



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO EFICIENTE DE LOS RESIDUOS  
GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DE  
CAFÉ PROTEGIDO BAJO UNA DENOMINACIÓN DE ORIGEN**

**Juan Pablo Pérez Rivera**

Asesorado por la Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO EFICIENTE DE LOS RESIDUOS  
GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DE  
CAFÉ PROTEGIDO BAJO UNA DENOMINACIÓN DE ORIGEN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN PABLO PÉREZ RIVERA**

ASESORADO POR LA INGA. AURELIA ANABELA CORDOVA ESTRADA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
EXAMINADORA	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO EFICIENTE DE LOS RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ PROTEGIDO BAJO UNA DENOMINACIÓN DE ORIGEN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con, fecha 29 de agosto de 2014.



**Juan Pablo Pérez Rivera**

Guatemala, 15 febrero de 2016

Ingeniero  
Juan José Peralta Dardón  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería, Usac.

Ingeniero Peralta Dardón.

Por medio de la presente me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento que como Asesora del estudiante universitario, Juan Pablo Pérez Rivera, con número de carné: 2002-17755, he tenido a la vista el trabajo de graduación titulado: **LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO EFICIENTE DE LOS RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ PROTEGIDO BAJO UNA DENOMINACIÓN DE ORIGEN.** El cual encuentro satisfactorio.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Ingeniera Industrial  
Colegiado No. 7141

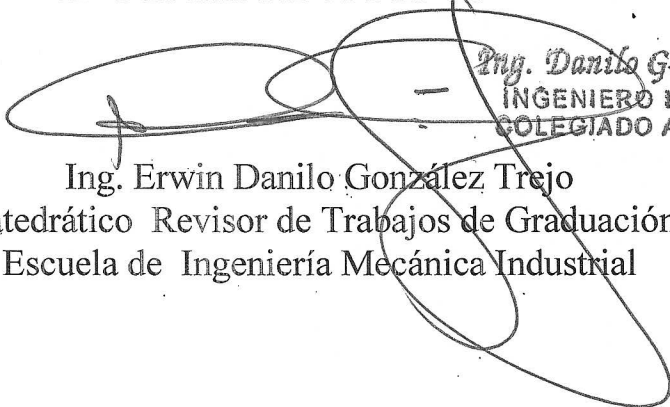
Colegiado No.7141

ASESORA



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO EFICIENTE DE LOS RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ PROTEGIDO BAJO UNA DENOMINACIÓN DE ORIGEN**, presentado por el estudiante universitario **Juan Pablo Pérez Rivera**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
— *Ing. Danilo González Trejo*  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO ACTIVO 6182

Ing. Erwin Danilo González Trejo  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, mayo de 2016.

/mgp



REF.DIR.EMI.186.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO EFICIENTE DE LOS RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ PROTEGIDO BAJO UNA DENOMINACIÓN DE ORIGEN**, presentado por el estudiante universitario **Juan Pablo Pérez Rivera**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Juan José Peralta Dardón  
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2016.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 503.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO EFICIENTE DE LOS RESIDUOS GENERADOS DURANTE EL PROCESO DE BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ PROTEGIDO BAJO UNA DENOMINACIÓN DE ORIGEN**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Pablo Pérez Rivera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, octubre de 2016

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios y a la Virgen María** Por permitirme llegar consolidar esta meta, por su infinita bondad y el haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.
- Mi madre** Por el apoyo incondicional en todo momento, sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.
- Mi madrina** Gumercinda Rivera, por su incondicional apoyo y como pequeño tributo al cariño que siempre me brindó.
- Mis hermanos** Marco Vinicio, Rev. Tulio Omar y Nancy Paola Pérez Rivera, por ser una importante influencia en mi vida, por estar conmigo y apoyarme siempre.
- Mis sobrinos** Alejandro y María José Pérez Mendoza, Paola y José Pablo Pérez Pérez, por la alegría que me brindan y para que vean en mí un posible ejemplo a seguir.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Mi padre**

Gracias por su apoyo.

**Mis cuñados**

Hermes Pérez y Shirley Mendoza, por compartir su conocimiento, brindarme su amistad y apoyo incondicional.

**Mis amigos**

Por todos los buenos y malos momentos compartidos.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

En especial a la Facultad de Ingeniería, por ser mi casa de estudios, el haberme aceptado ser parte de ella y por transmitirme los conocimientos para formarme como profesional.

**Por último**

A todos aquellos docentes, familiares y compañeros que estuvieron presentes, brindándome su conocimiento y apoyo para seguir adelante.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. Finca La Esmeralda.....	1
1.1.1. Historia .....	1
1.1.2. Misión .....	4
1.1.3. Visión.....	4
1.1.4. Políticas .....	4
1.1.5. Organización administrativa.....	4
1.1.6. Localización .....	6
1.2. Actividad productiva .....	7
1.2.1. Proceso productivo .....	7
1.2.2. Producto .....	9
1.2.3. Clientes o mercado meta.....	10
1.3. El café.....	11
1.3.1. Reseña histórica .....	11
1.3.2. Industrialización del café .....	18
1.3.3. Producción.....	19
1.3.3.1. Recolección del fruto .....	20
1.3.3.2. Características del café .....	21

1.3.4.	Clasificación de los cafés de Guatemala.....	22
1.3.4.1.	Tipo prima lavado.....	22
1.3.4.2.	Tipo extra prima lavado.....	23
1.3.4.3.	Tipo semiduro.....	23
1.3.4.4.	Tipo duro.....	24
1.3.4.5.	Tipo estrictamente duro.....	25
1.3.4.6.	Cafés regionales.....	25
1.4.	Área de beneficio húmedo de café.....	30
1.4.1.	Generalidades.....	30
1.4.2.	Proceso.....	31
1.4.2.1.	Corte y recolección.....	32
1.4.2.2.	Recepción del café.....	33
1.4.2.3.	Despulpado.....	34
1.4.2.4.	Fermentación.....	34
1.4.2.5.	Lavado.....	35
1.4.2.6.	Clasificación.....	35
1.4.2.7.	Secamiento.....	36
1.4.2.8.	Almacenamiento.....	36
1.5.	Situación ambiental.....	37
1.5.1.	Residuos líquidos.....	39
1.5.2.	Residuos sólidos.....	40
1.5.3.	Emisiones atmosféricas.....	41
1.6.	Manejo de residuos.....	41
1.6.1.	Producción más limpia.....	42
1.6.2.	Prevención de la contaminación.....	42
1.6.3.	Gestión de residuos.....	43

