COLEGIO DE POSTGRADUADOS

CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS







Etztli Itzel Morales Reyes

Martín A. Bolaños González

# Manual de Manejo Poscosecha y Fermentaciones del Fruto del Café

PMC
Programa Mexicano del Carbono
Red Temática del CONAHCYT





# Manual de manejo poscosecha y fermentaciones del fruto del café

Etztli Itzel Morales Reyes

Martín A. Bolaños González

**Autores:**

Etztli Itzel Morales Reyes
Martín A. Bolaños González

ISBN: 978-607-99797-5-1




Se prohíbe la reproducción parcial o total de esta obra, por cualquier medio.

---

Diseño Gráfico: Oscar J. Velázquez R.

# Contenido

Contenido

Introducción 1

1 Factores que intervienen en la calidad del café 3
1.1 La calidad del café 4

2 Los factores precosecha 5
2.1 Genotipo 6
2.2 Factores ambientales 10
2.3 Prácticas de cultivo 11

3 Factores poscosecha 13
3.1 ¿Qué es la poscosecha? 14
3.2 Los objetivos de la poscosecha son los siguientes: 14
3.3 Etapas de la poscosecha 14

4 Maduración de los frutos 15
4.1 Cosecha 17
4.2 Recomendaciones para la cosecha 18

Práctica # 1 19
Refractómetro 19

Práctica # 2 20
Uso del Cerezometro y del Refractometro 20

5. Beneficio (Tipos de procesamiento) 23
5.1 Constantes físicas del café 27

Ejercicios 28

6 Fermentación de Café 29
6.1 Tipos de fermentaciones 30
6.1.3 Fermentaciones Espontáneas 30
6.1.2 Fermentaciones Controladas 30

6.2 Factores de la fermentación del café 32
6.3 Variables básicas para considerar en una fermentación 33
6.4 Interpretación de las variables en la fermentación del café 34

Práctica # 3 36

Calibración de medidores, pH metro (potenciómetro), conductímetro 36
Medición de grados Brix, pH, CE y TDS 37

6.5 Maceración carbónica 39
6.5.1 Consideraciones para la maceración carbónica en café 39

6.6. Fermentación Láctica 39
6.6.1 Consideraciones para una fermentación con sal 41
6.6.2 Características de las salmueras de fermentación 42

6.7 Fermentación de café con anaerobiosis autoinducida (Self-induced anaerobiosis coffee fermentation) SIAF 42
6.7.1 Características de los fermentadores 43

7 ¿Cómo iniciar un experimento? 45

8 Secado 47
8.1 Secado al sol 48

9 Almacenamiento 51

10 Catación 53

Bibliografía 58

Anexo 1 60

# Introducción



La caficultura enfrenta grandes retos, entre ellos la escasa sostenibilidad económica que compromete la sustentabilidad ambiental y social de los productores de sistemas agroforestales, donde se produce café de alta calidad bajo sombra al mismo tiempo que proveen de importantes servicios ecosistémicos. Sin embargo, diversos factores como la mayor presencia y severidad de plagas y enfermedades, el cambio climático global y los derivados del mercado: precios bajos, mercados volátiles y especulativos, dificultad de acceso a mercado nuevos, escaso conocimiento y valoración de los servicios ecosistémicos por los compradores y consumidores, y dificultad para implementar nuevas formas de comercializar (comercio electrónico, por ejemplo), han afectado estos sistemas de producción, disminuyendo su resiliencia. Por ello, para sobrellevar los desafíos que enfrentan los productores es esencial buscar alternativas para mejorar la calidad e identificar mecanismos novedosos para comercializar, así como acercar a los productores hacia el consumidor final.

Los productos de alta calidad o de especialidad representan una alternativa real para la sostenibilidad de los sistemas socioecológicos de los pequeños y medianos productores, ya que el precio, además de determinarse por la calidad de los granos, debe valorar su trazabilidad, la provisión de servicios ecosistémicos (servicios hidrológicos, captura de carbono, mantenimiento de la biodiversidad, entre otros) y el trato justo, lo que coadyuvará a mejorar la calidad de vida de las personas que dependen de la producción de café, manteniendo sus medios de vida y preservando los paisajes biodiversos de las zonas cafetaleras.

La calidad del café en taza depende de cada paso en la cadena productiva, desde de los factores genéticos, ambientales y de manejo de cultivo en la parcela, hasta la preparación de la bebida. En general, la calidad del café está determinada por el manejo y procesos poscosecha, que aportan alrededor del 60% de la calidad a los granos de café verde, donde intervienen factores que afectan propiedades fisicoquímicas y los atributos sensoriales. Los procedimientos posteriores a la cosecha incluyen el despulpado, la fermentación, el procesamiento, el secado, el descascarillado, la limpieza, la clasificación, el almacenamiento, el tostado, la molienda y la cata. Asimismo, la fermentación durante el procesamiento se ha convertido en una herramienta para mejorar la calidad del café y modificar el perfil sensorial. Las alteraciones en los perfiles sensoriales se han logrado debido a los diferentes métodos de fermentación que han surgido. Así, el monitoreo y control de este paso en la poscosecha, y cómo afecta calidad del producto resultante, se ha convertido en uno de los desafíos actuales de la cadena de beneficio del café.

Este manual se diseñó como una herramienta práctica para los productores de café, contiene conceptos básicos y herramientas para poder incursionar en la experimentación y el procesamiento de cafés de alta calidad. Así mismo, el manual se elaboró en el marco del proyecto ProNacEs: 319069 Resiliencia y estabilidad socieocológica de la cafeticultura mexicana bajo sombra hacia nuevos paradigmas y, de manera específica, como producto de la Estancia Posdoctoral de la Dra. Etztli I. Morales Reyes en la Modalidad de Incidencia, quien desarrolla el proyecto: "Producción de cafe de alta calidad como estrategia de sustentabilidad para los sistemas sociecologicos de café bajo sombra".



1

# Factores que intervienen en la calidad del café



## 1.1. La calidad del café

Está asociada con las actividades de manejo antes y después de la cosecha.

Cada paso, desde la selección de la mejor variedad de café para la plantación hasta la preparación final de la bebida de café, determina la calidad de la taza.

En categorías amplias, dos factores afectan la calidad del café, factores previos a la cosecha y posteriores a la cosecha (Wintgens, 2009).

Los factores precosecha establecen aproximadamente el 40% de los atributos sensoriales y propiedades físicas y químicas de los granos de café, y el 60% restante de la calidad del café es establecida por el procesamiento poscosecha (Haile y Hee 2020).



2

# Los factores precosecha



## 2.1. Genotipo

**Genotipo:** Se refiere a la constitución genética completa de un individuo. El genotipo es un factor clave, ya que determina en gran medida características importantes como el tamaño y la forma de los granos, así como su color, composición química y sabor.

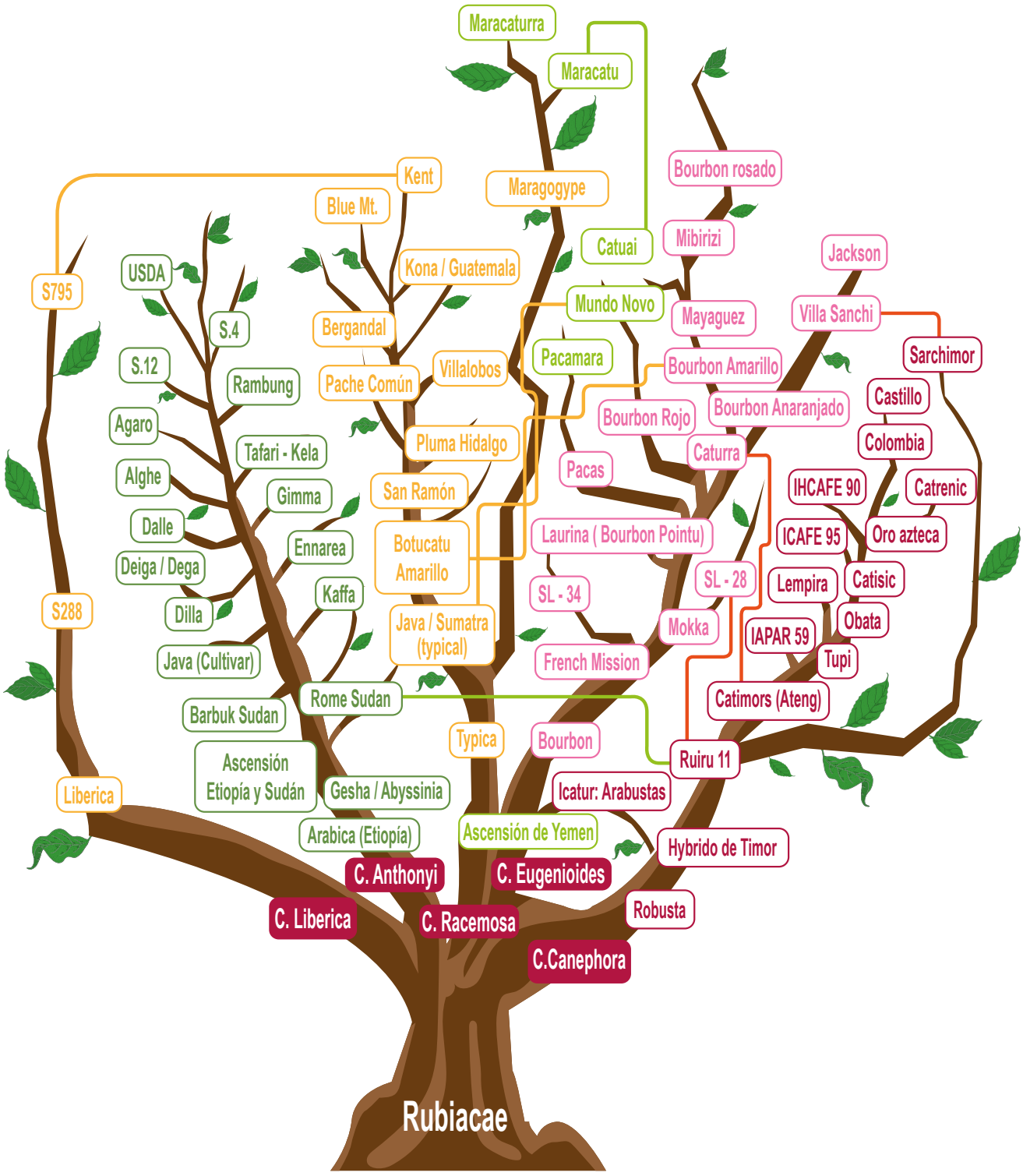



**Figura 1. Árbol genealógico del Café: Especies y Variedades**
**Fuente:** Adaptado de 504honduras.blogspot.com

# Definiciones

**Variedad:** Es seleccionada por la naturaleza, en respuesta a cambios de factores ambientales (Arévalo *et al*., 2006).

**Cultivar:** Es seleccionado por el hombre, por técnicas de mejoramiento genético (Arévalo *et al*., 2006).

**Híbrido:** Individuo que es producto del cruce de dos organismos de distinta especie, cruce de Arábica-Robusta.

**Tabla 1. Principales variedades cultivadas en México**

| Nombre | Grupo Genético | Origen | Porte | Tamaño del grano | Roya del cafeto | Rendimiento | Potencial de calidad mostrado en altura | Años para la primera cosecha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Típica** | Grupo Borbón-Típica | Etiopía | Alto | Grande | Susceptible | Bajo | Muy buena | Año 4 |
| **Bourbon:** | Grupo Borbón-Típica | África | Alto | Promedio | Susceptible | Medio | Bueno | Año 4 |
| **SL28** | Grupo Borbón-Típica (Borbón relacionada) | Kenia, Malawi, Uganda | Alto | Grande | Susceptible | Muy alto | Excepcional | Año 3 |
| **Caturra** | Grupo Borbón-Típica Una mutación natural de la variedad Borbón | Brasil | Bajo | Promedio | Susceptible | Bueno | Bueno | Año 3 |
| **Maragogipe** | Grupo Borbón-Típica Una mutación natural del Típica | Brasil | Alto | Muy Grande | Susceptible | Bajo | Muy buena | Año 4 |
| **Pacamara** | Grupo Borbón-Típica Pacas x Maragogype | Salvador | Bajo | Muy grande | Susceptible | Bueno | Muy bueno | Año 3 |
| **Pluma Hidalgo** | Grupo Borbón-Típica Una mutación natural del Típica | México | Alto | Promedio | Susceptible | Alto | Muy buena | Año 4 |
| **Blue Mountain** | Grupo Borbón Típica Mutación natural típica | Jamaica | Alto | Grande | Susceptible | Bajo | Muy buena | Año 4 |
| **Mundo Novo** | Grupo Borbón-Típica | Brasil | Alta | Promedio | Resistente | Alta | Bueno | Año 3 |

**Tabla 1. de Variedades** *(Continuación).*

| Nombre | Grupo Genético | Origen | Porte | Tamaño del grano | Roya del cafeto | Rendimiento | Potencial de calidad mostrado en altura | Años para la primera cosecha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Garníca** | Grupo Borbón-Típica Mundo Novo x Caturra | México | Media bajo | Promedio | Susceptible | Alta | Bueno | Año 3 |
| **Catuai** | Grupo Borbón-Típica Mundo Novo x Caturra | Brasil | Bajo | Promedio | Susceptible | Bueno | Bueno | Año 3 |
| **Catimor** | Introgresión (Catimor) Timor x Caturra | Portugal | Bajo | Grande | Resistente | Muy alta | Bueno | Año 2 |
| **Oro Azteca** | Introgresión (Catimor) Híbrido de Timor 832/1 x Caturra | México | Bajo | Promedio | Resistente | Alta | Buena | Año 3 |
| **Colombia** | Introgresión (Catimor) Híbrido de Timor 832/1 x Caturra | Colombia | Bajo | Grande | Resistente | Alto | Bueno | Año 3 |
| **Costa Rica 95** | Introgresión (Catimor) Híbrido de Timor 832/1 x Caturra | Costa Rica | Bajo | Promedio | Resistente | Bajo | Bajo | Año 3 |
| **Marsellesa** | Introgresión (Sarchimor) Timor Hybrid 832/2 x Villa Sarchí CIFC 971/10 | Nicaragua | Bajo | Promedio | Resistente | Alto | Bueno | Año 3 |
| **Iapar** | Introgresión (Sarchimor) Timor Hybrid 832/2 x Villa Sarchí | Brasil | Bajo | Promedio | Resistente | Alto | Bajo | Año 3 |
| **Obata** | Introgresión (Sarchimor) Timor Hybrid 832/2 x Villa Sarchí CIFC 971/10 | Brasil | Bajo | Grande | Resistente | Alto | Bueno | Año 3 |

**Tabla 1. de Variedades** *(Continuación).*

| Nombre | Grupo Genético | Origen | Porte | Tamaño del grano | Roya del cafeto | Rendimiento | Potencial de calidad mostrado en altura | Años para la primera cosecha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sarchimor T-5296** | Introgresión (Sarchimor) Selección de T5296 | Honduras | Bajo | Grande | Resistente | Bueno | Bueno | Año 3 |
| **Anacafe 14** | Introgresión (Catimor) (Timor Híbrido 832/1 x Caturra) x Pacamara | Guatemala | Bajo | Muy Grande | Resistente | Alto | Bueno | Año 2 |
| **Java** | Variedad local de Etíope | Etiopia | Alto | Grande | Tolerante | Medio | Muy Bueno | Año 3 |
| **Geisha** | Variedad local de Etíope | Etiopia | Alto | Promedio | Tolerante | Medio | Excepcional | Año 4 |

**Fuente:** Elaboración propia con información de Escamilla *et al.* (2015); Lopez et al. (2015); Medina *et al.* (2016); Ovando *et al.* (2017); World Coffee Research (2018).

