré enano que maneja la Hacienda. Por confidencialidad a la empresa, se muestran valores cercanos a los obtenidos.

Cuadro 12. Resultados promedio (simulados) del desarrollo del cultivo de plátano.

Descriptor.	Promedios (simulados) de las diferentes etapas vegetativas y de reproducción.			Parámetro.
	Desarrollo.	Floración.	Cosecha.	
Altura del pseudotallo (m).	1.20 m.	2.30 m.	N/A.	2.50 m.
Perímetro del pseudotallo (cm).	38.91 cm.	57 cm.	N/A.	60 cm.
N°. de hojas sanas.	10 hojas sanas.	9 hojas sanas.	N/A.	8 a 12 hojas.
N°. de manos por racimo.	N/A.	6 unidades.	6 unidades.	9 unidades.
N°. de frutos por racimo.	N/A.	50 unidades.	50 unidades.	54 unidades.
Longitud del fruto (cm).	N/A.	N/A.	28 cm.	25 cm.
Diámetro del fruto (mm).	N/A.	N/A.	55 mm.	44 mm.
Peso del racimo (kg).	N/A.	N/A.	31 lb (14 kg).	33 lb (15 kg).

Tomado de: GENSA, 2023.

Para la etapa de floración, las variables más importantes fueron sobre las unidades de manos y frutos por racimo; para las que se obtuvieron como máximo 7 manos por racimo y un mínimo de 5 manos, teniendo como media 6 manos por racimo. Además, el racimo tuvo 55 unidades como máximo, 40 unidades de plátano como mínimo, y una media de 51 plátanos por racimo. En cuanto al desarrollo vegetativo, se obtuvieron medias de 2.30 m de altura del pseudotallo, 57 cm del perímetro del mismo y 9 hojas sanas.

Se toma en cuenta que los parámetros son provistos por el laboratorio del que provienen las plantas de plátano variedad curare enano como medidas estándar de cuando son sembradas en el campo; pero, estas evaluaciones realizadas, midieron las plantas desarrolladas en laboratorio, y también a la primera generación F1 hijas de ellas.

Siendo así, la medición de floración realizada en la semana 32 muestra un desarrollo vegetativo aceptable de la altura y perímetro del pseudotallo, así como con el número de hojas sanas (GENSA, 2023). En cuanto al desarrollo reproductivo, según Bolaños et al. (2020) se estima que, de una cepa procesada en laboratorio se logran hasta tres generaciones con una alta calidad en cuanto a pureza genética y sanidad. Sin embargo, acorde a las prácticas de despichotado en la Hacienda, se procura que se conserven cerca de 6 manos por racimo para

que el fruto se desarrolle más grande individualmente. Aun así, las 50 unidades por racimo están muy cerca de el parámetro que son 54 unidades por racimo.

Durante el período de cosecha en la semana 33, se obtuvo una longitud mínima de fruto de 53 mm y longitud máxima de 31 cm, con una media de 55 mm. Así como el diámetro del fruto que fue mínimo de 53 mm, un máximo de 57 mm y una media de 55 mm de diámetro por plátano. En relación al peso, hubo máximos de 32 lb por racimo, mínimos de 27 lb por racimo, siendo la media de 31 lb por racimo de plátano.

Comparando los parámetros de referencia de la variedad Curaré Enano que reporta el laboratorio, se observa que sí hay un aumento en la calidad del fruto en cuanto al tamaño del plátano. Esto se debe a una mejor distribución de los nutrientes en la práctica del despichotado, ya que estos se dirigen hacia los frutos ya formados y mejoran su calidad y peso (Jaramillo et al., 2019).