2.	SITUACIÓN ACTUAL.....	45
2.1.	Beneficio húmedo de café .....	45
2.2.	Descripción general del área de beneficio.....	46
2.2.1.	Capacidad instalada .....	46
2.2.2.	Personal a cargo.....	47
2.2.3.	Disposición de los residuos .....	50
2.2.3.1.	Residuos sólidos.....	50
2.2.3.2.	Residuos líquidos .....	51
2.3.	Diagramas .....	52
2.3.1.	Diagrama de flujo del proceso actual.....	53
2.3.2.	Diagrama de recorrido .....	57
2.4.	Descripción del equipo .....	59
2.4.1.	Maquinaria .....	59
2.4.2.	Herramientas .....	63
2.5.	Descripción general del proceso .....	64
2.5.1.	Diagrama general de bloques y generación de residuos .....	65
2.5.2.	Operaciones y generación de residuos del proceso.....	67
2.5.2.1.	Área de pesado .....	67
2.5.2.2.	Sifón tradicional .....	68
2.5.2.3.	Pulperos .....	68
2.5.2.4.	Canal de transporte de pulpa.....	69
2.5.2.5.	Zaranda clasificadora .....	70
2.5.2.6.	Pulpero repasador .....	71
2.5.2.7.	Pilas de fermento.....	71
2.5.2.8.	Canal de correteo para lavado.....	72
2.5.2.9.	Patios de secado .....	74
2.5.2.10.	Bodega .....	75

3.	PROPUESTA PARA DESARROLLAR LOS LINEAMIENTOS.....	77
3.1.	Diagramas de proceso propuestos .....	78
3.1.1.	Diagrama de flujo del proceso.....	82
3.1.2.	Diagrama de recorrido.....	91
3.2.	Buenas prácticas de producción más limpia .....	93
3.2.1.	Capacitación del personal .....	96
3.2.2.	Mantenimiento.....	102
3.2.2.1.	Equipo .....	103
3.2.2.2.	Instalaciones .....	105
3.2.3.	Separación de residuos y efluentes .....	111
3.2.4.	Uso eficiente de materia prima e insumos.....	111
3.3.	Gestión de residuos y subproductos .....	112
3.3.1.	Reducción de residuos en la fuente .....	113
3.3.2.	Reciclaje y reuso .....	117
3.3.2.1.	Recuperación de aguas residuales ....	118
3.3.2.2.	Reúso de agua .....	118
3.3.2.3.	Recuperación de residuos sólidos.....	118
3.3.2.4.	Reúso de material sólido .....	119
3.4.	Eficiencia Energética.....	120
3.4.1.	Consumo de energía eléctrica.....	120
3.4.2.	Consumo de energía calórica.....	121
3.5.	Mantenimiento de la calidad durante el proceso de beneficiado.....	121
3.5.1.	Condiciones generales de operación .....	121
3.5.2.	Manejo del agua en el proceso .....	122
3.5.3.	Secado .....	122
3.5.4.	Tratamiento de aguas residuales .....	123
3.5.5.	Almacenamiento de cosecha .....	124

4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	125
4.1.	Plan de acción .....	125
4.1.1.	Programa de sensibilización .....	125
4.1.2.	Entidades responsables .....	126
4.1.2.1.	Gerencia .....	126
4.1.2.2.	Producción, área de beneficio .....	126
4.2.	Reciclaje y reuso. ....	128
4.2.1.	Residuos sólidos.....	132
4.2.1.1.	Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de residuos sólidos .....	133
4.2.1.2.	Transformación de los residuos sólidos mediante la elaboración de compost .....	135
4.2.1.2.1.	propiedades del compost de la pulpa de café.....	138
4.2.1.2.2.	Proceso de transformación de la pulpa de café por lombricultura .....	139
4.3.	Aguas residuales .....	149
4.3.1.	Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales.....	150
4.3.2.	Reutilización del agua residual para riego .....	154
4.3.3.	Recirculación de agua en los sistemas del proceso .....	155
4.4.	Diseño de la obra física para el tratamiento de residuos sólidos .....	156

4.5.	Área y diseño de la obra física para el tratamiento de aguas residuales y sólidos .....	157
4.5.1.	Lagunas de oxidación .....	162
4.5.2.	Lagunas para lodos .....	163
4.6.	Elementos asociados a la implementación .....	165
4.6.1.	Capacitación.....	165
4.6.2.	Manteniendo de equipo e instalaciones .....	166
4.6.2.1.	Tratamiento de residuos sólidos.....	167
4.6.2.2.	Tratamiento aguas residuales para su reutilización.....	168
4.6.2.3.	Sistema de recirculación de agua en los sistemas del proceso .....	170
5.	MEJORA CONTINUA .....	173
5.1.	Resultados obtenidos.....	173
5.1.1.	Compromiso de la administración .....	173
5.1.2.	Compromiso del personal.....	174
5.1.2.1.	Mejora en el manejo de residuos .....	175
5.2.	Mejora en el beneficio húmedo de café.....	177
5.2.1.	Evaluaciones periódicas del control de residuos... ..	177
5.2.2.	Control de operaciones .....	182
5.2.3.	Planes de trabajo para cosechas posteriores.....	184
5.3.	Beneficio/costo .....	188
5.3.1.	Aplicación del sistema en otros beneficios .....	189
5.3.2.	Optimizar el consumo de agua.....	192
5.3.3.	Manejo adecuado de las microcuencas de agua ..	193
5.3.4.	Optimización en el manejo de desechos sólidos... ..	194
5.3.5.	Reducción de fuentes de contaminación causadas al medio ambiente.....	195