**Tabla 2. Influencia del genotipo en la calidad**

| Características clave | Expresión | Efecto sobre la calidad y valor | Remedios |
|---|---|---|---|
| **Forma, tamaño y uniformidad del grano** | Grande | + | |
| | Pequeño | - | Cambiar el material de siembra |
| | No homogéneo | - | Cambiar el material de siembra |
| | Granos vanos | - | Cambiar el material de siembra |
| | Normales | - | Cambiar el material de siembra |
| **Color de los granos** | Gris azulado | + | |
| | Marrón claro | - | Cambiar el material de siembra |
| **Composición química** | Cafeína alta | - | Cambiar el material de siembra |
| | Cafeína baja | + | |

**Tabla 2. Influencia del genotipo en la calidad** *(Continuación).*

| Características clave | Expresión | Efecto sobre la calidad y valor | Remedios |
|---|---|---|---|
| **Sabor** | Buen sabor | + | |
| | Sabor pobre | - | Cambiar el material de siembra |

**Fuente:** Wintgens (2009).

> Cada genotipo deber ser evaluado antes de ser recomendado para una región o sistema de cultivo.

## 2.2. Factores ambientales

La idoneidad del clima para el cultivo del café depende de la latitud y la altura sobre el nivel del mar. Cada 100 m de altitud corresponde a una disminución de temperatura de 0,6°C. La humedad relativa del aire y las precipitaciones influyen en el crecimiento de los cafetos y el desarrollo de plagas. El granizo y las heladas pueden dañar las plantas y las cerezas y afectar la calidad final del café verde (Wintgens, 2009).

Los períodos de sequía prolongada, enfermedades y ataques de insectos (como el minador de hojas y los ácaros) también pueden resultar en granos de menor calidad (Wintgens, 2009).

**Tabla 3. Influencia de los factores ambientales**

| Características clave | Expresión | Efecto sobre la calidad y valor | Remedios |
|---|---|---|---|
| **Altitud**<br>• **Alto**<br>• **Bajo** | | | |
| | Granos densos | + | |
| | Granos de mala calidad | - | Sombra, cambiar de área |
| **Calor y sequedad** | Marchitamiento, muerte regresiva | - | Riego, sombra |
| **Granizo y heladas** | Fruta dañada | - | Cambiar de área |
| **Parásitos** | Daño físico | - | Prevención, control |
| **Suelo**<br>• **Anegado**<br>• **Baja fertilidad** | | | Drenaje, cambio de área |
| | Granos de mala calidad | - | Drenaje, cambio de área |
| | Granos de mala calidad | - | Fertilización |

**Fuente:** Wintgens (2009).

## 2.3. Prácticas de cultivo

Las prácticas de cultivo son factores que se pueden controlar, co-dependen de las decisiones del productor y muchas veces se relacionan con el mercado y con las tecnologías disponibles, los programas de fertilización, riego, el manejo adecuado del cultivo, tipo de sombra, uso de hormonas, manejo de plagas y enfermedades, estrés fisiológico y cosecha.

**Tabla 4. Influencia de las prácticas de cultivo**

| Características clave | Expresión | Efecto sobre la calidad y valor | Remedios |
|---|---|---|---|
| **Fertilización** | | | |
| **Adecuado** | Granos saludables | + | |
| **Excesivo N** | Baja densidad de granos | - | Ajustar las tasas de nutrientes |
| **Exceso de Ca + K** | Sabor duro y amargo | - | Ajustar las tasas de nutrientes |
| **Deficiencia de hierro** | Granos ámbar y poca densidad | - | Ajustar las tasas de nutrientes |
| **Deficiencia de magnesio** | Granos marrones | - | Ajustar las tasas de nutrientes |
| **Riego** | Granos saludables | + | |
| **Manejo adecuado del cultivo: Poda, deshierbe, etc.** | Granos saludables | + | |
| **Balance de Sombra** | Granos saludables y grandes | + | |
| **Hormonas de maduración** | | | Adecuada planificación de aplicación de hormonas |
| **En frutos subdesarrollados** | Granos inmaduros | - | |
| **En frutos desarrollados** | No afecta la calidad | 0 | |
| **Plagas y enfermedades** | Daño a la fruta | - | Control de plagas y enfermedades |
| **Estrés fisiológico** | Damage to fruit | - | Evaluar y corregir |
| **Cosecha** | | | Clasificación correcta de las cerezas |
| **Cerezas verdes** | Sabor amargo, astringente | - | Cosecha apropiada |
| **Cerezas demasiado maduras** | Sabor afrutado | - | Identificación |

**Fuente:** Wintgens (2009).



3

# Factores poscosecha



## 3.1 ¿Qué es la poscosecha?

Manejo poscosecha es el conjunto de prácticas post-producción que incluyen limpieza, lavado, selección, clasificación, desinfección, secado, empaque y almacenamiento, que se aplican para eliminar elementos no deseados, mejorar la presentación del producto. Y cumplir con normas de calidad establecidas, tanto para productos frescos, como para procesados (IICA, 2006).

El manejo poscosecha, se refiere al manejo adecuado para la conservación de diversos productos agrícolas, con el fin de determinar la calidad, su posterior comercialización y consumo.

## 3.2. Los objetivos de la poscosecha son los siguientes:

- Producir siempre alimentos seguros
- Proporcionar la evidencia de una producción y manipulación seguras
- Mantener la integridad física y calidad de los productos
- Preservar los productos por tiempos prolongados para evitar que se dañe su calidad nutritiva y su valor comercial.

## 3.3. Etapas de la poscosecha

1) Maduración de los frutos - Cosecha

2) Beneficio (tipos de procesamiento y fermentaciones)

3) Secado

4) Almacenamiento

Notas:

4

# Maduración de los frutos



Los frutos suelen adquirir sus propiedades características al momento de madurar. La madurez de los frutos suele definirse como un proceso irreversible, en el que ocurren cambios físicos, fisiológicos y bioquímicos, bajo el control genético y hormonal, que proporciona las características organolépticas deseadas (Alba *et al.,* 2005).

Según Gallo (1993) existen tres conceptos de madurez que se manejan frecuentemente:

**Madurez fisiológica:** Cuando la fruta se encuentra fisiológicamente en su máximo estado de crecimiento y desarrollo, y todas sus partes especialmente la semilla, están formadas, maduras y aptas para su reproducción.

**Madurez de cosecha o comercial:** Es aquella etapa fisiológica en el desarrollo de la fruta en la cual se desprende del árbol y puede llegar a desarrollar su madurez de consumo.

**Madurez de consumo:** Es aquel momento del desarrollo fisiológico del fruto cuando todas las características sensoriales propias de éste, como el sabor, el color, el aroma, la textura y la consistencia, son completas y armónicas.

La madurez de un fruto perecedero tiene una marcada influencia sobre la calidad y vida útil en almacenamiento y afecta el manejo poscosecha, el transporte y el mercadeo; además, conociendo las mediciones de madurez, es un punto central de la tecnología de poscosecha (Reid, 2002).

La fisiología de la madurez de los frutos al separarse de la planta pueden o no continuar madurando. Dicho mecanismo metabólico de madurez permite clasificar a los productos en frutos climatéricos y no climatéricos.

El desarrollo del fruto ocurre en tres etapas: crecimiento, desarrollo y maduración, seguidas por el ablandamiento y la W (Alba *et al.,* 2005).

## Definiciones

**Frutos climatéricos:** Se denominan así a los frutos que pueden madurar después de ser cosechados, una vez alcanzada su madurez fisiológica. Este tipo de frutos incrementan marcadamente su tasa respiratoria y de producción de etileno mientras maduran hasta un punto máximo que después decae.

**Frutos no climatéricos:** Son frutos que necesariamente deben alcanzar su madurez de consumo en la planta antes de cosecharlos. Estos frutos una vez recolectados no sufren ningún cambio que contribuya a su madurez.

**Etileno:** Es la fitohormona responsable de los procesos de estrés en las plantas, así como la maduración de los frutos, además de la senescencia de hojas y flores y de la abscisión del fruto (Alba *et al.,* 2005).

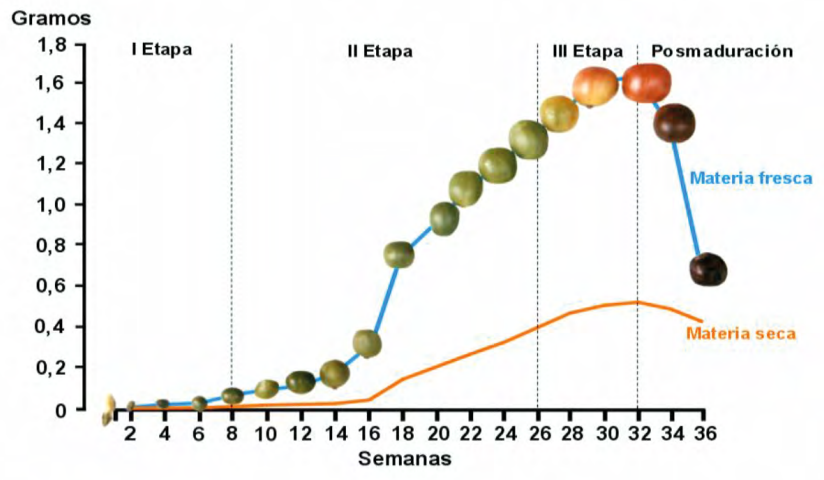



**Figura 2. Etapas de maduración de los frutos del café**
**Fuente:** Salazar *et al.,* 1993.

El cambio color es la característica más notoria en muchas frutas durante su maduración, y por ello se utiliza como criterio para definir la madurez de una fruta (Wills *et al.,* 1998; Reid, 2002). La transformación más importante es la degradación del color verde, la cual está asociada con la síntesis o desenmascaramiento de pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo (carotenoides) y el rojo-morado (antocianinas) (Kays, 2004).

## 4.1. Cosecha



**Figura 3. Cosecha selectiva**



**Figura 4. Estados de desarrollo y color medio de los frutos de café**

**Cosecha selectiva:** La cosecha selectiva consiste en recoger solo frutos maduros, uno por uno sin desprender el peciolo de las ramas.

La cosecha de los frutos en un estado de madurez adecuado permite iniciar su proceso poscosecha de la mejor manera y calidad posible.

- Cosechar frutos en un estado temprano o antes de tiempo ocasiona que estos no cuenten con el sabor apropiado e incluso no maduren adecuadamente.
- Por el contrario, si se cosechan los frutos muy tarde, se tendrán productos fibrosos o sobre maduros, con una vida de anaquel corta.
- Es vital que las personas encargadas de realizar la cosecha conozcan a detalle el momento adecuado para la recolección de los frutos.

Un buen índice de madurez es práctico, rápido, de bajo costo, repetible en distintas condiciones, no destructivo y relacionado consistentemente con la calidad y vida postcosecha del producto.

**Tabla 5. Criterios y pruebas para la madurez**

| Criterios | Pruebas |
|---|---|
| **Físicos** | Firmeza, capa de abscisión, etc. |
| **Visuales** | Color, tamaño, forma, etc. |
| **Químicos** | Grados Brix, acidez titulable, porcentaje de azúcares o taninos, etc. |
| **Fisiológicos** | Producción de etileno, respiración |

**Fuente:** Adaptado de Torres *et al.,* 2013

Se describen los diferentes puntos de maduración del fruto y su comportamiento en taza:

**Tabla 6. Maduración del fruto y su comportamiento en taza**

| Maduración | Comportamiento en taza |
|---|---|
| **Fruto verde o inmaduro** | Poco aromático, bebida catalogada como astringente, amarga y áspera |
| **Fruto maduro** | Aroma fragante, penetrante, y bebida con mejor expresión de sus cualidades gustativas |
| **Fruto sobremadurado / seco** | Produce sabores avinagrados o fermentados. |

**Fuente:** Adaptado de IICA, 2006.

## 4.2. Recomendaciones para la cosecha

- Todos los materiales de cosecha, contenedores y otros, deben estar limpios.
- En todo momento se debe evitar la incorporación de tierra, barro, agua y otros contaminantes a los productos cosechados o a los materiales de cosecha.
- Se debe instruir al personal para separar y no utilizar materiales y contenedores sucios.
- Los frutos deben recolectarse en contenedores adecuados, los que deben estar en buenas condiciones y limpios. La manipulación de los frutos debe realizarse con cuidado.
- Al traspasar el producto cosechado a contenedores de mayor tamaño, se debe hacer con cuidado para no dañar los frutos. Estos envases también deben estar en buenas condiciones y limpios.
- El personal que trabaja en la recolección de los frutos debe estar capacitado en esta faena, especialmente en el manejo higiénico del producto.
- Los materiales como despulpadora y contenedores utilizados en la cosecha deben permanecer resguardados durante la noche o al término de cada jornada.
- El área donde se guarden o mantengan los materiales de cosecha y contenedores debe estar limpia.
- Se deben evitar en todo momento las contaminaciones cruzadas con materiales sucios, estiércol, abonos y otros.
- Nunca se debe permitir el ingreso de animales a los sectores de cultivo y de acopio de productos cosechados.
- Si se utilizarán productos fitosanitarios previamente, la cosecha debe realizarse una vez cumplido el periodo de carencia especificado en la etiqueta del producto utilizado.
- En la industria alimentaria, la seguridad de los productos es la máxima prioridad, y no es negociable, como las características organolépticas o el costo del producto.

(Adaptado de Barón *et al.,* 2000)

# Práctica # 1

https://youtu.be/KsUAz0X8mxk

## Refractómetro

**Instrucciones de uso refractómetro:** Los refractómetros BRIXCO® son instrumentos ópticos de precisión que miden el contenido de azúcar en grados °Brix. Algunos Instrumentos disponen de una compensación automática de temperatura a 20°C, requiriendo de una muestra muy pequeña de la sustancia a medir, 1-2 gotas. Su tamaño pequeño, compacto y ligero lo hacen adecuado para realizar mediciones *in situ*.

### Composición:

1. Tapa cubre prisma.
2. Prisma
3. Tornillo de graduación
4. Cobertura de goma
5. Graduación ocular
6. Visor u ocular

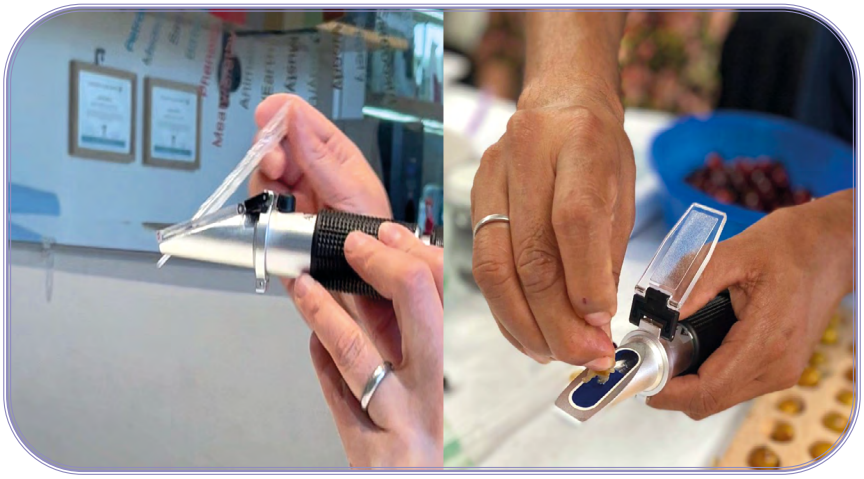


**Figura 5. Uso del refractometro**

### Manejo:

Limpiar y secar cuidadosamente la tapa y el prisma antes de comenzar la medición. Poner 1-2 gotas de la sustancia a medir sobre el prisma del refractómetro. Cerrar la tapa suavemente para que la muestra se reparta homogéneamente entre la tapa y el prisma. Puede utilizar un gotero y poner la sustancia a medir sobre el prisma evitando que se formen burbujas de aire, ya que esto distorsiona el resultado correcto de la medición. Sostener el refractómetro bajo una fuente de luz para ver la escala a través del ocular. El valor a leer es la línea límite claro/oscuro visualizada en la escala. Girar el ocular suavemente para ajustar y precisar la escala. Por último, limpiar y secar cuidadosamente el prisma y la tapa después de cada medición para evitar que queden restos que se sedimenten y pudieran afectar futuras mediciones.