CONCLUSIONES

- La sistematización de la información durante el beneficio del cacao muestra que las variables del proceso de beneficiado influyen en la calidad física del grano. De esta manera, se confirma que los monitoreos implementados son válidos y útiles para la toma de decisiones.
- El parámetro clave para asegurar la calidad del grano de cacao durante el beneficiado es la temperatura de fermentación, ya que regula la acción microbiológica en la transformación de azúcares y la generación de precursores de sabor. Un control adecuado garantiza una fermentación equilibrada, ayudando a mejorar el desarrollo de sabores en el cacao.
- La metodología de evaluación física del grano de cacao, sustentada en normas internacionales, constituye un procedimiento confiable y preciso como base técnica para clasificar y monitorear la calidad. Sin embargo, los límites de aceptación de los parámetros obtenidos no son inflexibles, pues varían según el país, la región o las exigencias particulares de cada comprador.
- El monitoreo del desarrollo vegetativo, la floración y la cosecha en el cultivo de plátano de la variedad Curaré Enano ha demostrado que las variables como la altura y el perímetro del pseudotallo o el número de hojas no son determinantes en el número de plátanos por racimo.
- El monitoreo de las fases de floración y cosecha evidencia que la práctica de despichado, aplicada en la Hacienda, reduce el número de manos por racimo, pero mejora el tamaño y peso de los frutos, manteniendo la calidad comercial.
- Las variables directamente relacionadas con la producción de plátano —como el número de manos, la cantidad de frutos y sus dimensiones— ha resultado esencial. De este modo, se ha logrado registrar un mayor control sobre la calidad final del producto.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda fortalecer los protocolos de control de humedad y fermentación en cacao para reducir la variabilidad entre lotes de producción y asegurar consistencia con normas ISO y FHIA.
- Es conveniente documentar la estacionalidad en grados brix y peso de *batch* como insumo para planificar cosechas y ventas, además de capacitar al personal en muestreo y clasificación de defectos para garantizar uniformidad en la calidad exportable.
- En plátano Curaré Enano, se aconseja mantener la práctica de despichado en seis manos, dado que mejora el tamaño y peso de los frutos y responde a las exigencias de mercado.
- Finalmente, se recomienda que futuros trabajos incluyan mediciones reales en campo para validar las simulaciones y fortalecer la trazabilidad de resultados. La integración de prácticas agronómicas con análisis estadístico y respaldo bibliográfico reciente constituye una estrategia clave para garantizar la competitividad de la producción de cacao y plátano en escenarios reales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, H. (2016). *Manual para la evaluación de la calidad del grano de cacao* [Archivo PDF].
https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/Manual_para_la_Evaluacion_de_la_Calidad_del_Grano_de_Cacao.pdf.
- Aguilar, H. (2017). *Guía de buenas prácticas de poscosecha de cacao* [Archivo PDF].
https://fhia.org.hn/wp-content/uploads/Guia_buenas_practicas_de_poscosecha_de_cacao.pdf.
- Arias, A y Toledo, J. (2000). Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos) [Archivo PDF].
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2623051>.
- Bobiles, S., Elegado, F., Millena, C. y Merca, F. (2021). *Small-scale cacao (Theobroma cacao L.) fermentation process utilizing cacao pod husk* [Archivo PDF].
https://www.myfoodresearch.com/uploads/8/4/8/5/84855864/_26__fr-2021-502_bobiles.pdf.
- Bolaños, M; Bautista, L; Cardona, W; Morales, H; López, D. y Peña, A. (2020). Plátano (*Musa AAB*) [Archivo PDF].
<https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/b4269add-80af-4ede-86b3-fac4403221c3/content>.
- Cacao de excelencia. (2023). *Guía para la evaluación de la calidad y el sabor del cacao* [Archivo PDF].
<https://www.cacaoofexcellence.org/fileadmin/Websites/CocoaOfExcellence/docs/guide/Guia-Calidad%20y%20Sabor%20del%20Cacao-25Sept2023.pdf>.
- CEDAF (Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal). (2009). *Guía técnica del cultivo del cacao* [Archivo PDF].
<https://intranet.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2023). *Theobroma cacao* [Archivo PDF].

http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf.

Daarnhouwer. (2022). *Hacienda San José: El rico patrimonio cacaotero de El Salvador*.
<https://daarnhouwer.com/es/cocoa-stories/exploring-the-flavours-of-central-america/>.