CONCLUSIONES ..... 197  
RECOMENDACIONES ..... 199  
BIBLIOGRAFÍA ..... 201



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Casa patronal: finca La Esmeralda, octubre 1960. ....	2
2.	Don Hermes Pérez Castañeda, hijo de don José Domingo Pérez Rosales, fundador de finca La Esmeralda.....	3
3.	Organigrama administrativo .....	5
4.	Zona productora café Acatenango .....	6
5.	Recolectoras de café Acatenango. ....	8
6.	Logo denominación de origen. ....	9
7.	Antigua Guatemala, año 1700.....	11
8.	Primera exportacion de café en Guatemala, año 1859 .....	13
9.	Guardiola, año 1872.....	14
10.	Despulpador, año 1910.....	15
11.	Mapa produccion de café a nivel mundial. ....	20
12.	Estructura del fruto y del grano del cafeto.....	21
13.	Cafés regionales de Guatemala.....	29
14.	Generalidades del proceso de beneficiado húmedo de café.....	31
15.	Etapas del manejo de residuos sólidos .....	40
16.	Grafica costo mano de obra. ....	47
17.	Vertedero actual de pulpa, finca La Esmeralda.....	51
18.	Diagrama de flujo del proceso actual .....	55
19.	Diagrama de recorrido.....	58
20.	Pulperos, finca La Esmeralda .....	59
21.	Pulpero repasador, finca La Esmeralda. ....	60
22.	Zaranda oscilante o clasificadora, finca La Esmeralda. ....	61

23.	Secadora mecánica, finca La Esmeralda.....	62
24.	Tanque receptor y sifón tradicional, finca La Esmeralda. ....	63
25.	Etapas principales en el proceso de beneficiado húmedo de café .....	64
26.	Diagrama genral de bloques y generación de residuos.....	66
27.	Recepción y peso del fruto, finca La Esmeralda.....	67
28.	Ingreso del fruto a pulperos, finca La Esmeralda.....	69
29.	Ingreso del fruto a zaranda clasificadora, finca La Esmeralda.....	70
30.	Ingreso del grano despulpado a pilas de fermento, finca La Esmeralda.....	72
31.	Canal de correteo, finca La Esmeralda.....	73
32.	Patio de secado, finca La Esmeralda.....	74
33.	Almacenamiento de café, finca La Esmeralda.....	75
34.	Ejemplos de aplicación de simbologia, diagrama de flujo de proceso .....	79
35.	Diagrama de bloques beneficiado enzimático (fermentación rápida)....	85
36.	Diagrama de flujo propuesto.....	89
37.	Diagrama de recorrido .....	92
38.	Elementos de la estrategia de producción más limpia.....	95
39.	Máquina despulpadora .....	104
40.	Balance de masa, beneficiado húmedo de café .....	127
41.	Tratamiento de residuos sólidos .....	134
42.	Elaboración de abonos orgánicos.....	136
43.	Diagrama de proceso para el compostaje de pulpa de café .....	137
44.	Lombriz californiana o coqueta roja ( <i>Eiseniafoetida</i> ) .....	142
45.	Nicho para lombrices .....	145
46.	Diagrama de proceso para el compostaje ( <i>lombricompost</i> ) de pulpa de café .....	147
47.	Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales .....	152

48.	Diagrama de tratamiento de agua residual .....	153
49.	Diagrama de flujo de agua en un sistema de recirculación de agua a circuito cerrado en las etapas del proceso de beneficiado de café .	155
50.	Plano del terreno .....	158
51.	Vista planta tratamiento de aguas residuales y sólidos.....	158
52.	Diseño de tanque reactor .....	159
53.	Diseño tanque coagulante-floculante y lechada (TCF Y TL) .....	160
54.	Tanque de sedimentación .....	160
55.	Vista en planta .....	161
56.	Laguna de oxidación .....	162
57.	Proceso de una laguna de lodos.....	164
58.	Sistema de recirculación de agua en los sistemas del proceso .....	171

## TABLAS

I.	Características del café tipo prima lavado.....	23
II.	Características del café tipo extra prima lavado.....	23
III.	Características del café tipo semiduro .....	24
IV.	Características del del café tipo duro. ....	24
V.	Características del café tipo estrictamente duro. ....	25
VI.	Producción anual de café, finca La Esmeralda .....	47
VII.	Mano de obra en el beneficio húmedo de café. ....	49
VIII.	Consumo de agua por kilogramo de café en el beneficio húmedo, finca La Esmeralda.....	52
IX.	Cosumo de agua por kilogramo de café, sifón tradicional, finca La Esmeralda .....	68
X.	Residuos de pulpa por cosecha, finca La Esmeralda .....	70
XI.	Símbolos utilizados en la realización de diagrama de flujo del proceso .....	88

XII.	Programa del curso de energía renovable .....	98
XIII.	Programa del curso de capacitación de desechos sólidos. ....	100
XIV.	Formato de evaluación .....	101
XV.	Caracterización y uso de residuos sólidos.....	120
XVI.	Contenido de nutrientes de algunos materiales utilizados en aboneras.....	139
XVII.	Formato para recolección de información, área de pesado (balanza), ingreso de producto a beneficio húmedo .....	178
XVIII.	Formato para recolección de información, área pulperos, el fruto de café es separado de su cáscara .....	180
XIX.	Formato para recolección de información, pilas de fermentación .....	181
XX.	Formato para recolección de información, patios de secado .....	186

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
H <sub>2</sub> O	Agua
h	Hora
kg	Kilogramo
Kw	Kilowatts
l	Litro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
T	Tonelada





## GLOSARIO

<b>Anacafé</b>	Asociación Nacional del Café.
<b>Café</b>	Planta que pertenece al género Coffea se caracteriza por una hendidura en la parte central de la semilla. Se encuentran desde pequeños arbustos hasta árboles de más de 10 metros de altura.
<b>Café pergamino</b>	Cuando el café aún tiene la película que lo cubre.
<b>Café oro</b>	Se le denomina luego de que se ha extraído la película que lo cubre.
<b>Denominación de origen</b>	Tipo de indicación geográfica aplicada a un producto agrícola o alimenticio cuya, calidad o característica se debe fundamentalmente y exclusivamente al medio geográfico en el que se produce, transforma y elabora.
<b>Disposición final de residuos</b>	Proceso de aislar y confirmar los residuos sólidos en forma definitiva, de tal forma que no produzca daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

<b>Reciclaje</b>	Proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos o en materia para su posterior utilización.
<b>Reúso</b>	Uso de un material o producto residual más de una vez.
<b>Residuo</b>	Materiales de desecho que quedan tras la fabricación, transformación o utilización de algo.
<b>Tratamiento</b>	Conjunto de acciones y tecnologías mediante las cuales se modifican las características de los residuos sólidos, incrementando sus posibilidades de reutilización o para minimizar los impactos ambientales y los riesgos a la salud humana en su disposición temporal o final.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de graduación se realizó con el fin de mejorar el sistema de manejo de residuos provenientes del proceso de beneficiado húmedo de café.