**Para calibrar este instrumento necesitamos colocar en el prisma unas gotas de agua destilada, sabremos que esta calibrado cuando después de colocar las gotas de agua marque 0.**

# Práctica # 2

https://youtu.be/hKgkZZ8dKyI

## Uso del Cerezometro y del Refractometro

### ¿Qué es el cerezometro?

El CEREZOMETRO® es una herramienta que permite mejorar los procesos de cosecha y selección de lotes de cereza de café a través de una muestra aleatoria y representativa del lote cosechado. Así mismo, determina un lote objetivo a partir de un rango de maduración óptimo representado en la escala de madurez que se coloca en el caracterizador.

Este equipo como función secundaria, se puede usar como herramienta de control y pago de primas a los recolectores de manera objetiva, evaluando su recolección y estableciendo parámetros en la finca para pagos de primas por calidad.



**Figura 6. Cerezometro**

### ¿Cómo se usa el cerezometro?

El método se fundamenta en un análisis porcentual ya que está conformado por 100 orificios y cada orificio representa el 1%. Para un manejo estadístico más detallado se puede tomar tres medidas de dicho lote.

La meta de calidad es un porcentaje de cerezas mayor al 95% del rango objetivo siguiendo los siguientes pasos:

1. Formar una escala de maduración con 10 cerezas en el orificio alargado para establecer el rango de maduración del lote objetivo.
2. Mediante el refractómetro se determinara el punto óptimo de maduración de la curva.
3. Tomar una muestra aleatoria y representativa del lote de cerezas cosechadas.
4. Extender la muestra en el CEREZOMETRO® garantizando una cereza por orificio.
5. Realizar conteo de cerezas fuera del rango objetivo, por ejemplo: cerezas verdes, pintones verdes, secas o sobre maduros.
6. Si el lote objetivo es menor al 95% se deben realizar acciones correctivas como clasificación manual, flotación, selección por tamaño, uso de equipos de clasificación por color, entre otros.
7. Verificar que el lote objetivo está en el porcentaje óptimo luego de haber realizado las acciones correctivas.
8. Comenzar la etapa de beneficio.

**Instrucciones:** Formar una escala de maduración con 10 cerezas en el orificio alargado para establecer el rango de maduración del lote objetivo.

Mediante el refractómetro, mide las muestras de la escala de maduración de 10 cerezas, determina el punto óptimo de maduración de la curva.

**Tabla. Escala de maduración con 10 cerezas**

| Muestra | Grados Brix |
|---|---|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |

Realiza el conteo de cerezas fuera del rango objetivo, por ejemplo: cerezas verdes, pintones verdes, secas o sobre maduros.

**Tabla. Conteo de cerezas fuera del rango objetivo**

| Muestra | Conteo | % |
|---|---|---|
| Cerezas verdes | | |
| Pintones verdes | | |
| Secas | | |
| Sobre maduros | | |
| Estado Óptimo | | |



5

# Beneficio (Tipos de procesamiento)



Se define como la infraestructura básica que cada productor debe implementar en sus fincas, para transformar la fruta en café pergamino seco (12-13% de humedad), listo para la comercialización.

La siguiente figura ilustra los tres métodos diferentes comúnmente utilizados para eliminar estas capas. Estructura del fruto del café y representación esquemática de los métodos de procesamiento poscosecha correlacionados con los principales cambios bioquímicos que impactan en la constitución volátil del café.

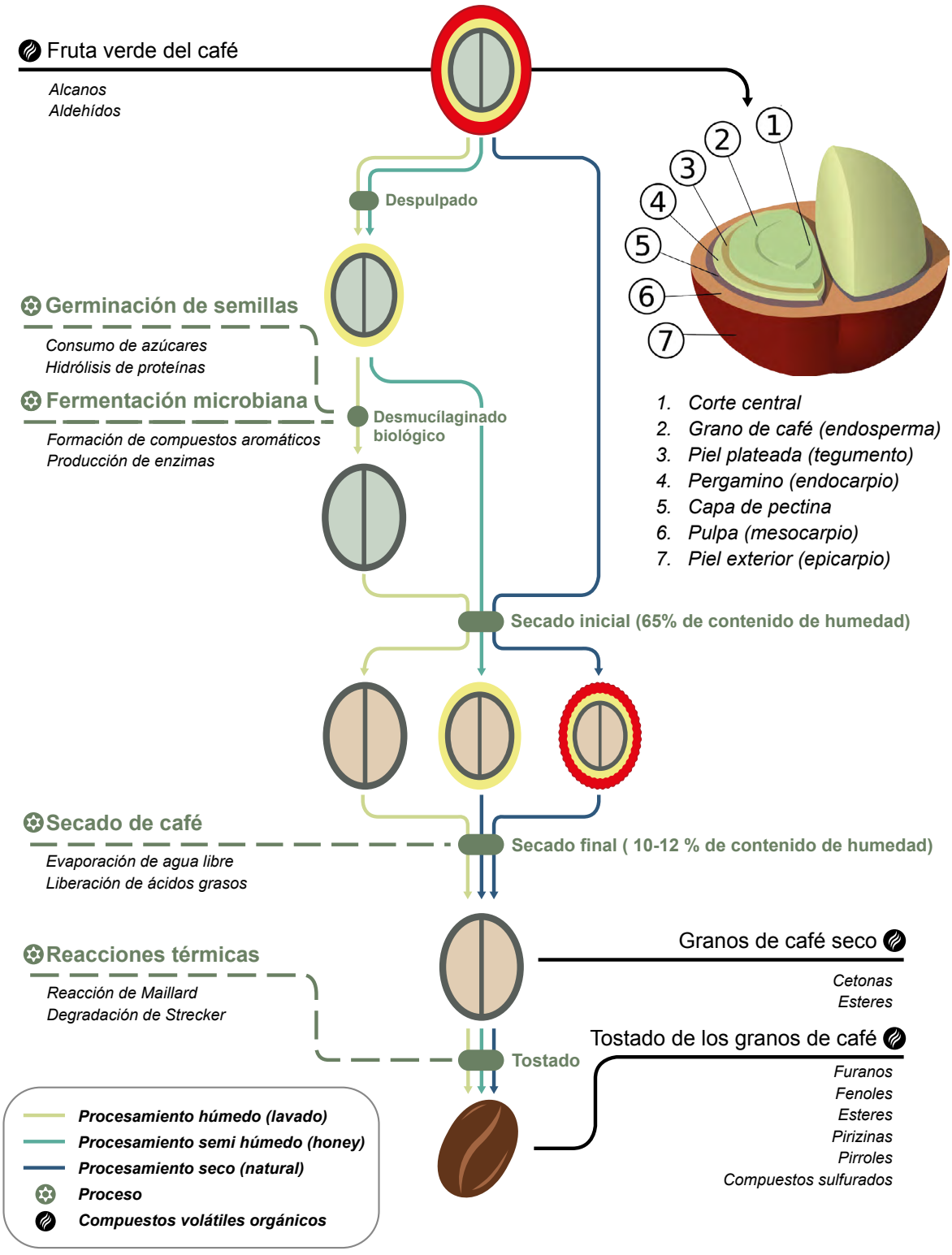



**Figura 7. Tipos de procesamiento del café**
**Fuente:** Adaptada de De Melo *et al.* (2019), de Bytof *et al.* (2005), Lee *et al.,* (2015), Selmar *et al.* (2006) y Pereira *et al.* (2017).

Hay tres formas en las que el café ha sido procesado tradicionalmente: lavado, natural y honey.

**Lavado:** El procesamiento húmedo, implica una serie de pasos relativamente complejos, que incluyen la eliminación mecánica de la piel y la pulpa del café, la degradación microbiana (fermentación) de la capa de mucílago y finalmente, la eliminación del agua mediante el secado al sol (Bee *et al.,* 2005).

**Honey o Enmielado:** El procesamiento semiseco presenta etapas de métodos tanto secos como húmedos, donde los frutos de café se despulpan mecánicamente y luego se someten a secado al sol (Pereira *et al.,* 2017; Bee *et al.,* 2005).

**Natural:** Un proceso natural, también conocido como seco, las semillas se exponen al sol o a secadores de aire hasta que el contenido de humedad sea de aproximadamente 10% a 12%. (Bee *et al.,* 2005; Illy, 2002).

Más alla de una receta, la decisión para el procesamiento del café debe basarse en las condiciones de la finca, el clima, maquinaria, la variedad, las condiciones de secado.

**Tabla 7. Evaluación de propiedades físicas y factores de conversión de café tabla resumida**

| Para convertir de | A | Multiplique por |
|---|---|---|
| **Cereza** | Pergamino | 0.22 |
| | Baba | 0.60 |
| | Almendra | 0.18 |
| | Seco de agua | 0.32 |
| | Húmedo | 0.41 |
| | Pulpa fresca | 0.40 |
| | Pulpa mojada | 0.48 |
| **Pergamino** | Cereza | 4.50 |
| | Almendra | 0.80 |
| | Baba | 2.71 |
| | Húmedo | 1.85 |
| | Seco de agua | 1.46 |
| | Pulpa fresca | 1.77 |
| | Pulpa mojada | 2.13 |
| **Baba** | Pergamino | 0.37 |
| | Almendra | 0.29 |
| | Cereza | 1.67 |
| | Húmedo | 0.95 |
| | Seco de agua | 0.54 |
| **Almendra** | Pergamino | 1.25 |
| | Baba | 3.39 |
| | Cereza | 5.56 |
| | Húmedo | 2.31 |
| | Seco de agua | 1.82 |

**Tabla 7. Evaluación de propiedades físicas y factores de conversión de café tabla resumida** *(Continuación).*

| Para convertir de | A | Multiplique por |
|---|---|---|
| **Húmedo*** | Seco de agua | 0.79 |
| | Pergamino | 0.54 |
| | Cereza | 2.43 |
| | Baba | 1.46 |
| | Almendra | 0.43 |
| **Seco de agua** | Pergamino | 0.68 |
| | Cereza | 3.09 |
| | Húmedo | 1.26 |
| | Baba | 1.84 |
| | Almendra | 0.54 |
| **Pulpa fresca** | Cereza | 2.40 |
| | Pergamino | 0.56 |
| | Mojado | 1.20 |
| **Pulpa mojada** | Cereza | 2.08 |
| | Pergamino | 0.47 |
| | Fresca | 0.83 |

**Fuente:** Muñoz *et al.* 2016.

# Definiciones

**Café cereza:** es el fruto maduro y pintón tal como se recomienda recolectar.

**El café pergamino seco:** es el café que está ya listo para la trilla y que tiene 11% de humedad aproximadamente.

**El café en baba:** es el que resulta inmediatamente después del despulpado.

**El café almendra:** es el que resulta después de trillar el pergamino seco.

**El café húmedo:** es el café inmediatamente después de lavado.

**El café seco de agua:** es el café pergamino al cual se le ha secado parte del agua y que contiene un 40% de humedad, aproximadamente.

**La pulpa fresca:** es la que resulta de un despulpado sin agua.

**La pulpa fresca mojada:** es la que resulta de un despulpado con agua y posterior arrastre con agua.

(Uribe,1997)

Estas relaciones de conversión pueden variar en función del método empleado, la calidad de cosecha, beneficio, suelo, clima, altitud, manejo agronómico, edad de la planta, cosecha, poscosecha, plagas y enfermedades. El desarrollo del fruto está influenciado por múltiples factores, principalmente por la disponibilidad hídrica, por lo que su deficiencia en las etapas iniciales del desarrollo del fruto afecta su crecimiento; por tanto, las diferencias que se encontraron en las épocas de cosecha pueden ser consecuencia de las condiciones en las que los frutos se desarrollaron desde el inicio de la floración.

## 5.1. Constantes físicas del café

1. Un metro cúbico de café cereza maduro pesa 600 kg.
2. Un metro cúbico de café en baba pesa 800 kg.
3. Un metro cúbico de pulpa fresca sin apisonar, pesa 420 kg.
4. Un metro cúbico de pulpa fresca sin mojar pesa 270 kg.
5. Un metro cúbico de café húmedo pesa 650 kg.
6. Un metro cúbico de café seco de agua pesa 520 kg.
7. Un metrocúbicode café seco, de trilla pesa 380 kg.
8. Un metro cúbico de café almendra pesa 680 kg.
9. Mil kilogramos de café cereza maduro dan 400 kg de pulpa y 600 kg de café en baba (222 kg de café pergamino seco).
10. 1000 kg de café pergamino, recién lavado, dan 790 kg de café pergamino "seco de agua".
11. Mil kilogramos de café pergamino húmedo, recién lavado, dan 540 kg de café pergamino "seco de trilla".
12. El café húmedo recién lavado tiene 52% de humedad.
13. El café "seco de agua" tiene 40% de humedad.
14. El café "seco de trilla" tiene 11% de humedad.
15. La pulpa mojada tiene un 84% de humedad.
16. La relación café cereza pergamino seco del 12% de humedad es de 4.5 a 1 (22.2% del café cereza).
17. La merma en la trilla del café pergamino es de 18%.
18. La pulpa constituye el 40% en peso del café cereza.
19. El ángulo de reposo del café pergamino está entre el 7 y el 90%.
20. El ángulo de reposo del café almendra está entre el 61 y el 72%.
21. Un grano de café pergamino seco pesa 0.22 g.
22. Una cereza de café pesa 2 g.
23. Una almendra de café pesa 0.18 g.
24. Una lata (medida utilizada en algunas regiones para pagar la recolección del café) de 25 x 25 x 73 cm, da 14 kg de café cereza maduro. Cuatro latas de éstas dan una arroba de café pergamino seco.
25. Un tanque de fermentación de un metro cúbico tiene una capacidad equivalente a 800 kg de café en baba, 24 arrobas de pergamino seco, 500 kg de pergamino seco, 96 latas de café cereza, 1.344 kg de café cereza.

(Uribe, 1997)

# Ejercicios

**Tengo 500 kg de café en cereza**

¿Cuántos kg de café pergamino obtendré?

¿Cuántos kg de café en Baba?

¿Cuántos en almendra?

Para obtener 100 kg de café en almendra ¿Cuantos kg en cereza necesito?

Necesito 200 kilos de café húmedo ¿Cuántos kg necesito de cereza?

¿Cuánto obtendré en almendra?