End, M. y Dand, R. (2023). *Chocolate and cocoa industry quality requirements* [Archivo PDF].
<https://jointcocoaresearchfund.eu/fileadmin/downloads/Cocoa-Beans-Guide-2023-en.pdf>.

FAO (Organización de las naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2017). *Guía sobre trazabilidad alimentaria* [Archivo PDF].
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/73065421-9aae-440a-8362-5ea847deb2eb/content>.

FAO. (2021). *Banano - Análisis de mercado 2021* [Archivo PDF].
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e4ce5169-2db4-444f-af17-2b6b5e9732f7/content>.

FAO. (2022). *Norma CXS 205:1997 para el plátano (banano)* [Archivo PDF].
https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B205-1997%252FCXS_205s.pdf.

Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (FEDECACAO). (2005). *Guía técnica para el cultivo del cacao* [Archivo PDF]. <https://canacacao.org/wp-content/uploads/FEDECACAO-GUIA-TECNICA-2015-BAJA-1.pdf>.

Fernández, F.; Pico, J. y Avellán, B. (2021) *Guía para la Producción y Manejo Integrado del Cultivo de Plátano* [Archivo PDF].
<https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/287acb0d-80a6-4897-9fb5-32a5169abbc8/content>.

García, H. (2018). *Determinación del perfil de sabor de doce cacaos autóctonos (Theobroma cacao L.) producidos en siete fincas cacaoteras de El Salvador* [Archivo PDF].

<https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/download/102/118/226>.

Google maps. (2025). *Imagen del beneficio de cacao de la Hacienda La Carrera*.
https://www.google.com/maps/@13.2891684,-88.5017315,311m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI2MDIyNS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D.

GreenLab Biotechnology. (2025). *Plátano curare enano*. <https://greenlab-biotechnology.com/wp-content/uploads/2025/01/PLATANO-CURARE-ENANO.pdf>.

Grupo El Ángel. (2023). *Innovación Agrícola*. <https://grupoelangel.com.sv/innovacion-agricola/>.

ICCO (International Cocoa Organization). (21 de octubre de 2025). *Statistics*.
<https://www.icco.org/statistics/>.

ICCO. (s.f.). *Procesamiento posterior a la cosecha del cacao: fermentación y secado*.
<https://www.icco.org/processing-cocoa/>.

IICA. (2017). *Cacao en América* [Archivo PDF].
<https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6422/1/BVE18019631e.pdf>.

ISO (Organización Internacional de Normalización). (2018). *Norma ISO 22000:2018: Sistemas de gestión de la inocuidad de los alimentos — Requisitos para cualquier organización en la cadena alimentaria*. <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:22000:ed-2:v2:es>.

ISO. (2017). *Norma ISO 2292:2017 – Granos de cacao: Muestreo*.
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:2292:ed-2:v1:en> iso.org+1.

ISO. (2017). *Norma ISO 2451:2017 – Granos de cacao: Especificación y requisitos de calidad*.
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:2451:ed-3:v1:en>.

ISO. (2019). *Norma ISO 34101-3:2019: Cacao sostenible y trazable — Parte 3: Requisitos para la trazabilidad*. [Archivo PDF]. <https://www.iso.org/standard/64767.html>.

ISO. (2019). *Norma ISO 34101-4:2019: Cacao sostenible y trazable — Parte 4: Requisitos para esquemas de certificación*. [Archivo PDF]. <https://www.iso.org/standard/70773.html>.