La industria del café es uno de los principales factores de desarrollo del municipio de Acatenango, Chimaltenango y este se convierte a su vez en una actividad que trae consigo una problemática ambiental generada por el inadecuado tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos resultantes por el proceso de esta actividad.

La posibilidad de aprovechamiento de un residuo, que en su totalidad es orgánico, se convierte en una de las alternativas propuestas; el compostaje como método que permita cerrar el ciclo de la materia orgánica que, bajo métodos propuestos, permita su reutilización como un abono mejorador de suelos. Un sistema de recirculación de agua que permita disminuir el consumo de agua en el proceso, así como el posible tratamiento de las aguas residuales con el fin de integrar estas al medio ambiente o ser reutilizadas en el proceso.

Derivado de lo anterior, se formulan los lineamientos para una estrategia adecuada para el manejo eficiente de los residuos generados durante el proceso de beneficiado húmedo de café, mediante la aplicación de herramientas de producción más limpia y gestión de residuos.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Desarrollar lineamientos para el manejo eficiente de los residuos generados durante el proceso de beneficiado húmedo de café protegido bajo una denominación de origen.

### **Específicos**

1. Analizar los desechos provenientes del proceso de beneficiado húmedo de café, con el fin de proponer los lineamientos necesarios que ayuden a mitigar los efectos negativos que causa este proceso en el medio ambiente.
2. Proporcionar una línea base para orientar medidas preventivas y de mitigación para el manejo adecuado de los desechos producidos por este proceso.
3. Proponer herramientas de buenas prácticas operativas de producción más limpia, con el fin de obtener mejores herramientas técnicas operativas amigables con el medio ambiente, aplicables en la región.
4. Proporcionar un sistema de reciclaje y reúso eficiente de los desechos producidos por el proceso.

5. Proponer un sistema para el uso eficiente de agua utilizada en el proceso, con el objetivo de disminuir el consumo de agua fresca y minimizar la cantidad de aguas residuales que requieren tratamiento.
6. Proporcionar información sobre sistemas de recuperación de aguas residuales, con el fin de introducirlas en el medio ambiente o para la utilización en de otros procesos de la industria.
7. Promover mediante la capacitación, minimizar, reutilizar y aprovechar los residuos provenientes de este proceso, para lograr mitigar el impacto negativo que tiene este proceso en el medio ambiente de la región.

## INTRODUCCIÓN

El café ha sido para Guatemala uno de los cultivos más importantes a lo largo de la historia, su industria representa uno de los principales motores de desarrollo del país. La introducción al territorio guatemalteco data aproximadamente de 1800, y desde entonces se le ha dado mucho apoyo con el objetivo de fomentar su cultivo y formar parte de los principales productos de exportación. Esta industria, además de transformar la estructura económica del país, ha incidido en una transformación social y física del territorio, muchas veces en forma negativa.

El proceso de beneficiado húmedo de café es un conjunto complejo de operaciones. Comprende desde la transformación del fruto hasta la condición de pergamino seco, siendo este proceso el que genera en promedio el 80 % de residuos totales, los cuales se consideran de poco o nulo valor económico, y por lo tanto, son considerados como desechos. Un mal manejo de residuos, produce un deterioro del entorno, conduce al aumento en la producción de desechos, amenazando potencialmente la integridad de los recursos naturales renovables y no renovables.

En el presente trabajo de graduación se pretende proporcionar una herramienta que ayude a mejorar la competitividad y el desempeño ambiental de la empresa en cuestión, por medio de la aplicación de prácticas, procedimientos y controles, tanto de buenas prácticas operativas de producción más limpia como de gestión de residuos; esto con el fin de no considerar más a los residuos que se generan por este proceso como desechos, tomándolos

como un recurso más para la industria de café, y por lo tanto, llevar a cabo un desarrollo sostenible con las empresas de este sector.



## **1. ANTECEDENTES GENERALES**

Las denominaciones de origen presentan una dimensión que va más allá del ámbito económico y legal; es la unión de los aspectos culturales y sociales de una comunidad que se unen para diferenciar un producto de calidad, único e irrepetible. Hace cinco años los más de 3 000 productores de Acatenango apostaron por la denominación de origen de su café como un reconocimiento distintivo a la calidad, condiciones agroclimáticas y procesos de producción.

### **1.1. Finca La Esmeralda**

Ubicada en el municipio de Acatenango, departamento de Chimaltenango, cuenta con 56 hectáreas de terreno cultivado de café, de las variedades borbón y caturra. Este se caracteriza como café gourmet del valle de Acatenango.

#### **1.1.1. Historia**

Acatenango, tierra de café, es una zona ubicada en la región central de Guatemala, donde cultivar café es una tradición.

Desde que en 1880 se conociera este producto como el principal cultivo de la zona, los pobladores de Acatenango han dedicado sus vidas a la producción de café de calidad como pacto entre generaciones.

La extensión territorial de la denominación de origen es de 9 663 hectáreas, la estructura cafetalera está compuesta por más de 3 mil personas,

organizadas en 56 fincas, 2 cooperativas, 1 asociación, productores independientes, además cuentan con 34 beneficios húmedos de café. Desde sus orígenes los caficultores de Acatenango han aprovechado las condiciones agroclimáticas de la zona para producir el mejor café del mundo y promover el desarrollo local.