6

# Fermentación de café



La fermentación durante el procesamiento de café se ha convertido en una herramienta para mejorar la calidad del café y modificar el perfil sensorial. Se considera un proceso natural que ocurre con microorganismos como levaduras, bacterias y hongos filamentosos, los cuales metabolizan los compuestos orgánicos de los frutos y producen metabolitos esenciales del sabor del café (Evangelista *et al.,* 2015; Haile y Kang, 2019).

**Fermentación:** Es un proceso que se da siempre en condiciones anaerobias, su función es degradar compuestos orgánicos o moléculas complejas, por medio de microorganismos en otras más sencillas.

**Ejemplo:** Convertir azúcares en dióxido de carbono y etanol.

Aunque sea un proceso anaerobio, es un proceso que puede ocurrir en presencia ambiental de oxígeno. Existen organismos que no requieren condiciones externas anaerobias para realizar la fermentación en su interior.

## 6.1. Tipos de fermentaciones

Existen varias clasificaciones, entre ellas tenemos las siguientes:

### 6.1.3. Fermentaciones espontáneas

Se desarrolla de manera natural, es decir, en las que intervienen microorganismos nativos adaptados a un nicho biológico.

### 6.1.2. Fermentaciones controladas

Requiere un control preciso de todos los parámetros, el tipo y concentración de nutrientes, la temperatura, el contenido de oxígeno y el valor del pH.



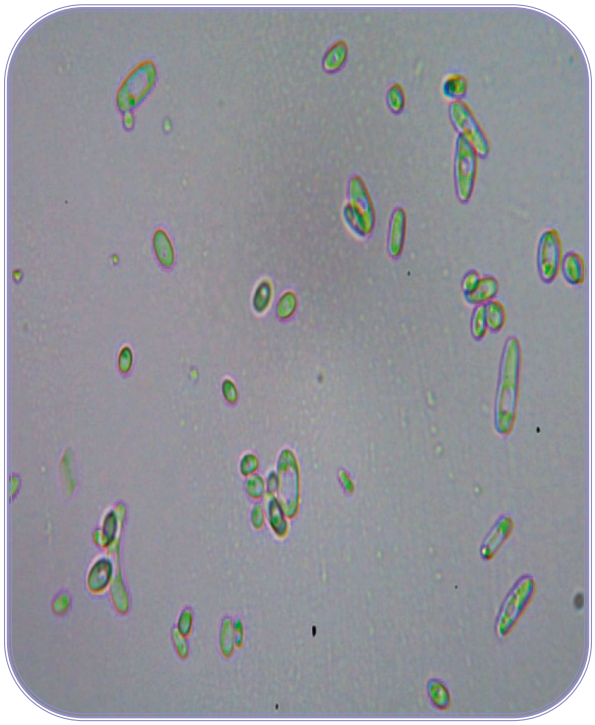


**Figura 8. Levaduras encontradas en la fermentación del café**

**Tabla 8. Tipos de fermentaciones** *(Continuación).*

| Tipo de fermentación | Microorganismos fermentadores | Sustratos | Productos |
|---|---|---|---|
| **Alcohólica o etanólica** | *Saccharomyces cerevisiae, S. ellipsoideus, S. anamensisi, S. carlsbengnesis, Candida seudotropicalis, Torulopsis spp., Mucor spp., Kluyveromyces fragilis, Sarcina ventriculi, Zymomonas mobilis* | Malta de cebada, cereales, arroz, maíz, trigo, jugo de la vid, caña de azúcar, melaza, sorgo, jugos de frutas, remolacha, suero de leche, soya | Etanol, vinos, cerveza, licores, bebidas destiladas, pan, salsas |
| **Láctica homofermentativa** | *Streptococcus thermophilus S. lactis, S. faecalis, Pediococcus cerevisiae y por la mayoría de los Lactobacillus como L. lactis, L. acidophilus, L. bulgaricus, L. casei.* | Leche, suero de leche, vegetales, sacarosa | Yogur, suero de leche, quesos, mantequilla, kumis, encurtidos |
| **Láctica heterofermentativa** | *Leuconostoc mesenteroides, Lactobacillus brevis y L. fermenti, Bifidobacterium bifidus.* | Leche, suero de leche, vegetales, sacarosa | |
| **Propiónica o propanoica** | *Propionibacterium freundenreichii, P. shermanii, P. pentosaceum, Micrococcus lactylicus, Clostridium propionicum, entre otras* | Productos lácteos, glucosa, sacarosa, lactosa, pentosas, ácido láctico, ácido málico, glicerina. | Ácido propiónico, ácido acético y otros ácidos |
| **Butírica o butanoica** | *Clostridium butyricum y Clostridium spp.* | Polisacáridos (almidón, glucógeno, pectina), glucosa, proteínas, aminoácidos, purinas, etanol, ácido úrico, xantina | Ácidos butírico, acético, fórmico, láctico, succínico, butanol y otros alcoholes y cetonas |
| **Fórmica o ácidomixta** | *Enterobacter spp., Escherichia coli, Aerobacter aerogens, Erwinia spp., Serratia marcescens, Proteus vulgaris, Salmonella thyphi, Shigella spp., y las bacterias luminosas* | Glucosa o lactosa | Ácidos, acético, láctico, málico, fórmico vinagre, glicerina y disolventes |
| **Metánica** | *Methanobacterium omelianskii, M. formicium y M. ruminantium, Methanosarcina methanica, M. barkeri, Methanococcus mazei y M. vannieli* | Alcoholes, ácidos, $CO_2$ | Gas metano |
| **Maloláctica** | *Leuconostoc oenos* | Ácido málico | Vinos blancos y rojos, cidra |

**Fuente:** Puerta, 2010.

## 6.2. Factores de la fermentación del café

Durante la fermentación natural del café ocurren diferentes procesos bioquímicos, en los cuales las enzimas producidas por las levaduras y bacterias presentes en el mismo mucílago fermentan y degradan azúcares, lípidos, proteínas y ácidos, y los convierten en alcoholes, ácidos, ésteres y cetonas. Estas sustancias formadas cambian las características de olor, color, pH y composición del sustrato (el mucílago) y también de los granos de café (Puerta, 2010 y 2012).

La velocidad y la clase de productos generados en la fermentación del café dependen de factores que afectan el metabolismo mismo de los microorganismos como la temperatura externa, el tipo de sistema de fermentación, el tiempo de proceso, la calidad del café, la acidez del sustrato, la disponibilidad de oxígeno y la higiene (Puerta, 2010).



**Figura 9. Cerezas del café en salmuera**

Notas:

## 6.3. Variables básicas para considerar en una fermentación

**Temperatura:** En la fermentación, los cambios químicos y físicos del mucílago, así como los cambios en sabor y aroma del café, dependen de la temperatura. Los principales microorganismos fermentadores en su mayoría son mesófilos crecen óptimamente entre 25 y 30°C, pero pueden reproducirse a 0°C.

**El pH:** En términos generales el pH hace referencia a el coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. Se mide el pH porque es un a variable que nos ayuda a certificar el proceso de acidificación, este ayuda a promover la descomposición de la pectina (el principal polímero de carbohidratos presente en el mucílago del café), lo que contribuye a la eliminación de la capa de mucílago de la fruta del café y al secado de los granos (Germane *et al.,* 2015; Kim *et al.,* 2016; Pereira *et al.,* 2017).




**Figura 10. Variables de control en el proceso de fermentación del café.**

**Grados Brix:** (símbolo °Bx) sirven para determinar el cociente total de materia seca (generalmente azúcares) disuelta en un líquido. Una solución de 25 °Bx contiene 25 g de sólido disuelto por 100 g de disolución total. Durante este proceso aproximadamente el 60% de los azúcares se utilizan como fuente de carbono para el crecimiento microbiano (Avallone *et al.,* 2001; Elhalis *et al.,* 2020). La reducción de azúcares durante la fermentación se acompaña de la acumulación de ácidos, como ácido láctico, ácido acético y ácido succínico, reportado en diferentes estudios (De Carvalho Neto *et al.,* 2017).

**Total Dissolved Solids (TDS):** en español, "Total de Sólidos Disueltos", los TDS indican la concentración total de los sólidos disueltos en el agua. En el café, los sólidos disueltos del mucílago contienen principalmente sacarosa, glucosa, fructosa, ácidos málico, láctico, acético, succínico, oxálico, fórmico, fosfórico, galacturónico, etanol y otros alcoholes, ésteres, polisacáridos, proteínas y cenizas (Puerta, 2012). Se miden los TDS debido a que es uno de los parámetros más relevantes en la digestión anaeróbica, por el movimiento, la facilidad de disolución, el transporte de nutrientes, que sirven para el crecimiento de bacterias y levaduras (Sadaka y Engler, 2003).

**Conductividad (CE):** La conductividad es la medida de la capacidad de una substancia acuosa para conducir una corriente eléctrica. El aumento del valor de conductividad eléctrica durante la fermentación se debe en gran medida, a la ruptura de las paredes celulares de los productos fermentados como lo indica Zambrano *et al.* (2011) desprendimiento rápido en el medio circundante de solutos tales como azúcares, ácidos orgánicos, iones, aminoácidos y proteínas.

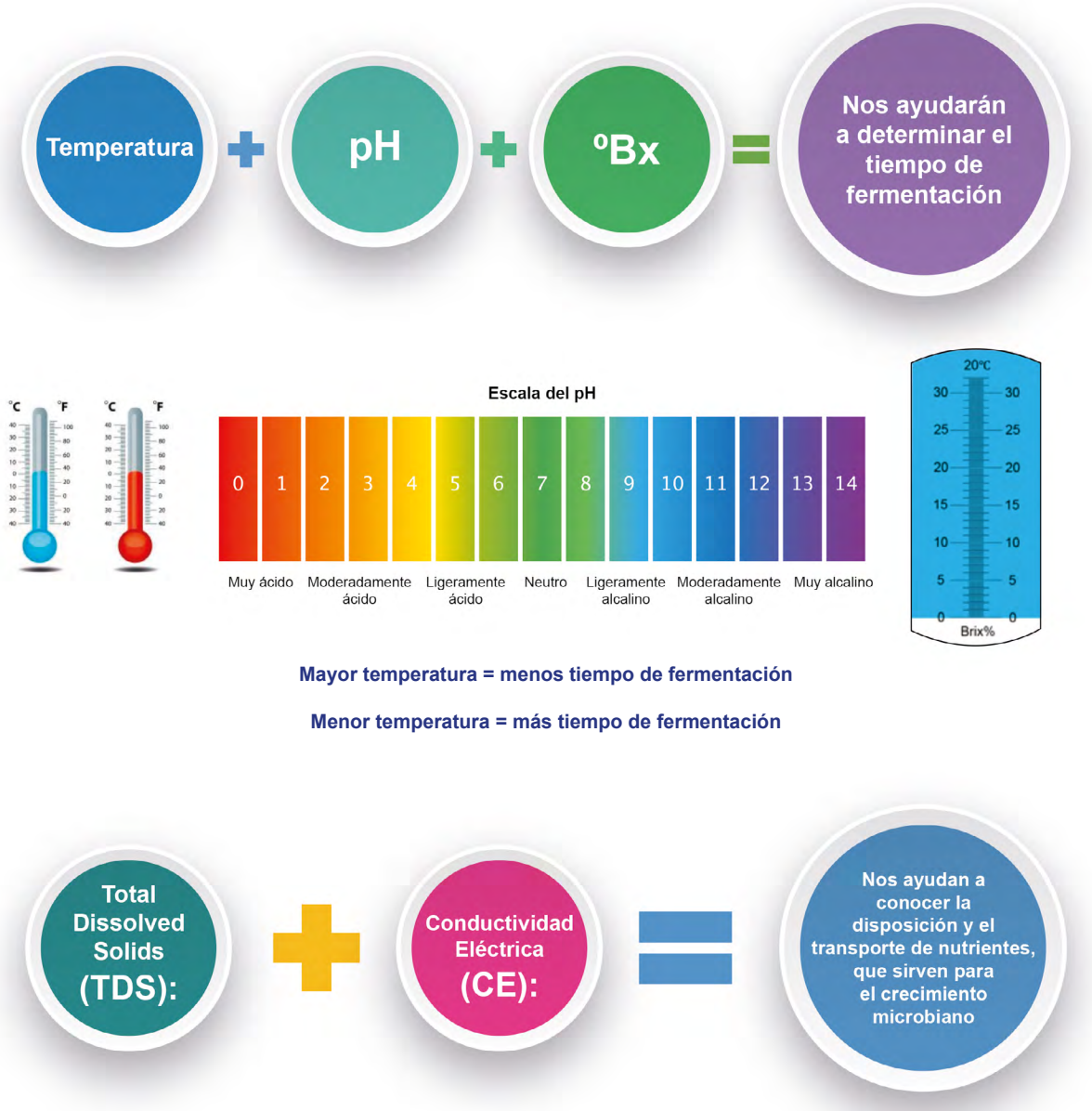



**Figura 11.** Interpretación de las variables en la fermentación del café
**Fuente:** Elavoración propia.

## 6.4. Interpretación de las variables en la fermentación del café

En los siguientes ejemplos se monitorearon el pH, los grados Brix, la Conductividad eléctrica (CE) y Los sólidos disueltos totales (TDS), se tomó una muestra del mosto del café cada 4 horas durante el proceso de fermentación, con la finalidad de saber cómo se comportan las diferentes variables. Esta fermentación se mantuvo una temperatura constante de 28°C, el proceso de fermentación se realizó en dos fases, en la primera se fermento el fruto completo del café (cereza), hasta que llego a 3.5 de pH a las 40 horas, posteriormente se despulpo el café para continuar con la segunda fase de fermentación hasta llegar a 3.5 de pH que fue a las 72 horas.