- Jaramillo, A; Valencia, J; Chávez, L; Bolaños, M; Morales, H. y Rodriguez, D. (2019). Prácticas de manejo sostenible para el cultivo de plátano [Archivo PDF]. <https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/37341ac7-6fbc-4333-a10e-2d61fba81cce/content>.
- Mejía, C. (2018). Cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*) [Archivo PDF]. <https://www.centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-platano/>.
- Mujaffar, S; Sukha, D. y Ramroop, A. (2017). *Comparison of the drying behavior of fermented cocoa (Theobroma cacao L.) beans dried in a cocoa house, greenhouse and mechanical oven.* <https://www.icco.org/wp-content/uploads/T5.26.-COMPARISON-OF-THE-DRYING-BEHAVIOR-OF-FERMENTED-COCOA-THEOBROMA-CACAO-L.-BEANS-DRIED-IN-A-COCOA-HOUSE-G.pdf>.
- NTC (Norma Técnica Colombiana). (2003). Norma 1252: *Cacao en grano* [Archivo PDF]. <https://es.scribd.com/doc/58309374/NTC-1252-Cacao-en-Grano>.
- Unión Europea. (28 de enero de 2002). *Reglamento (CE) n.º 178/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo.* <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2002/178/oj/eng>.
- Quevedo, E. (2006). *La prueba de corte: una herramienta para medir el nivel de fermentación del cacao* [Archivo PDF]. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1635>.
- Rainforest Alliance. (2019). *Better for business: Cocoa* [Archivo PDF]. <https://www.rainforest-alliance.org/wp-content/uploads/2019/11/Better-for-business-Cocoa-A4.pdf>.
- Ruíz Cruz, E. y Pangan, M. (2018). *Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao (Theobroma cacao L.) de la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz* [Archivo PDF]. <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/1%20CACAO/Perfiles%20de%20Transformaci%C3%B3n%20Armando%20Ru%C3%ADz/Informe%20final%20fermentaci%C3%B3n%20cacao.pdf>.
- Schlaefli, S. (9 de julio de 2023). *Cacao “fingerprints” for better chocolate.* <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2023/09/cacao-fingerprints-for-better->

chocolate.html#:~:text=Using%20a%20new%20analytical%20method%2C%20ETH%20Zurich%20doctoral,chocolate.%20Julie%20Lestang%27s%20research%20focuses%20on%20cocoa%20fruit.

Pérez, M. y Contreras, J. (2017). *Guía de buenas prácticas de cosecha, fermentación y secado para la producción de cacao especiales* [Archivo PDF].
https://www.swisscontact.org/_Resources/Persistent/d/3/b/f/d3bfbb5a8d042f05cbf5533494e288f2c52800b8/Guia_de_buenas_practicas_de_poscosecha.pdf.

UCDAVIS (Centro de Tecnología de Postcosecha de la Universidad de California). (28 de septiembre de 2024). *Postcosecha de Plátano*.
<https://postharvest.ucdavis.edu/es/produce-facts-sheets/banano-platano>.

ANEXOS

Anexo A-1. Clasificación taxonómica de la planta de cacao.

División.	Espermatofita.	Orden.	Malvales.	Tribu.	Bitneria.
Clase.	Angiosperma.	Sub-orden.	Malvinas.	Género.	<i>Theobroma.</i>
Sub-clase.	Dicotiledónea.	Familia.	Esterculiáceas.	Especie.	<i>cacao.</i>

Nota. Tomado de la Guía técnica del cultivo del cacao, por CEDAF (2009).

Anexo A-2. Características del cacao criollo, trinitario y forastero.

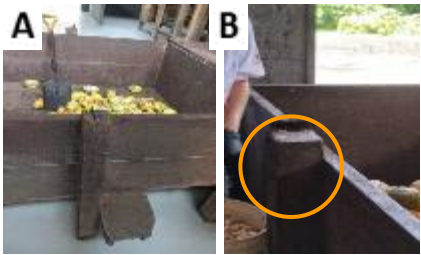
Tipos de cacao.			
	Criollo.	Trinitario.	Forastero / Amazónico.
Foto del fruto.			
Descripción de la forma de la mazorca.	Forma cundeamor y angoleta. Textura rugosa.	Forma cundeamor y angoleta. Textura intermedia.	Amelonado y calabacillo. Textura lisa.
Almendras (semillas).	Blanco marfil a rosado. De mayor tamaño. 	Violeta claro a violeta oscuro. De color y tamaño intermedio.	Violeta oscuro. De menor tamaño. 

Nota. Tomado de la Guía técnica del cultivo del cacao, por CEDAF (2009).

Anexo A-3. Redes con la cosecha de cacao. (A) En el campo; (B) En el centro de beneficiado.