Es en este lugar donde se encuentra finca La Esmeralda, con más de cien años de tradición cafetalera, y al menos, tres generaciones involucradas en el desarrollo de este producto, han generado por medio de buenas prácticas agrícolas y de manufactura un café de alta calidad que satisface las más altas exigencias del mercado internacional.

Figura 1. **Casa patronal: finca La Esmeralda, octubre 1960**



Fuente: finca La Esmeralda, Acatenango, Chimaltenango.

Fundada aproximadamente en 1890, con número de registro 96, siendo en sus inicios un área boscosa, que alberga hasta la actualidad, distintas especies de árboles que se han utilizado como sombra en el cultivo. En 1885,

aproximadamente, por su ubicación geográfica, en las áreas montañosas del valle de Acatenango, en las faldas de los volcanes de Acatenango y Fuego, su fundador don José Domingo Pérez Rosales, introdujo el café a la finca, con el fin de producir un café único y de alta calidad, considerándose así una de las primeras fincas productoras de café de Guatemala.

Figura 2. **Don Hermes Pérez Castañeda, hijo de don José Domingo Pérez Rosales, fundador de finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

A partir de entonces, finca La Esmeralda, ha sido dirigida por tres generaciones de descendientes directos: Héctor Pérez Castañeda, Joel Pérez Castañeda y Hermes Pérez Castañeda, los tres, hijos de don Domingo Pérez.

En la actualidad es don Hermes Pérez Higueros, nieto del fundador, quien se encuentra al cuidado de finca La Esmeralda. Es él quien continúa con la supervisión de todas y cada una de las fases de producción, garantizando con ello la más alta calidad del producto.

### **1.1.2. Misión**

“Producir un café de muy alta calidad, manteniendo buenas prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente y con responsabilidad social, y con esto llegar a ser un modelo de desarrollo rentable y sostenible en la región”<sup>1</sup>.

### **1.1.3. Visión**

“Posicionarnos como líderes en la región mediante la producción de cafés especiales de muy alta calidad, con responsabilidad social y ambiental, reconocido internacionalmente, del cual el consumidor final llegue a saber quién lo produce, dónde se produce y cómo se procesa”<sup>2</sup>.

### **1.1.4. Políticas**

“Producir un café de la más alta calidad, cumpliendo con las especificaciones que los mercados tanto nacionales como internacionales exijan, para satisfacción de los clientes y consumidores; promoviendo la incorporación de procesos seguros para el bienestar de sus trabajadores, del medio ambiente y de la comunidad”<sup>3</sup>.

### **1.1.5. Organización administrativa**

La organización administrativa en finca La Esmeralda es del tipo vertical. Considerando como actores involucrados aquellas personas que participan de manera directa en la ejecución de las actividades principales de la finca.

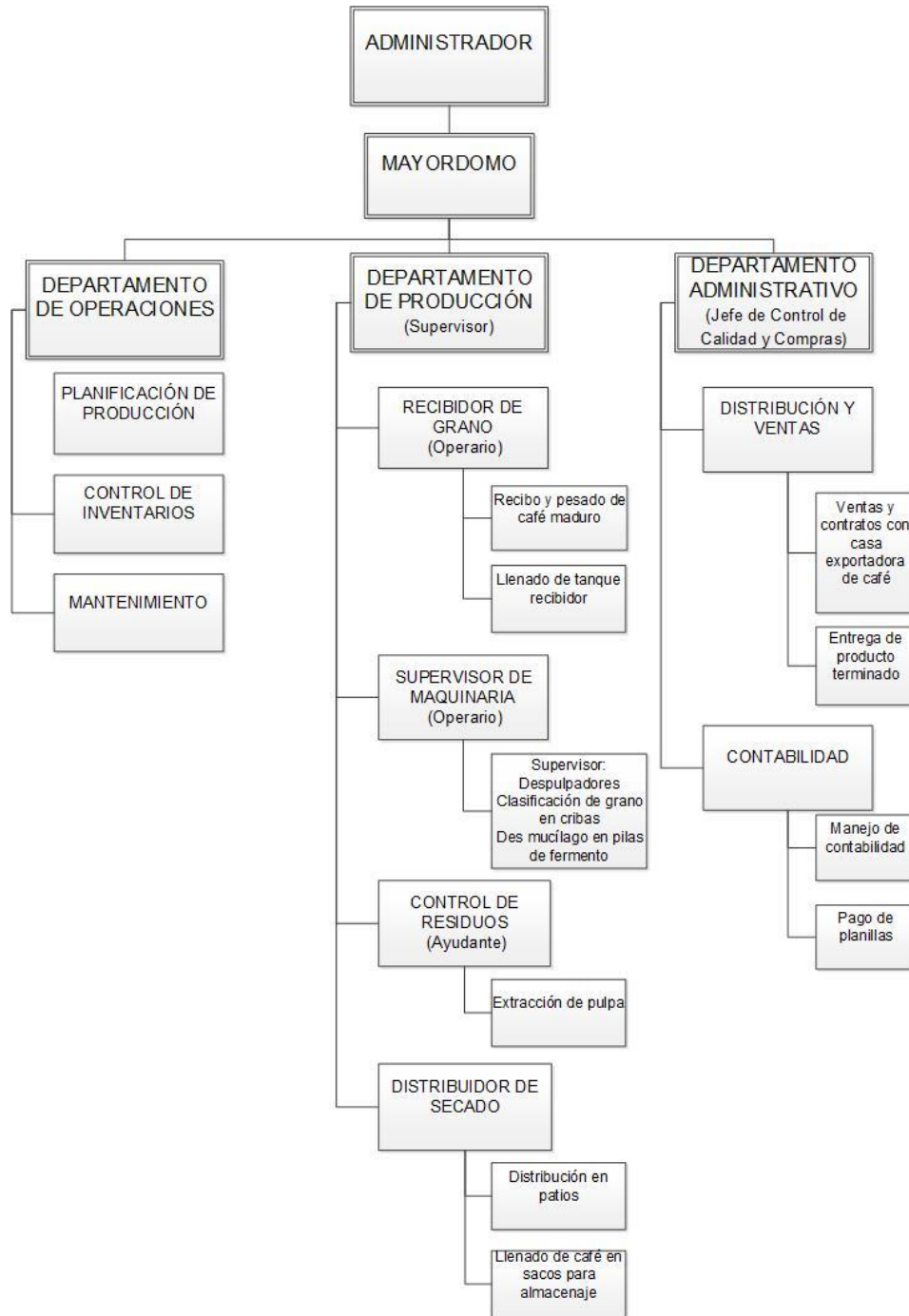
---

<sup>1</sup> Componentes principales de la gerencia estratégica, finca La Esmeralda.