Ejemplo:

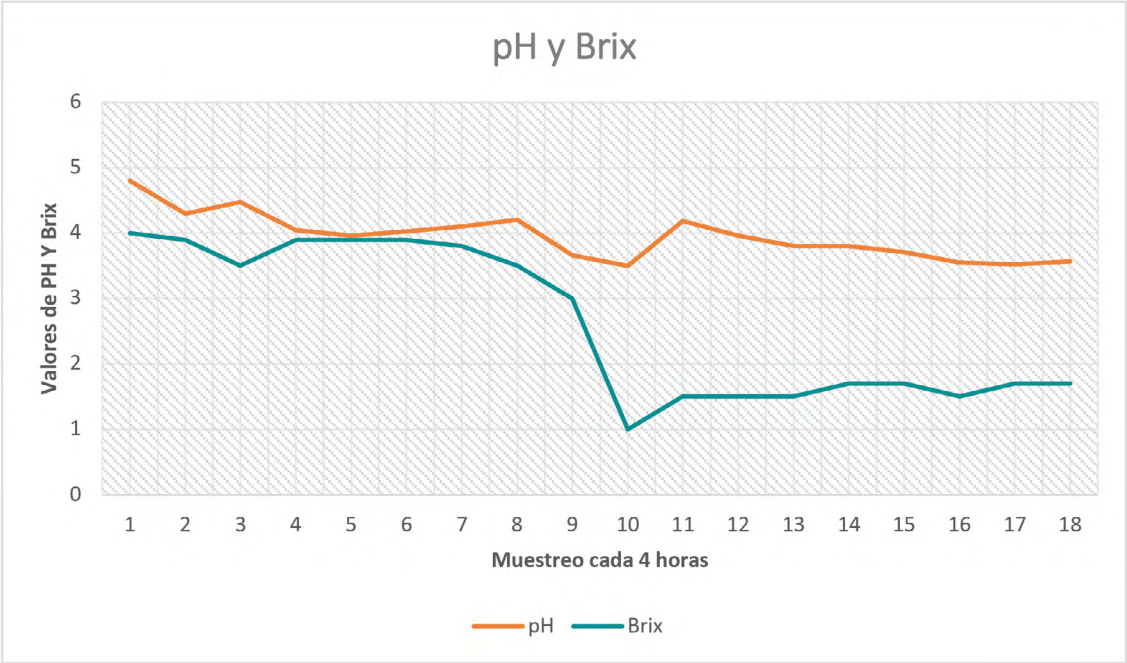



**Figura 12.** Medición del pH y grados Brix en el proceso de fermentación
**Fuente:** Elavoración propia

Nota:

Ejemplo:

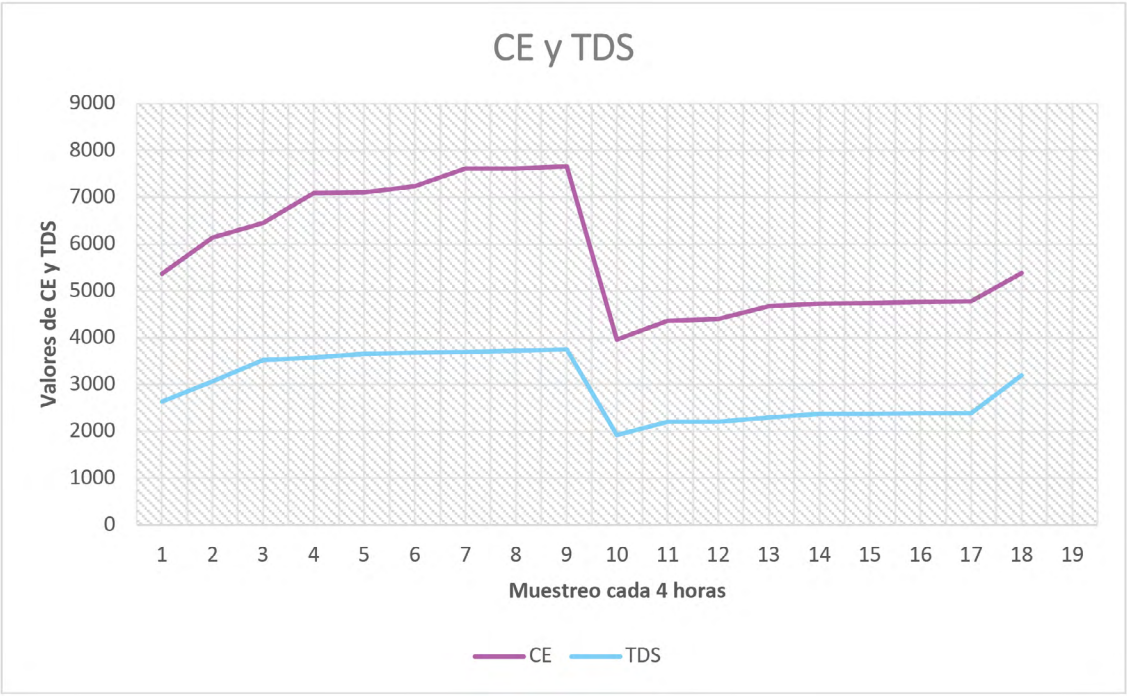



**Figura 13.** Medición del CE y TDS en el proceso de fermentación
**Fuente:** Elavoración propia.

# Práctica # 3

https://youtu.be/ff4YnOMmycg

## Calibración de medidores, pH metro (potenciómetro), conductímetro

**Instrucciones:** Para calibrar el medidor de pH, generalmente, necesitas más de una solución. La primera debe ser una solución de pH 7 (neutro) y la segunda debe tener un pH similar al de la muestra, ya sea 4 o 9.18. Una solución calibradora con un pH alto (9.18) es ideal para medir una muestra base, mientras que una solución calibradora con un pH bajo (4) es mejor para medir una muestra ácida.

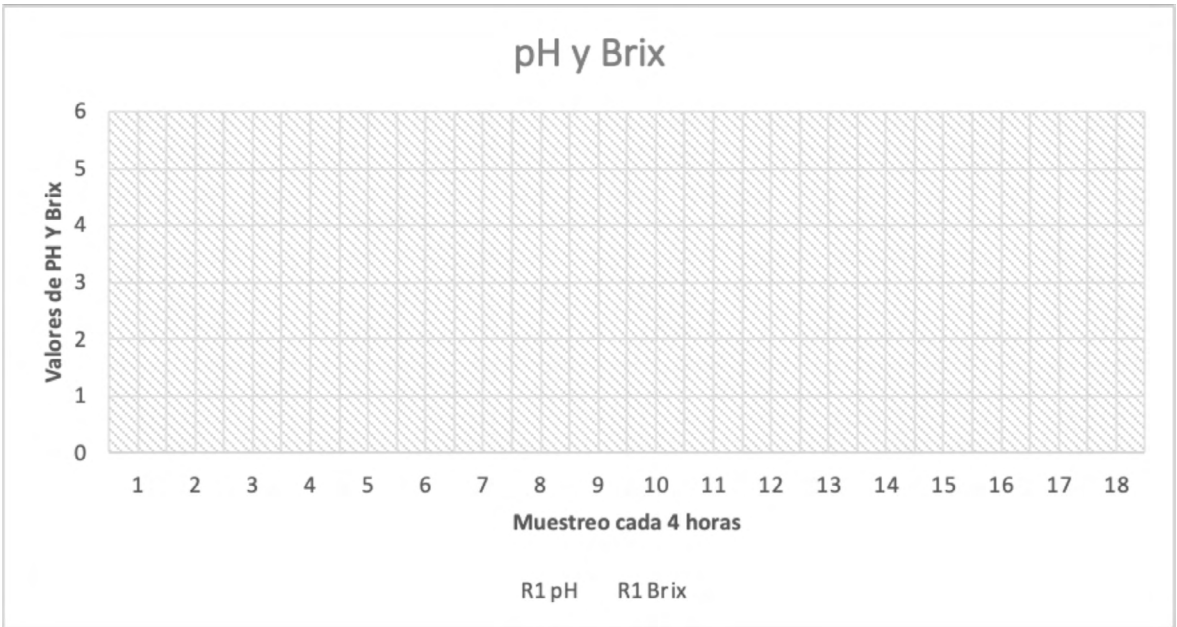
- Vierte las soluciones en vasos separados para empezar el proceso de calibración.
- Coloca el electrodo en la solución calibradora de pH 7 y empieza el proceso de medición. Una vez que esté sumergido en el líquido, presiona el botón de **calibración** durante 5 segundos para poder obtener una lectura del nivel de pH.
- Permite que la lectura del nivel de pH se estabilice y luego deja que repose de 1 a 2 minutos.
- Enjuaga el electrodo con agua destilada. Enjuágalo bien y sécalo con un paño sin pelusa, antes de sumergirlo en otra solución.
- Coloca el electrodo en la solución calibradora apropiada según tu muestra y empieza el proceso de medición. Una vez que esté sumergido en el líquido, presiona el botón de calibración durante 5 segundos para comenzar a calcular el nivel de pH.
- Enjuaga el electrodo. Puedes usar agua destilada para hacerlo. Asimismo, sécalo con un paño sin pelusas.




**Figura 14.** Soluciones para calibrar potenciómetro y medidor de TDS

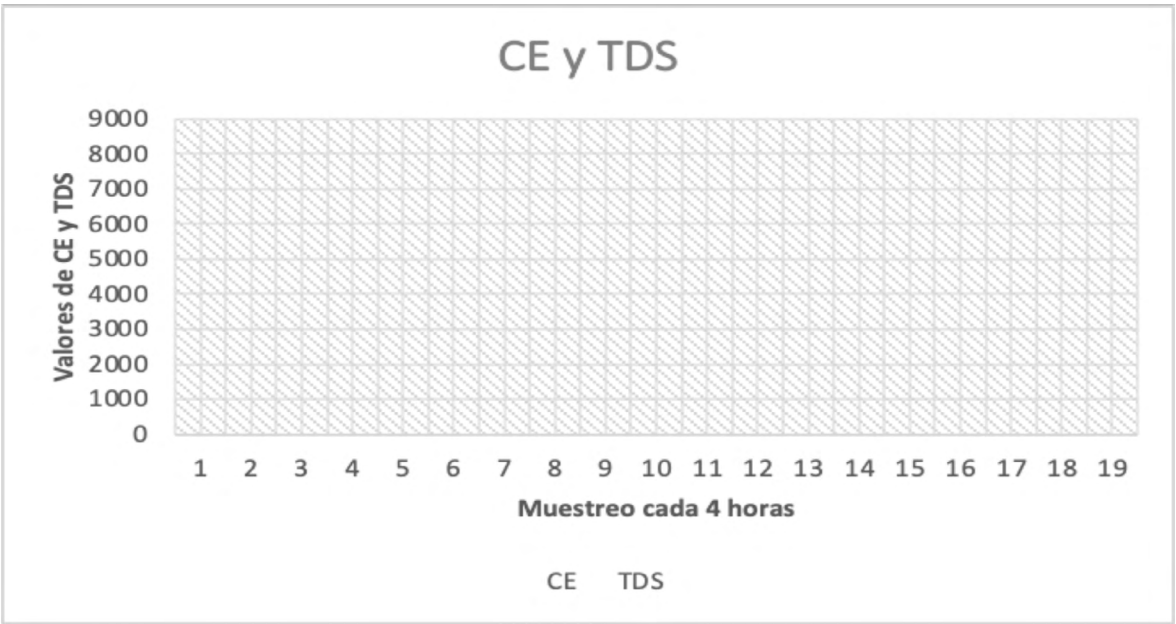
# Medición de grados Brix, pH, CE y TDS

**Instrucciones:** Con la ayuda de los medidores de pH, refractómetro y conductímetro medir los grados Brix, el pH, la conductividad y los TDS.




| Muestra | Brix | pH |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |

**Figura 15.** Gráficas de pH y Brix




| Muestra | CE | TDS |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |

**Figura 16.** Grafica de CE Y TDS

¿Qué tipo de Fermentaciones estamos haciendo en café?

_____

Menciona los proceso de fermentación en café que conozcas:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____

## 6.5. Maceración carbónica

Técnica usada para la elaboración de vinos donde uvas enteras son sumergidas en una atmósfera gaseosa rica en dióxido de carbono ($CO_2$). Para la maceración es necesario reducir el contenido de $O_2$ en los contenedores a niveles inferiores al 1%, y llenar los contenedores por completo. La temperatura es de suma importancia, las mejores condiciones para el desarrollo de la maceración son temperaturas comprendidas entre los 30-32 °C. En la maceración se produce un autoprensado, a medida que el peso y el paso del tiempo va degradando las bayas. Según Claude *et al.* (2009).

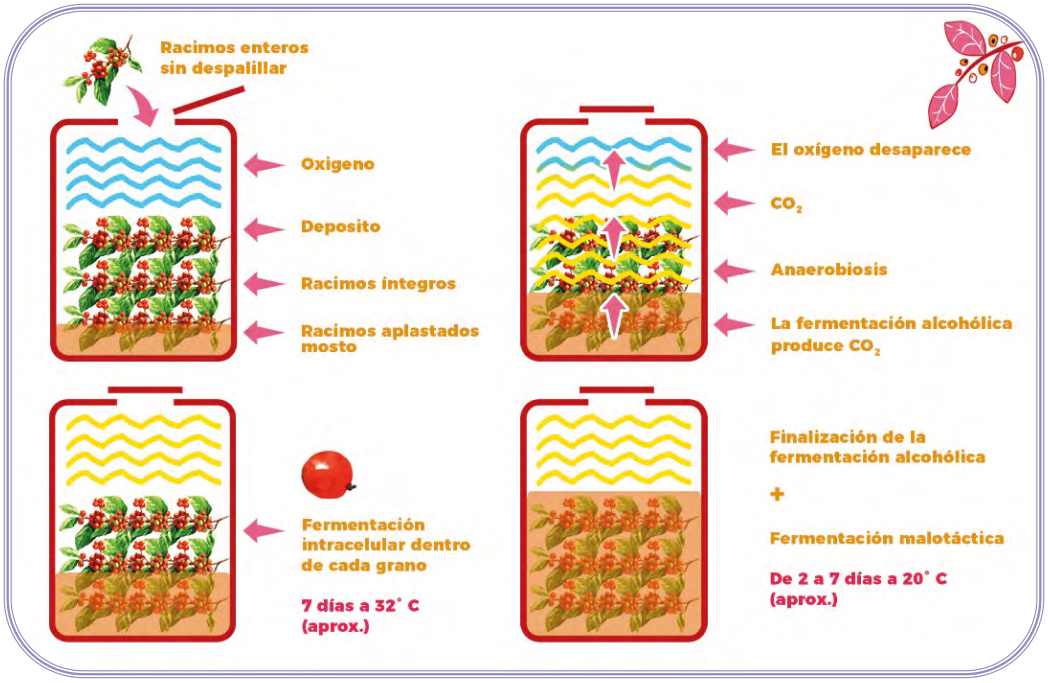



**Figura17.** Maceración carbónica en café
Imagen de Cafelier

### 6.5.1. Consideraciones para la maceración carbónica en café

El fruto del café y el de la uva son frutos diferentes: La uva es una fruta carnosa de forma redondeada que crece en racimos compuestos por muchos frutos. Es una baya, que contiene semillas duras y varía según la especie. La forma puede ser esférica, elíptica, ovoide, cilíndrica o arqueada. El color varía entre verde amarillento y el rojo negruzco.

El fruto de café, también llamado cereza, es una drupa pequeña, redonda y tiene un color rojo intenso cuando está maduro. Dentro de este fruto es donde se encuentran los granos o semillas de café.

Los productos aprovechables son distintos, en el caso del vino se procesa el mosto, y en el caso del café las semillas.

## 6.6. Fermentación Láctica

Las bacterias lácticas (BAL) se han relacionado con la fermentación de alimentos desde épocas muy antiguas, siendo la preservación de los mismos su objetivo principal. Las BAL tienen una enorme aplicación en la industria de los alimentos, siendo utilizadas en la producción de una amplia gama de ellos. Además, son un grupo grande y heterogéneo de microorganismos que poseen características morfológicas, metabólicas y fisiológicas en común, son cocos o bacilos Gram positivos, no esporulados y no móviles productos de origen animal y vegetal, confiriéndoles una gran importancia a nivel industrial.

Las BAL poseen un metabolismo estrictamente fermentativo, según la vía de degradación de carbohidratos, pueden clasificarse en homofermentantes obligadas, heterofermentantes obligadas y heterofermentantes facultativas (Vinderola, 2019).

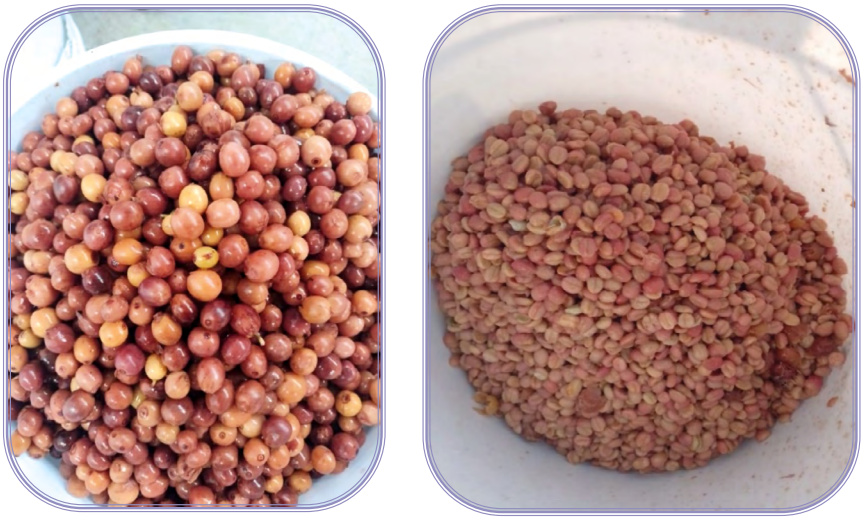


**Figura18.** Café fermentado en salmuera

Sus principales características son (Vinderola, 2019):

1. Son anaerobias facultativas, aerotolerantes o microaerofílicas.

2. Carecen de una cadena de transporte de electrones, por lo que poseen un metabolismo exclusivamente fermentativo, produciendo mayormente ácido láctico por la fermentación de carbohidratos.