Anexo A-4. Cajones de selección de mazorcas. (A) Cajón de selección. (B) Filo metálico.



Anexo A-5. Infraestructura de secado. (A) Bandejas extendidas. (B) Bandejas contraídas.



Anexo A-6. Máquina cribadora para cacao. (A) Parte exterior. (B) Parte interior.



Anexo A-7. Bodegas de almacenamiento de cacao. (A) Externamente. (B) Internamente.

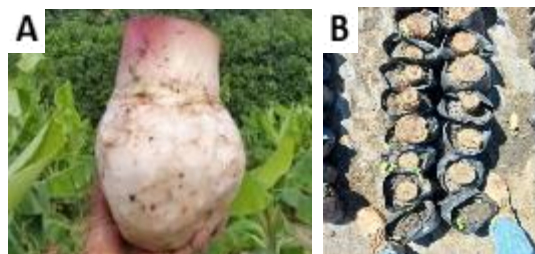


Anexo A-8. Clasificación taxonómica de la planta de plátano.

División.	Magnoliophyta.	Familia.	Musaceae.	Categoría.	AAB (Eumusa.AAB
Clase.	Liliopsida.	Género.	<i>Musa</i> .		plátano).
Orden.	Zingiberales.	Especie.	<i>paradisiaca</i> L.		

Nota. Tomado de la Ficha técnica de plátano variedad curaré enano, por GreenLab Biotechnology (2025).

Anexo A-9. Cormo de plátano. (A) Extraído en campo. (B) Sembrado en vivero.



Anexo A-10. Índices de madurez del plátano.



Anexo A-11. Daños comunes del plátano.

Daño.	Causa.	Imagen.
Sigatoka.	Causada por <i>Mycosphaerella musicola</i> (Sigatoka amarilla a la izquierda) y <i>Mycosphaerella fijiensis</i> (Sigatoka negra a la derecha). Provoca manchas foliares que reducen la fotosíntesis y el llenado del fruto.	
Mal de Panamá.	Causado por <i>Fusarium oxysporum f. sp. cubense</i> . Produce marchitez y amarillamiento de hojas por bloqueo vascular; difícil de erradicar.	
Pudrición Tipo Ceniza de Cigarro o punta de cigarro.	Causada por <i>Verticillium theobromae</i> y/o <i>Trachysphaera fructigena</i> . La porción dañada se seca, pero no cae, se queda adherida a la fruta, siendo similar a la ceniza de un cigarro que se consume.	
Antracnosis.	Causado por <i>Colletotrichum musae</i> , se vuelve evidente a medida que los bananos maduran, especialmente en heridas y aberturas de la piel.	

Pudrición de la Corona.	Causada por los patógenos: <i>Thielaviopsis paradoxa</i> , <i>Lasiodiplodia theobromae</i> , <i>Colletotrichum musae</i> , <i>Deightoniella torulosa</i> y <i>Fusarium roseum</i> . Atacan la superficie cortada de las manos y el cuello del fruto.	
Daños mecánicos.	Proviene de factores ambientales o errores laborales, como cortes, quemaduras solares o daños por aves cuando el fruto carece de protección adecuada.	

Nota. Elaborado con base en Postcosecha de Plátano, de UCDAVIS, 2024.

Anexo A-12. Embolsado del racimo de plátano.



Anexo A-13. Encintado del racimo de plátano.



Anexo A-14. Partes de despichotado del racimo de plátano. (A) Pichota. (B) Última mano.



Anexo A-15. Cosecha de plátano. (A) En el cable vía, (B) En la planta de procesamiento.



Anexo A-16. Desinfección de plátano. A. Lavado. B. Ecurrido.



Anexo A-17. Categorías de calidad en plátano y su tolerancia permitida.