<sup>2</sup> *Ibíd.*

<sup>3</sup> *Ibíd.*

Figura 3. Organigrama administrativo

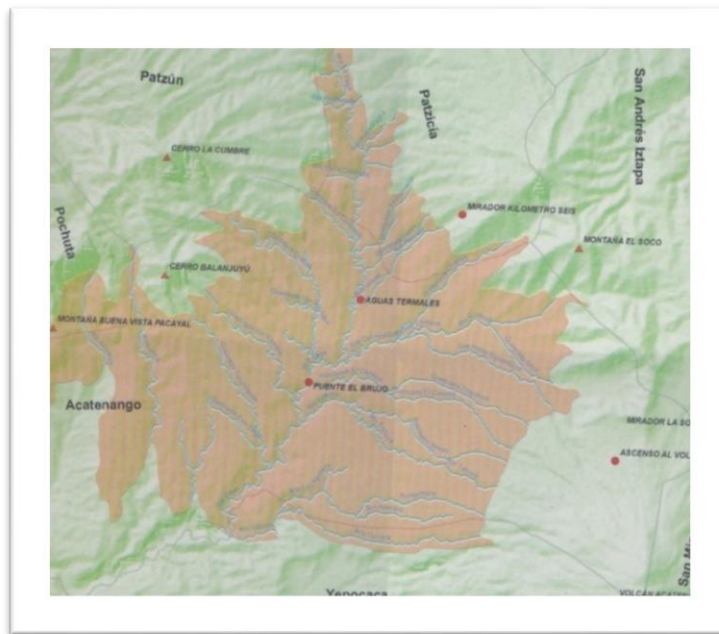


Fuente: componentes principales de la gerencia estratégica, finca La Esmeralda.

### 1.1.6. Localización

Es en Acatenango, Chimaltenango, donde se encuentra finca La Esmeralda; ubicada en el kilómetro cien, carretera que comunica los municipios de Acatenango y Pochuta. Cuenta con cincuenta hectáreas de terreno cultivado de café, de las variedades borbón y caturra, a una altura que oscila entre los mil trescientos a mil quinientos metros sobre el nivel del mar, esta altura hace que su café se caracterice como estrictamente duro.

Figura 4. Zona productora café Acatenango



Fuente: finca La Esmeralda.

- Finca La Esmeralda se encuentra ubicada en las coordenadas:

Latitud norte: 14 grados 31'15'' X 175 896,00564929913

Longitud este: 90 grados 59'35'' Y 1 549 780,3923160233

Altitud: 1 313 metros aproximadamente sobre el nivel del mar

- Sus colindancias son las siguientes:
  - Al norte con Patzicía, Zaragoza y Patzún (Chimaltenango).
  - Al sur con San Pedro Yepocapa (Chimaltenango).
  - Al este con San Andrés Itzapa (Chimaltenango), y San Miguel Dueñas (Sacatepéquez).
  - Al oeste con Pochuta (Chimaltenango).

## **1.2. Actividad productiva**

A continuación se describe la actividad productiva de la zona en estudio.

### **1.2.1. Proceso productivo**

El proceso productivo de la finca está constituido, básicamente, por dos procesos: producción y transformación.

El proceso de transformación inicia con la selección de la semilla del café, la cual se elige de las mejores plantas. Luego se hace el semillero donde de dos a tres meses es trasplantado a los almácigos que son áreas donde las plantas crecen por espacio de ocho a doce meses, tiempo durante el cual alcanzan la altura mínima para ser plantados en el campo definitivo, dando lugar a las plantaciones en crecimiento. Las cuales tardan de dos a tres años para producir formalmente, considerándose entonces, como plantaciones en producción.

La recolección del fruto de café tarda cuatro meses como promedio: inicia a finales de noviembre y termina en marzo. La recolección es una actividad muy especial, se recolectan únicamente los frutos que han llegado a

su plena madurez fisiológica, como les exige el control de calidad que se implementa en el beneficio húmedo.

**Figura 5. Recolectoras de café Acatenango**



Fuente: revista Excelencia. p. 34.

Con la recolección del fruto de café da inicio al segundo proceso. El cual debe ser realizado con mucho cuidado porque debe mantenerse la calidad del café obtenido en el proceso de producción. En la etapa de beneficiado húmedo se seleccionan nuevamente los granos que tienen el color y la forma deseada y se despulpan.

La mayor parte del café es secado por los rayos del sol en patios de cemento, para obtener un secamiento óptimo.



### 1.2.2. Producto

El café gourmet de Acatenango es una recién descubierta joya de los cafés de Guatemala. Desde la década de 1880, los caficultores de la región cosechan el grano bajo sombra, creando un bosque artificial. Las constantes erupciones del vecino volcán de Fuego mantienen el suelo repleto de minerales. Los vientos del Pacífico y las marcadas estaciones climáticas permiten que el café se seque al sol y se procesa siguiendo antiguas tradiciones familiares.

La denominación de origen: Café Acatenango se consolidó entre 2010 y 2012, producir bajo esta condición es tan importante como una certificación ISO, puesto que va orientada a los procesos y trazabilidad, aseguramiento y control, para garantizar que el producto mantenga características de alta calidad, dentro del punto de vista mercadotécnico y comercial

Figura 6. Logo denominación de origen



Fuente: APDOCA.