3. Son nutricionalmente muy exigentes, requiriendo carbohidratos fermentables, sales, aminoácidos, vitaminas, bases nitrogenadas y ésteres de ácidos grasos.

4. Son bacterias ácido-tolerantes, por lo que pueden continuar su crecimiento a pH bajos a o menos de 5, lo cual posee un gran valor selectivo que les permite superar a la competencia en medios ricos en nutrientes.

5. Son microorganismos intrínsecamente seguros para el consumo humano, ya sea directamente y/o a través de sus metabolitos en los alimentos fermentados.

Los alimentos fermentados se definen como alimentos elaborados mediante el desarrollo microbiano deseado y las conversiones enzimáticas de los componentes de los alimentos (Marco *et al.,* 2021) siendo las BAL los microorganismos más utilizados en la producción de la enorme diversidad de bebidas y alimentos fermentados que existen en el mundo (Davidson *et al.,* 2011).

La microbiota epífita del café está sujeta a condiciones nutricionales, físicas y químicas, siendo cada tipo de planta un nicho único. Asimismo, aunque las BAL conforman una pequeña parte de la microbiota autóctona, cuando se proporcionan las condiciones adecuadas (anaerobiosis, actividad acuosa, concentración de sales y temperatura), puedes desarrollarse y dominar la fermentación láctica. Las BAL aisladas con mayor frecuencia de vegetales crudos y fermentados espontáneamente pertenecen al género *Leuconostoc, Lactobacillus, Weissella, Enterococcus y Pediococcus.* Una alternativa a la fermentación estrictamente espontánea es el *back slopping* (usar mostos de una fermentación anterior), una manera de inducir la fermentación por la inoculación de las cepas más adaptadas en una fermentación previa, acelerando el proceso y teniendose así un control mínimo sobre el mismo. Estas prácticas, sin embargo, pueden conducir a productos con propiedades sensoriales variables y son sensibles a la contaminación por microorganismos alterantes y/o patógenos, lo que representa un riesgo para la salud pública (Di Cagno, 2013). En todos los vegetales fermentados se utiliza sal durante la fermentación. La sal cumple diferentes funciones en el producto a fermentar. Por un lado extrae agua y nutrientes del vegetal precisoa para el crecimeinto y multiplicación de las bacterias ácido lácticas. Las verduras fermentan mejor con la protección de sal disuelta en el agua. La sal extrae el agua de los alimentos, quitándoles a las bacterias el medio acuoso que necesitan para vivir y crecer, a excepción de las cepas específicamente deseadas de lactobacilus resistentes a la sal.

### 6.6.1. Consideraciones para una fermentación con sal




**Figura 19.** Fermentación de la variedad Java en salmuera

1. Verificar la densidad de los frutos de café.
2. Tipo de sal para la fermentación, sal libre de yodo.
3. Considerar el pH inicial.
4. Los microorganismos presentes en la fermentación dependeran del manejo de los frutos, la salmuera, y el tipo de fermentadores.
5. Las bacterias acidolácticas comienzan a desarrollarse bajando el pH a niveles inferiores de 4.5.
6. Cuando la acidez alcanza un valor de pH inferior a 4 predominan de *lactobacillus* que consumen la materia fermentable.
7. Se consumen los sustratos fermentables y se genera el acido láctico y gran cantidad de compuestos volatiles responsables del aroma.
8. Ocurren las tranformaciones físico-químicas y organolepticas más importantes para el producto.
9. En el caso del café se recomienda terminar la fermentación en un pH entre 4 y 3.5.

### 6.6.2. Características de las salmueras de fermentación

En general, son soluciones que llevan una importante carga contaminante medida en términos de DBO5 (Demanda biológica de oxígeno a los cinco días), DQO (Demanda química de oxígeno) y sólidos orgánicos en disolución (Garrido, 1990).

La presencia de polifenoles con estructuras químicas muy estables y muchos de ellos con propiedades bactericidas dificulta la tratabilidad biológica de estos vertidos. También, la alta proporción de cloruro sódico es un inconveniente. Por ello, se requerirían grandes diluciones para adaptarlos a las condiciones exigidas para ser depurados en las plantas de tratamiento convencionales, por lo que las autoridades encargadas de los servicios de saneamiento han presentado siempre objeciones a que las salmueras puedan ser vertidas a los cauces públicos o redes de alcantarillado municipal.

**¿La seguridad de los productos es la máxima prioridad? ó ¿Las características organolépticas y el costo del producto?**

## 6.7. Fermentación de café con anaerobiosis autoinducida (Self-induced anaerobiosis coffee fermentation) SIAF

La fermentación de café con anaerobiosis autoinducida (SIAF, por sus siglas en inglés) es la tecnología para fermentar el café que consiste en la producción gradual de $CO_2$ impulsada por el metabolismo microbiano. La anaerobiosis se logra cuando la fermentación se lleva a cabo en contenedores cerrados debido a la actividad microbiana. Esta tecnología mejora el rendimiento fermentativo de las bacterias del ácido láctico y la levadura, aumentando la producción de metabolismos y la calidad sensorial de la bebida (Bressani *et al.,* 2021; Da Mota *et al.,* 2020; Martinez *et al.,* 2021).
El método SIAF contribuye al crecimiento de levaduras y bacterias (Martinez *et al.,* 2017). La interacción sinérgica entre LAB y levadura favorece su predominio durante el proceso fermentativo. Por lo tanto, el crecimiento de la levadura en los alimentos fermentados se ve favorecida por el ambiente acidificante creado por LAB (Da Mota *et al.,* 2022).

La implementación de biorreactores para la fermentación del café proporciona un ambiente anaeróbico favorable para la comunidad microbiana fermentativa (Bressani *et al.,* 2021; Da Mota *et al.,* 2020; Martinez *et al.,* 2021).



**Figura 20.** Modelo de Fermentador recomendado para SIAF
**Fuente:** da Mota *et al.,* 2022

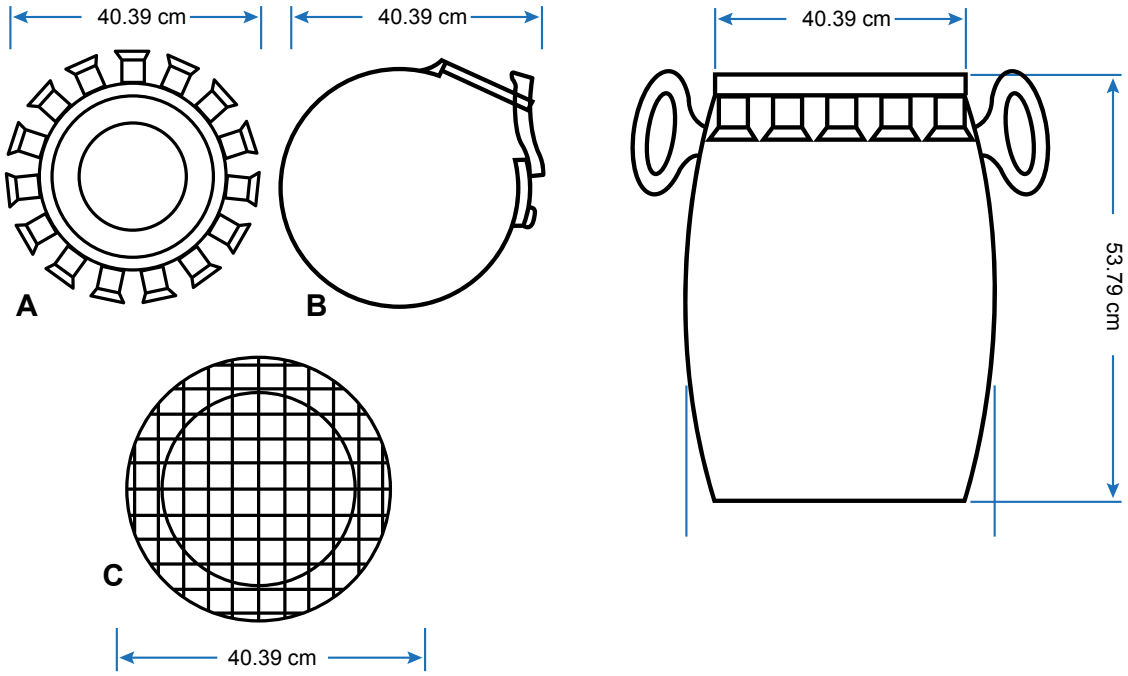



**Figura 21.** Modelo de Fermentador recomendado para SIAF
**Fuente:** da Mota *et al.,* 2022

Un biorreactor es una herramienta valiosa que controla, mejora, optimiza el proceso de fermentaciones, reduce el tiempo de fermentación, evita contaminación, y contribuye a la reproducibilidad (Figueroa-Hernández *et al.,* 2019).

El impacto positivo de los biorreactores se refleja en los atributos sensoriales percibidos, tales como dulzura, acidez y cuerpo, asociado principalmente a la calidad del café mejora (Da Mota *et al.,* 2022).

Sin embargo, su desempeño depende de muchos parámetros de diseño, incluyendo cultivo, altura, diámetro y condiciones de operación (Angst y Kraume, 2006; Varley y Birch, 1999).

### 6.7.1. Características de los fermentadores

1. Que el contenedor sea de grado alimenticio.
2. Que tenga un sistema para la toma de muestras.
3. Que sea sirva para varios procesos.
4. Que sea fácil de limpiar.



7

# ¿Cómo iniciar un experimento?



Para montar un experimento es importante tener una referencia (testigo o control) y se recomienda usar café del mismo lote, misma variedad, y procesar una cantidad que al final del secado se pueda catar.

Por ejemplo:

- Si queremos experimentar una fermentación con café lavado, la referencia será el café lavado tradicional que hacemos usualmente.
- Si es natural, el natural que usualmente procesamos.
- Este lo vamos a comparar con los cafés que fermentaremos.

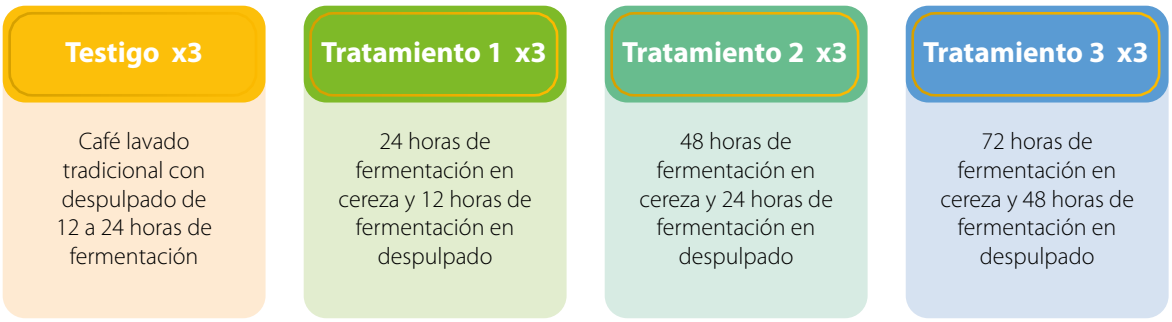



**Figura 22.** Diseño experimental
**Fuente:** Elaboración propia

**Nota:** Los tratamientos deben realizarse por triplicado y las repeticiones deben tener las mismas condiciones.
Al realizar un experimento, no se recomienda mover todas las variables.

Notas:

8

# Secado



Existen muchas formas para el secado de los granos de café, los métodos son diversos, pero el más utilizado es mediante la disposición de mantos directamente al suelo, otros en pisos de cemento a expensas del sol y el viento (Prada *et al.,* 2019). El secado del café es una fase crítica para la obtención de granos de calidad, pues en la transición entre el café húmedo y el café seco, es donde existen organismos hidrofílicos. El mecanismo de secado del café es más complicado que el de cualquier otro grano (Cruz *et al.,* 2010), ya que el café húmedo tiene alto riesgo de ser atacado por hongos y de ser contaminado con micotoxinas, causando que el grano pierda su calidad (Parra-Coronado *et al.,* 2008).

La eficiencia térmica del secador solar se determina evaluando el porcentaje de humedad presente en los granos (Monrudee *et al.,* 2011; Tiwaria y Katiyara, 2013; Zakaria, 2013).

## 8.1. Secado al sol

Se realiza en patios de cemento, carros secadores (zarandas, camas africanas), marquesinas o secadores parabólicos.



**Figura 23.** Secado sobre malla



**Figura 24.** Patio de secado convencional



**Figura 25.** Secado en zarandas

- Luego de lavado, los granos de café presentan contenido de humedad promedio del 53%, condición que los hace muy vulnerables al ataque de microorganismos que pueden causar daños en su calidad física, organoléptica y en la inocuidad. Por tanto, su humedad debe reducirse hasta el rango establecido para su comercialización, en Colombia es de 10-12% (Oliveros-Tascón, 2011).

- En los secadores solares se recomienda una masa de café extienda de 3.5 cm de espesor.

- Revolver el café constantemente para que el secado sea homogéneo.

- No permitir el contacto del café con animales o productos químicos durante el secado.

La temperatura durante el secado del café es una de las variables críticas a controlar, ya que una disminución del potencial hídrico de las semillas de café durante el secado produce repuestas masivas de estrés, que se asocian con procesos de germinación, y conforme se va reduciendo el agua, en estrés de sequía en los tejidos del embrión y endospermo (Kramer *et al.,* 2010).

**La actividad de agua (Aw):** es un parámetro estrechamente ligado a la humedad del alimento que da información sobre la disponibilidad de agua que tiene un producto. Este parámetro, junto a la temperatura, el pH y el oxígeno, tiene mucha influencia en la estabilidad de los productos alimenticios.

La actividad de agua es la cantidad de agua libre que hay en un alimento o la cantidad de agua disponible para reaccionar químicamente con otras sustancias y provocar el crecimiento microbiano.

Sus valores van de 0 a 1.

La actividad del agua de un producto como el café siempre intentará alcanzar el equilibrio con el entorno ambiental. El agua migrará de regiones con alta actividad a regiones con baja actividad de agua, hasta alcanzar el equilibrio.
El aumento en la actividad del agua en el café da paso al crecimiento de microorganismos como: bacterias, hongos, levaduras. Manteniendo bajo los valores de la actividad de agua estos microorganismos no crecerán. El control de la actividad de agua es muy importante para estabilidad química del café. Para que un producto como el café no se reproduzcan microorganismos dañinos, la actividad del agua debe estar en el rango de 0.65 a 0.7.

Las ochratoxinas que se dan en granos como el café, son un grupo de hongos tóxicos químicamente relacionados con las micotoxinas que se producen por mohos del género *Aspergillus y Penicillium*. Las más tóxica que se encuentra naturalmente es la Ochratoxina A (OTA). Es importante prevenir el crecimiento del moho y producción de OTA, que puede crecer cuando la actividad del agua está arriba de 0.7.