Categoría.	Descripción.	Tolerancia.
Categoría “Extra”.	Frutas de calidad superior, sin defectos o con defectos superficiales muy leves que no afecten su aspecto ni presentación.	Se admite hasta un 5 % de tolerancia en número o peso de frutos que no cumplan los requisitos.
Categoría I.	Plátanos de buena calidad con defectos leves en forma o color, o pequeños daños en la cáscara que no superen 2 cm ² ni afecten la pulpa.	Se acepta una tolerancia del 10 %.
Categoría II.	Incluye plátanos con defectos más visibles —como raspaduras, manchas o costras— siempre que mantengan las características esenciales del producto y los defectos no superen 4 cm ² ni afecten la pulpa.	Se admite una tolerancia del 10 %, excepto en casos de podredumbre o daños graves que impidan el consumo.

Nota. Adaptado de la Norma para el plátano CXS 205:1997, FAO (2022).

Anexo A-18. Ficha de trazabilidad.

FICHA DE TRAZABILIDAD
Fermentación y Secado de Cacao Clase A

[illegible]

Anexo A-19. Ficha de evaluación física (interna y externa) de los granos.

EVALUACIÓN FÍSICA DE LA CALIDAD DEL GRANO DE CACAO								
1. Identificación de la muestra.								
Origen de la muestra (Propiedad, finca o hacienda).		Código de lote en bodega.						
Municipio / departamento.		No. de muestra.						
Nombre del evaluador.		Fecha de muestreo.						
2. Índice de grano y humedad.								
Muestra.	Criterio.	Submuestra 1.	Submuestra 2.	Submuestra 3.	Promedio.			
3 submuestras, cada una según afore el equipo de medición.	Contenido de humedad (%)							
3 submuestras, cada una de 100 granos de cacao.	Índice de grano (peso de 100 granos expresado en gramos)							
3. Evaluación física externa de la muestra de cacao (Granos enteros).								
Muestra.	Criterio.	Concepto.			Porcentaje.			
Mínimo 600 g. / Máximo 1000 g. de cacao en grano entero.	Se usa un tamiz de 5 mm.	Partículas menores a 5 mm. de cacao, hojas, tierra, insectos, entre otros.						
Separación manual en la muestra restante. Se mide en peso (g) y se expresa en % sobre la muestra de 1000 g.	Contenido de residuos de cacao y material extraño	Pedazos de cáscara, placenta y granos partidos. Hojas, insectos, piedras y otros ajenos al cacao.						
	Granos aplanados y pasilla.	Granos planos que no permiten su corte longitudinal.						
	Granos pegados.	Dos o más granos que están fuertemente pegados.						
	Granos perforados.	Granos que están geminados o dañados por insectos.						
4. Evaluación física interna de la muestra de cacao (Granos en prueba de corte).								
Muestra.	Criterio.	1	2	3	4	5	6	Promedio.
6 submuestras, cada una de 50 granos enteros puestos para prueba de corte y observados con lente magnificador. Cada grano cuenta por dos por ciento. La sumatoria en cada submuestra debe de ser 100 %	Granos completamente fermentados (%)							
	Granos parcialmente fermentados (%)							
	Granos violetas, sin fermentar (%)							
	Granos sobre fermentados (%)							
	Granos mohosos (%)							
	Granos pizarrosos (%)							
	Granos infectados por insectos (%)							
Sumatoria por columnas (debe ser 100%)								
5. EVALUACIÓN GLOBAL.		Grado 1 ☐ Grado 2 ☐ Grado 3 ☐						
Observaciones generales.								

Anexo A-20. Ficha de evaluación para etapa de desarrollo en plátano.

HOJA DE EVALUACIÓN PARA ETAPA DE DESARROLLO EN PLÁTANO

Especificar si el uso de esta Hoja de evaluación es para edad de _____
(30/60/90/120/150) días desde la siembra

[illegible]

Evaluador _____ Fecha _____

Anexo A-21. Ficha de evaluación para etapa de floración en plátano.

HOJA DE EVALUACIÓN PARA ETAPA DE FLORACIÓN EN PLÁTANO

[illegible]

Evaluador _____ Fecha _____

Anexo A-22. Ficha de evaluación para etapa de cosecha en plátano.

HOJA DE EVALUACIÓN PARA PUNTO DE COSECHA EN PLÁTANO

[illegible]

Evaluador

Fecha _____