La delimitación geográfica de Acatenango, y en especial de finca La Esmeralda, hace que el café cultivado posea características únicas, que lo diferencian del resto de los cafés de Guatemala y el mundo. Esta zona se caracteriza por cultivar café de las variedades caturra y borbón tradicional y en tercer lugar catuaí, que, de acuerdo al análisis realizado por Illycafe, sobre la influencia de la variedad respecto a la calidad del café, las variedades cultivadas son sinónimo de calidad. Las plantaciones de café son cultivadas arriba de los 1 300 metros sobre el nivel del mar, equivalente a 4 264 pies.

En cuanto a características de sabor, es un café con un buen equilibrio particularmente en acidez y cuerpo.

### **1.2.3. Clientes o mercado meta**

A principios de la década del 2010 se presentó un vertiginoso crecimiento de los mercados alternativos de café. Los cafés regionales empezaron a ganar terreno, especialmente en Estados Unidos, Europa y Asia, donde se estima que en los últimos tres años el mercado mundial de estos tipos ha crecido en un 300 por ciento.

El principal cliente del café que produce finca La Esmeralda es Japón, este país se convirtió en el segundo comprador a nivel mundial del café de Guatemala, ya que el 16 % del total de las exportaciones de este producto se dirigen a este destino.

Los especialistas de Japón aprecian la alta calidad del grano producido en la región de Acatenango, puesto que presenta más complejidad en la producción en comparación con otras regiones, convirtiéndose así en una de las bebidas más vendidas en este país.

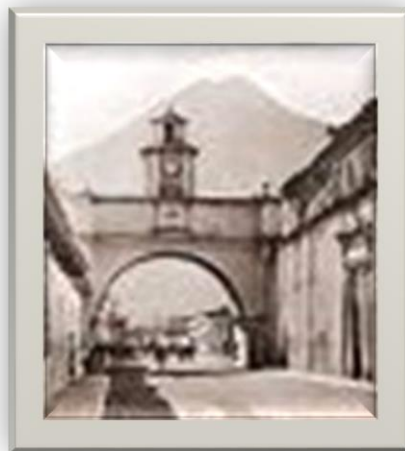
### **1.3. El café**

Durante el siglo VIII, el café ya se producía en áreas localizadas de Arabia y países vecinos para su consumo. Luego fue introducido a los mercados europeos por los holandeses, a fines de la Edad Media. Se desconoce la fecha exacta cuando comenzó a cultivarse café, pero estudios sitúan este hecho en Arabia, cerca del mar Rojo, hacia el año 75 d.c. No obstante, este cultivo fue raro hasta los siglos XV y XVI, cuando se establecieron extensas plantaciones en la región árabe de Moka (actualmente Yemen).

#### **1.3.1. Reseña histórica**

A mediados de 1700: sacerdotes jesuitas traen las primeras matas de café a la ciudad colonial de Antigua Guatemala, como plantas ornamentales para los jardines de su monasterio.

**Figura 7. Antigua Guatemala, año 1700**



Fuente: Anacafé.

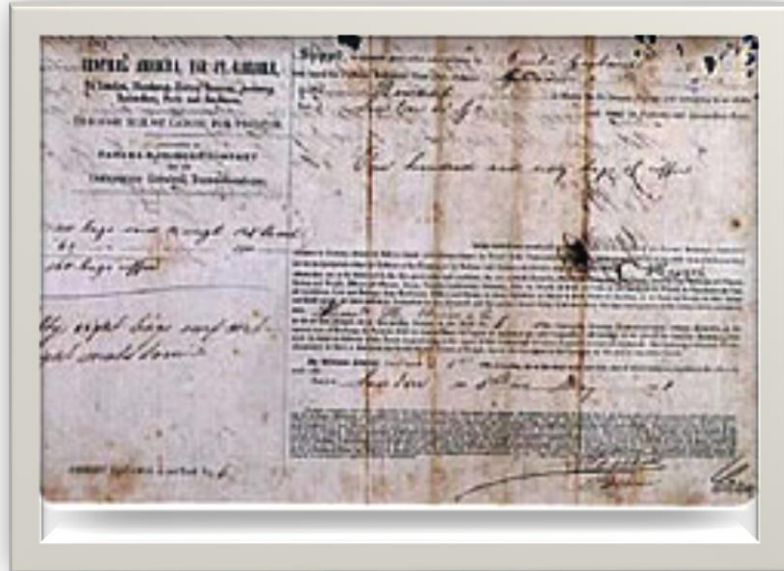
En cuanto a la producción de café, Acatenango comparte la historia sobre los indicios de cultivo de este grano en el país. Se cree que las primeras plantas de café fueron introducidas a Guatemala entre 1750 y 1760, aunque la fecha exacta se desconoce. De acuerdo con el testimonio oral, se sabe que el primer café que se sembró en el antiguo Reino de Guatemala fue traído del mismo moka. Sin embargo, es más probable que las semillas o almácigos no hayan provenido de Yemen si no de los conventos que la orden de los jesuitas tenían en las islas La Española (actualmente República Dominicana y Haití) y Cuba.

Los primeros cafetos sirvieron como adorno en los jardines de los conventos. Posteriormente el cultivo se propagó a fincas particulares, principalmente a causa de los terremotos llamados de Santa Marta, acaecidos en 1773. Pero los principales productos de exportación en Guatemala siguieron siendo el cacao y el añil.

Cuando decayó el comercio del añil, los funcionarios reales sugirieron la exportación de 40 nuevos productos, mencionando entre ellos el café. Para favorecer la producción y exportación de los nuevos productos, el rey Carlos IV ordenó la eliminación, durante diez años, de todos los impuestos sobre el añil, cacao, azúcar y café recién plantados o a punto de serlo.

- 1850, crisis de intercambio internacional: la invención de tintes sintéticos, elimina el segundo producto agrícola de exportación de la época: la cochinilla, una materia prima de tinte natural y de intercambio internacional. El gobierno ofrece incentivos para cultivar café.
- 1859, primera exportación: la primera producción comercial de café: 383 sacos de 60 kilogramos enviada a Europa casi en su totalidad.