**Figura 26.** Granos de café en verde

**En general, la actividad de agua máxima en el grano de café debe ser de 0.65 a 0.70, que equivale a una humedad de 12.5% (base húmeda), y es suficiente para proteger el café de daños por hongos.**

9

# Almacenamiento



Algunas consideraciones que debemos tener al respecto son:

1. Que la semilla de café es un organismo vivo con una actividad fisiológica constante dentro del grano.
2. Que la seguridad del producto o alimento puede desarrollar sustancias tóxicas que pueden ser dañinas a la salud humana (ocratoxinas).
3. Que la duración del almacenamiento tiene impacto en la calidad del cafélos almacenes deben ser destinados exclusivamente al almacenamiento del café y nunca utilizarse como bodegas.

Además, deben localizarse en lugares adecuados; estar bien orientados, ventilados y relativamente oscuros; en una zona fresca y seca.

El almacenamiento adecuado del café es clave para conservar su calidad. Si no se realiza correctamente puede ocasionar daños a todo lo bueno que se haya hecho en la precosecha y en la poscosecha. Si se almacena en condiciones apropiadas de humedad y temperatura éste se estabiliza con el ambiente y su deterioro es lento.

Bajo estas condiciones, se deben definir controles y registros de calidad durante esta etapa, que permitan la conservación de las características físicas y sensoriales del grano de café. Para lograr esto se presentan las siguientes recomendaciones:

- La humedad del grano oro, al momento de su almacenamiento, debe ser entre 10 y 12%.
- Las condiciones ambientales para el almacenamiento adecuado del café son: 65% de humedad relativa y una temperatura de 20 °C.
- Usar costales limpios, de preferencia de yute. También los sistemas herméticos son una excelente forma de almacenamiento.
- La bodega debe estar siempre limpia y destinada únicamente para almacenar café, con el fin de evitar contaminación del producto en resguardo.
- El café envasado debe estar sobre tarimas de madera para evitar su contacto directo con el piso, separado al menos 50 centímetros de las paredes.
- Procurar una adecuada ventilación entre estibas y evitar la iluminación dentro de la bodega, a menos que el equilibrio de las condiciones óptimas antes indicadas lo requieran.
- Se recomienda reposar el café por lo menos de tres a cuatro semanas para estabilizar la humedad y así conocer su potencial sensorial en taza.
- Los registros del control de calidad de todos sus lotes de café garantizarán el aseguramiento de la calidad de su café.




**Figura 27.** Almacenamiento y registro de lotes
**Fuente:** Red de técnicos de buenas prácticas agrícolas de PROMECAFE (2010).

10

# Catación


FECHA:
ORIGEN DEL CAFÉ:
VARIEDAD:
ELEVACIÓN:
FINCA:
PRODUCTOR:
PROCESO:
COMENTARIOS:
CARÁCTERISTICAS
PUNTUACIÓN
RECETA
MÉTODO:
MOLIENDA:
RATIO:
TIEMPO:
NOTAS / SABORES
A1

EXPLORADORES
CLUB DE CAFÉ

# ¿Porqué catamos?

- Forma más rápida y consistente de probar varios cafés a la vez
- Entender los sabores que dan el terruño, la variedad y el proceso
- Analizar el potencial de cada café para decidir su perfil de tueste
- Control de calidad de lotes de producción
- Escuchar la historia del grano previo a la intervención del barista

Guía para catar

EXPLORADORES
CLUB DE CAFÉ

## MATERIALES

-Una báscula
-Un molino para café
- Agua filtrada
- Tetera
- Tazas
- Cucharas
- Cronómetro
- Escupidera
- Formulario de cata
-Vasos para las cucharas
-Vasos para el sedimento del café
-Servilletas




**Figura 27.** Catación y materiales

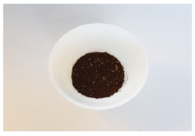
## CATACIÓN DE CAFÉ

EXPLORADORES
CLUB DE CAFÉ

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Pesar café en grano | Ratio de 1:18 (Ejem. 150ml de agua X 8.25g de café) |
| 2 | Moler café | Molienda debe ser media, sentirse como arena (850 micras) |
| 3 | Oler café en seco | Percibir FRAGANCIA |
| 4 | Vertir agua y esperar 4 min | Utilizar agua filtrada y caliente a 93° +/- 3°. Llenar tazas hasta el borde |
| 5 | Oler café con agua | Percibir AROMA |
| 6 | Romper costra | Usar una cuchara para romper la costra frormada en la superficie de la taza acercando la nariz para oler el aroma que se desprende. Ser consistente y hacer el mismo número de movimientos en cada taza (recomendados 3) |
| 7 | Limpiar taza | Usar dos cucharas para retirar todos los granos flotantes de la superficie. Asegurarse de limpiar la cuchara en agua caliente entre cada taza. |
| 8 | Probar café caliente | Concentrarse en SABOR Y POSTGUSTO |
| 9 | Probar café tibio | Concentrarse en DULZURA y ACIDEZ |
| 10 | Probar café frío | Concentrarse en BALANCE y CUERPO |



PESAR


FRAGANCIA


AGUA (4 MIN.)


AROMA


CORTAR


LIMPIAR

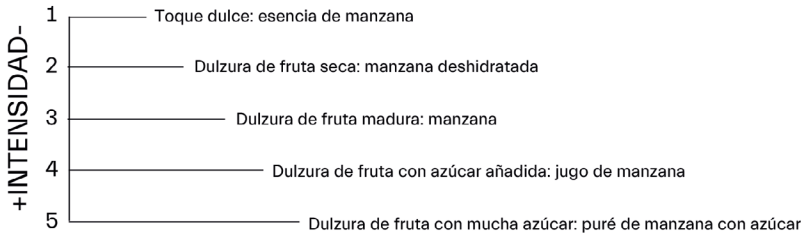

PROBAR


¡NO OLVIDAR LIMPIAR CUCHARAS!

EXPLORADORES
CLUB DE CAFÉ

## DULZURA

La dulzura es un sabor o sensación presente o ausente en el café que se percibe agradable al paladar. Se usa por catadores para describir la intensidad de las cualidades azucaradas del café cuando se agita alrededor de la boca.




## CUERPO

El término "cuerpo" describe las propiedades físicas y las sensasiones táctiles que percibe la boca, como la sensación de pezadez cuando el café se asienta en la lengua. Es una sensación táctil de viscosidad y cremosidad en la boca creada por la mezcla de aceites y azucares.

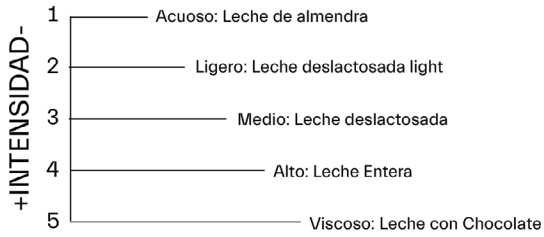
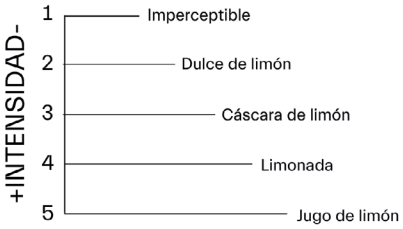



**Figura 28.** Metodología y descripción dulzura y cuerpo

EXPLORADORES
CLUB DE CAFÉ

# ACIDEZ

La acidez es una de las cualidades más valoradas en una taza de café de especialidad. Otorga brillantez a la bebida y cuando se combina con una buena dulzura se producen notas frutales, florales y un café jugoso. De la siguiente forma es como nosotros representamos la acidez.




| ANCHA | PUNTIAGUDA | COMPLEJA |
|---|---|---|
| La acidez ancha envuelve a toda la boca de manera sutil. Es suave, sin pico, difuminandose lentamente. Ejemplo: manzana roja, ciruela dulce | La acidez puntiaguda tiene un pico pronunciado, se siente de manera directa e instantánea y se difumina rápidamente. Ejemplo: limón | La acidez compleja cuenta con varios picos pronunciados, subiendo y bajando en la boca. Es una acidez que no se va rapidamente y genera distintas sensaciones en el paladar. Ejemplo: kiwi, frambuesa |







EXPLORADORES
CLUB DE CAFÉ

# POST GUSTO

Sensación que permanece en la boca después de probar el café. Sabor residual, recuerdo o huella que deja. Se puede considerar la calidad, la intensidad y la duración.

| | | |
|---|---|---|
| CORTO<br>MEDIO<br>LARGO | POSITIVO<br>NEGATIVO | ASTRINGENTE<br>SECO<br>CREMOSO<br>COMPLEJO<br>DULCE |

# BALANCE/GENERAL

Como se siente en la boca la integración de la acidez, dulzura, cuerpo y sabor. Armonía de los atributos y como evolucionan en el tiempo.

Ejemplos:
Sobresale una nota (positiva o negativa)
Café es consistente
Evoluciona al enfriarse
No se mantiene al enfriarse
Café es dinámico
Café tiene carácter

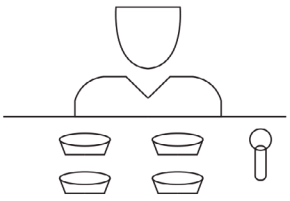


**Figura 29.** Explicación de acidez, posgusto y balance

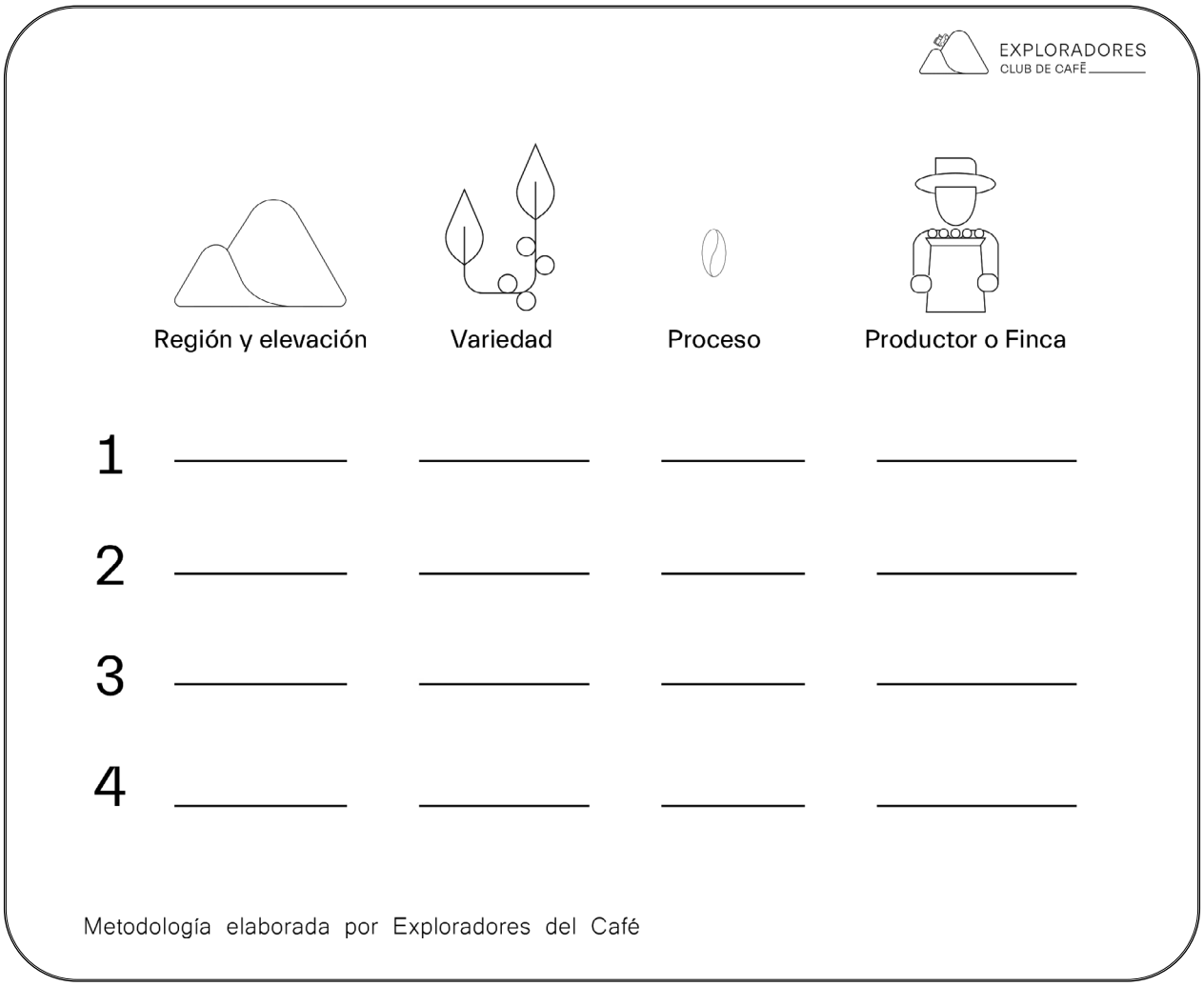



**Figura 30.** Descripción del café

# Bibliografía


1. Alba, R., Payton, P., Fei, Z., McQuinn, R., Debbie, P., Martin, G. B., Tanksley, S. D., & Giovannoni, J. J. (2005). Transcriptome and selected metabolite analyses reveal multiple points of ethylene control during tomato fruit development. *The Plant cell, 17*(11), 2954–2965. https://doi.org/10.1105/tpc.105.036053

2. Angst, R., & Kraume, M. (2006). Experimental investigations of stirred solid/liquid systems in three different scales: Particle distribution and power consumption. Chemical Engineering Science, 61, 2864–2870. https://doi.org/10.1016/j. ces.2005.11.046

3. Arévalo, R. A., Bertoncini, E. I., Guirado, N., & Chaila, S. (2006). Los términos cultivar o variedad de caña de azúcar (Saccharum spp.). *Revista Chapingo Serie Horticultura, 12* (1),5-9. [fecha de Consulta 11 de mayo de 2023]. ISSN: 1027-152X. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60912102

4. Avallone, S., Guyot, B., Brillouet, J.-M., Olguin, E., & Guiraud, J.-P. (2001). Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. Curr. Microbiol. 42:252–256. doi:10.1007/ s002840110213

5. Barón, C., Barés, C. & Maradei, F. (2000). Manejo poscosecha del tomate. En: Inspección de frutas y hortalizas. Buenos Aires, Argentina. 13 pp.

6. Bee, S., Brando, C. H. J., Brumen, G., Carvalhes, N., Kölling-Speer, I., Speer, K., ... Vitzthum, O. G. (2005). The raw bean. In A. Illy, & R. Viani (Eds.). Espresso coffee: The science of quality (pp. 87–178). London, UK: Elsevier Academic Press.

7. Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Batista, N. N., Simão, J. B. P., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2021). Co-inoculation of yeasts starters: A strategy to improve quality of low altitude Arabica coffee. *Food chemistry, 361,* 130133. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.13013

8. Bytof, G., Knopp, S.-E., Schieberle, P., Teutsch, I., & Selmar, D. (2005). Influence of processing on the generation of γ-aminobutyric acid in green coffee beans. European Food Research and Technology, 220, 245–250.

9. Claude F. Alain S., Jean-Louis E. (2009). Els principis de la maceracion carbonica. *ACE. Associació Catalana d'Enòlegs,* , 26 (87), pp.4-8. (hal-02661339)

10. Cruz, D., López de León, E., Pascual, L. F. & Battaglia, M. (2010). Guía técnica de construcción y funcionamiento de secadoras solares tipo domo. *Journal of Agriculture and Environment for International Development,* 104(3-4), 125-138.

11. Da Mota, M. C. B., Batista, N. N., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2022). Impact of microbial self-induced anaerobiosis fermentation (SIAF) on coffee quality. *Food Bioscience, 47,* 101640. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101640

12. Da Mota, M. C. B., Batista, N. N., Rabelo, M. H. S., Ribeiro, D. E., Borem, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. Food Res. Int. 136, 109482. https://doi.org/10.1016/j. foodres.2020.109482

13. Da Silva Vale, A., Balla, G., Rodrigues, L. R. S., de Carvalho Neto, D. P., Soccol, C.R., & de Melo Pereira, G. V. (2023). Comprender los efectos de la fermentación anaeróbica autoinducida en la calidad de los granos de café: estudios microbiológicos, metabólicos y sensoriales. *Foods, 12*(1), 37. https://doi.org/10.3390/foods12010037

14. Davidson, P. M., & Critzer, F. M. (2011). Intervenciones para inhibir o inactivar patógenos bacterianos en los alimentos. En *Seguridad alimentaria microbiana: una introducción* (págs. 189-202). Nueva York, NY: Springer Nueva York.

15. De Carvalho Neto, D., de Melo Pereira, G., Tanobe, V., Thomaz Soccol, V., G. da Silva, B., Rodrigues, C., & Soccol, C. (2017). Diversidad de levaduras y características fisicoquímicas asociadas a la fermentación del grano de café de la región brasileña del Cerrado Mineiro. *Fermentación , 3* (1), 11. https://doi.org/10.3390/fermentation3010011

16. De Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Magalhães Júnior, A. I., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans - A review. *Food chemistry, 272,* 441–452. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061

17. Di Cagno R., Coda, R., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2013). Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation, *Food microbiology,* 33(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.09.003

18. Elhalis, H., Cox, J., & Zhao, J. (2020). Ecological diversity, evolution and metabolism of microbial communities in the wet fermentation of Australian coffee beans. *International journal of food microbiology, 321,* 108544. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108544

19. Escamilla Prado, E., Ruiz Rosado, O., Zamarripa Colmenero, A., & González Hernández, V. A. (2015). Calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México. *Revista de Geografía Agrícola,* (55),45-55.[fecha de Consulta 11 de Mayo de 2023]. ISSN: 01864394. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75749286004

20. Evangelista, S. R., Miguel, M. G. C. P., Silva, C. F., Pinheiro, A. C. M., & Schwan, R. F. (2015). Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation. International Journal of Food Microbiology, 210, 102–112.

21. Figueroa-Hernandez, C., Mota-Gutierrez, J., Ferrocino, I., Hernandez-Estrada, Z. J., González-Ríos, O., Cocolin, L., & Suárez-Quiroz, M. L. (2019). The challenges and perspectives of the selection of starter cultures for fermented cocoa beans. *International Journal of Food Microbiology,* 301, 41–50. https://doi.org/10.1016/j. ijfoodmicro.2019.05.002

22. Gallo, F. (1993). Índice de madurez para piña cayena lisa, guanábana, pitaya amarilla y maracuyá. Agro-Desarrollo 4 (1-2), 194-200.

23. Garrido, A. (1990). "Environmental impact. Fermented fruits and vegetables".- Mesa Redonda I Congreso Internacional de Tecnología y Desarrollo Alimentario. Murcia, 13-16. Noviembre, Proceedings en prensa.

24. Germane, K. L., Servinsky, M. D., Gerlach, E. S., Sund, C. J., & Hurley, M. M. (2015). Structural analysis of Clostridium acetobutylicum ATCC 824 glycoside hydrolase from CAZy family GH105. *Acta crystallographica. Section F, Structural biology communications, 71*(Pt 8), 1100–1108. https://doi.org/10.1107/S2053230X15012121

25. Haile, M., & H. Kang. (2020). El Impacto de las Prácticas de Manejo de Cosecha y Poscosecha en la Calidad del Café. Café -Producción e Investigación. doi: 10.5772/intechopen.89224

26. IICA. (2006). Gestión de agronegocios en empresas asociativas rurales. Curso de Capacitación. Módulo 4: Poscosecha y servicios de apoyo a la comercialización / IICA-PRODAR, FAO. -- Lima. 75 p.

27. Illy, E. (2002). The complexity of coffee. Scientific American, 286(6), 86–91. IndexMundi. Coffee, other mild Arabicas. (2017). http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=othermild-arabicas-coffee&months=60

28. Kim, M. J., Ju, H. K., Kim, Y., Yoo, S.-H., & Kim, Y.-S. (2016). Effects of amidation and/or methylesterification of pectin on aroma release at different calcium concentration. *Food Hydrocolloids,* 52, 343–349.

29. Kays, S. (2004). Postharvest biology. Exon Press, Athens, Georgia. 568 p.

30. Kramer, D., Breitenstein, B., Kleinwächter, M., & Selmar, D. (2010). Stress metabolism in green coffee beans (Coffea arabica L.): expression of dehydrins and accumulation of GABA during drying. *Plant & cell physiology, 51*(4), 546–553. https://doi.org/10.1093/pcp/pcq019

31. Lee, L. W., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B., & Liu, S. Q. (2015). Coffee fermentation and flavor--An intricate and delicate relationship. *Food chemistry, 185,* 182–191. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.124

32. Lopez, G., Sotomayor, D., Amador, J. A., & Shröder, E. C. (2015). Contribution of nitrogen from litter and soil mineralization to shade and sun coffee (Coffea arabica L.) agroecosystems. *Tropical Ecology* 56 (2): 21-33.

33. Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., Arrieta, M. C., Cotter, P. D., De Vuyst, L., Hill, C., Holzapfel, W., Lebeer, S., Merenstein, D., Reid, G., Wolfe, B. E., & Hutkins, R. (2021). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on fermented foods. *Nature reviews. Gastroenterology & hepatology, 18*(3), 196–208. https://doi.org/10.1038/s41575-020-00390-5

34. Martinez, S. J., Bressani, A. P. P., Miguel, M. G. C. P., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2017). Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures. Food Research International, 102, 333–340. https://doi.org/10.1016/j. foodres.2017.09.096

35. Martinez, S. J., Rabelo, M. H. S., Bressani, A. P. P., Da Mota, M. C. B., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2021). Novel stainless steel tanks enhances coffee fermentation quality. *Food research international (Ottawa, Ont.), 139,* 109921. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109921.

36. Monrudee, BM; Lertsatitthanakorn, C.; Wiset, L., & Poomsaad, N. (2011). Análisis de rendimiento y evaluación económica de un secador de efecto invernadero para el secado de carne de cerdo. KKU Ing. J. 38(4):433-442

37. Muñoz, MDF; Noguera, OM. (2016). Evaluación de propiedades físicas y factores de conversión de café variedad Castillo y Colombia (coffea arabica L.) durante el proceso de beneficio y trilla, a diferentes alturas sobre el nivel del mar en fincas cafeteras del municipio de Colon, departamento de Nariño. Tesis Lic. Colombia. Universidad Nacional San Juan de Pasto. 92 p.

38. Oliveros-Tascón, C. E, & Sanz-Uribe, J. R. (2011). Ingeniería y café en Colombia. *Revista de Ingeniería ,* (33), 99-114. Recuperado el 12 de mayo de 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932011000100011&lng=en&tlng=es.

39. Ovando-Cruz M. E., Martínez-Bolaños M., López-Morgado R., & Méndez-López, I. (2017). Establecimiento de plantaciones de Café Coffea Arábica L. Con genotipos tolerantes a roya anaranjada (Hemileia vastatrix Berk y Broome) en el estado de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Folleto técnico Núm. 51. Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca, México. 45 p.

40. Parra-Coronado, A., & Roa-Mejía, G. (2008). SECAFÉ Parte II: recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2008, vol.12, n.4, pp.428-434. ISSN 1415-4366.

41. Pereira, G. V. M., Soccol, V. T., Brar, S. K., Neto, E., & Soccol, C. R. (2017). Microbial ecology and starter culture technology in coffee processing. Critical Reviews in *Food Science and Nutrition,* 57, 2775–2788.

42. Prada, Á., Vela, C. P., Bardález, G., & Saavedra, J. (2019). Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continuo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú. *Información tecnológica, 30*(6), 85-92. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600085

43. PROCAFE. (2010). Guía de buenas prácticas agrícolas para fincas de café protegidas bajo una indicación geográfica ó denominación de origen / IICA. Guatemala.

44. Puerta, G.I. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. Chinchiná : Cenicafé,. 12 p. (Avances Técnicos No. 402).

45. Puerta, G.I. (2011). Composición química de una taza de café. Chinchiná : Cenicafé, 12 p. (Avances Técnicos No. 414).

46. Puerta, G.I. (2012). Factores, procesos y controles en la fermentación del café. Chinchiná: Cenicafé, 12 p. (Avances Técnicos No. 422).

47. Reid, M.S. 2002. Maturation and maturity indices. pp. 55-62. En: Kader, A.A. (ed.) Postharvest technology of horticultural crops. 3th edition. University of California, Agricultural and Natural Resources, Publication 3311. Oakland, California. 535 p.

48. Sadaka, S. S., & Engler, C. R. (2003). Effect of initial total solids om composting of raw manure with biogas recovery. *Compost Science & Utilization,* 11:4, 361-369. https://doi.org/10.1080/1065657X.2003.10702146

49. Salazar G. M., Arcila P. J., Riaño H. N., & Bustillo, P. A. E. (1993). Crecimiento y desarrollo del fruto de café y su relación con la broca. Avances Técnicos Cenicafé 194:1–4.

50. Selmar, D., Bytof, G., Knopp, S.-E., & Breitenstein, B. (2006). Germination of coffee seeds and its significance for coffee quality. Plant Biology, 8, 260–264.

51. Tiwaria, G., & Katiyara, V. K. (2013). Comparative study of commonly used solar dryers in India. *International Journal of Current Engineering and Technology,* 3(3):994-999.

52. Torres, Ramiro, Montes, Everaldo J, Pérez, Omar A, & Andrade, Ricardo D. (2013). Relación del Color y del Estado de Madurez con las Propiedades Fisicoquímicas de Frutas Tropicales. *Información tecnológica, 24*(3), 51-56. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007

53. Uribe, H. A. (1997). Constantes físicas y factores de conversión en café. Avances Técnicos, Cenicafé No. 65: 1-3.

54. Varley, J., & Birch, J. (1999). Reactor design for large scale suspension animal cell culture. *Cytotechnology,* 29, 177–205. https://doi.org/10.1023/A:1008008021481

55. Vinderola, G., Ouwehand, A., Salminen, S., & von Wright, A. (Eds.). (2019). Bacterias del ácido láctico: aspectos microbiológicos y funcionales (5ª ed.). Prensa CRC. https://doi.org/10.1201/9780429057465

56. Wintgens J. N. (2009). Factors influencing the quality of green coffee. In: Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. A Guidebook for Growers, Processors, Traders and Researchers. Weinheim, Germany: Wiley-VCH; pp. 797-817.

57. Wills, R., B. McGlasson, D. Graham y D. Joyce (1998). Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. CAB International, Nueva York. 262 p.

58. World Coffe Rerearch. (2018). Las Variedades de Café de Mesoamérica y el Caribe. California Estados Unidosp.74. disponible https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/varieties

59. Zakaria, H. M. (2013). Development of solar dryer for dyring of chilli seeds. Thesis Master of science. Bangladesh Agricultural University. Mymensingh, Bangladesh. 57 p.

60. Zambrano, A., Gómez, A., Ramos, G., Romero, C., Lacruz, C., & Rivas, E. (2011). Caracterización de parámetros físicos de calidad en almendras de cacao criollo, trinitario y forastero durante el proceso de secado. *Agronomía Tropical* 60(4): 389 – 396.

# Anexo 1

## HOJA DE MONITOREO

Fecha: _____

Variedad: _____ Lote: _____

Tipo de Fermentación: _____ Proceso: _____

### Escala de Maduración

| Muestra | Grados Brix |
|---|---|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |

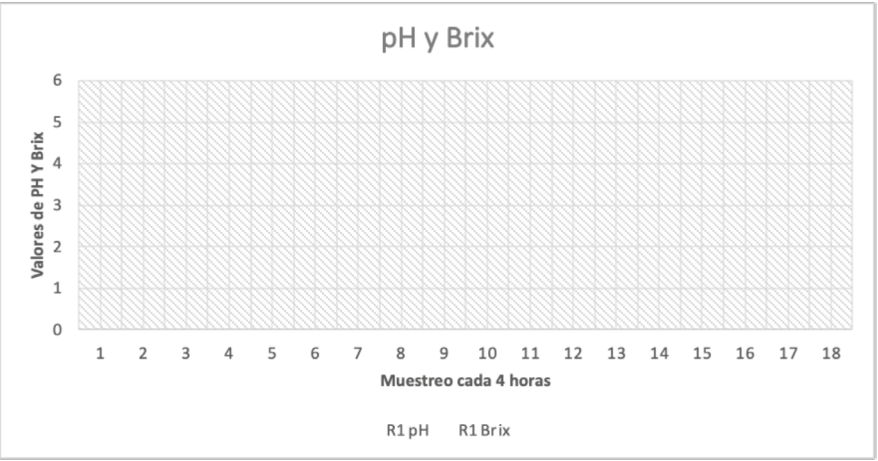
| Muestra | Brix | pH |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |

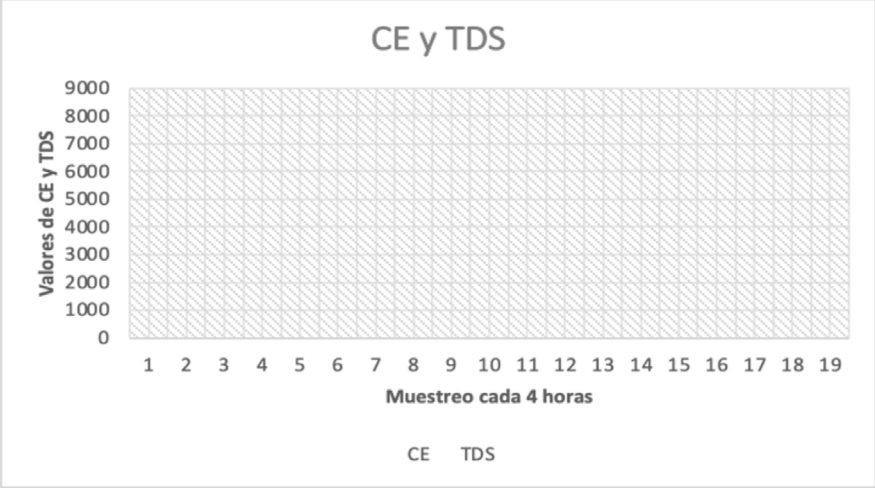
| Muestra | CE | TDS |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |

### Caracterización del Fruto

| Muestra de 100 cerezas | Conteo | Anotaciones |
|---|---|---|
| Cerezas verdes | | |
| Pintones verdes | | |
| Secas | | |
| Sobre maduros | | |
| Estado óptimo | | |

Temperatura Media: _____





COLEGIO DE POSTGRADUADOS

CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

PMC
Programa Mexicano del Carbono
Red Temática del CONAHCYT

ISBN: 978-607-99797-5-1