Figura 8. **Primera exportación de café en Guatemala, año 1859**

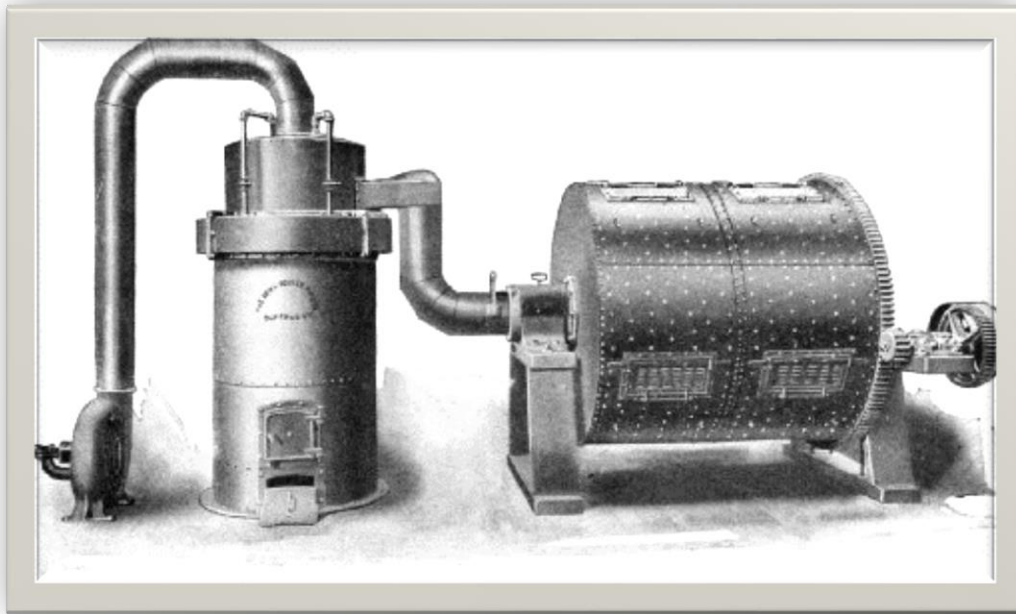


Fuente: Anacafé.

- 1860, despegue del café: la producción se triplica a 1 117 sacos y la industria del café en Guatemala despegar.
- 1867, *lci à Paris*: el café de Guatemala participa en su primer evento internacional: La Exhibición Internacional en París.
- 1868, estímulos para el café: el gobierno entrega un millón de almácigos a los pequeños productores con el fin de estimular la producción. Se inició un programa para modernizar los puertos y construir caminos y la vía férrea y así entregar el producto a tiempo.
- 1872: la Revolución Guardiola: José Guardiola revoluciona el procesamiento de café en todo el mundo. Su máquina permite a los

productores secar café en un ambiente controlado. Conocida mundialmente como la secadora “Guardiola”, es la de mayor popularidad utilizada actualmente.

Figura 9. **Guardiola, año 1872**



Fuente: Anacafé.

- 1880, café en la cima: el café se ha convertido en el producto agrícola de mayor exportación en Guatemala, sumando arriba del 80 % del valor total de sus exportaciones.
- 1880, la retrilla de Smout: la máquina descascaradora de Julio Smout reemplaza el primitivo mortero y la técnica de triturar utilizada para remover el pergamino del grano. Su diseño ha sido conocido desde entonces como “Retrilla-pulidora de Smout”.

- 1888, *C'est si bon!*: el café de Guatemala ocupa el primer premio en la Feria Mundial de París.
- 1902, el gran *boom!*: una masiva erupción volcánica en el occidente de Guatemala, que entierra fincas enteras en cenizas y arena. Toma cerca de dos décadas para que las áreas afectas se recuperaran. Mientras tanto, otras regiones obtienen un aumento en minerales derivado de las cenizas. Las fincas de Antigua obtienen, en los siguientes cinco años, cosechas que rompen records.
- 1910, el triunfo de Okrassa: añadiendo la modalidad de pulidor al diseño de Smout, Roberto Okrassa inventa una nueva despulpadora que se volvió conocida a nivel mundial por su nombre.

Figura 10. **Despulpador, año 1910**



Fuente: Anacafé

- 1910, café presto: Eduardo Cabarrus y Federico Lehnhoff inventaron y patentaron la fórmula del café soluble que permanece sin modificaciones noventa años después.
- 1915: primer premio en la exhibición de San Francisco.
- 1929, el primero de los tiempos difíciles: gran depresión, a medida que los mercados cayeron, las exportaciones de café se redujeron por primera vez.
- 1940, suspendidas las exportaciones: la Segunda Guerra Mundial bloquea los mercados europeos y las exportaciones de café caen, resurgiendo después de la guerra.
- 1955, en la bolsa: Imrich Fischmann presenta el mundo de los viveros con la simple idea de una bolsa plástica (de semillas) perforada. Su invención no solamente afecta el café. Transforma el manejo, cuidado y trasplante de semillas alrededor del mundo.
- 1960, unión de productores: Anacafé inicia como la Oficina Central del Café y, tres años después se une a la Organización Internacional del Café, OIC.
- 1980, especializándose en especialidad: la demanda por los cafés de especialidad trae gran entusiasmo al mercado. Anacafé, activamente empieza a promover los cafés regionales.
- 1989, fin de las cuotas: las cuotas del café son eliminadas, encarando una nueva era para los países pequeños como Guatemala.



- 2002: mientras los precios mundiales se desploman, Guatemala enfrenta su más profunda crisis del café en 150 años: las exportaciones caen en un 25 % y el intercambio internacional en un 59 %. Por primera vez desde 1870, el café no es líder en generación de ingresos del exterior. Más de 250 000 trabajadores pierden sus trabajos.
- 2005, privilegiando el café de calidad: a pesar de la crisis, los productores continuaron en la lucha por producir café de calidad. Su esfuerzo se ve compensado con el fortalecimiento de los mercados de café más exigentes como el japonés.
- El café en Acatenango
  - En el caso específico de Acatenango se estima que la producción de café data desde mediados del siglo XIX, cuando los primeros ensayos demostraron que el grano se daba muy bien en pendientes de la Sierra Madre. A diferencia de otras regiones del país, no hay registros que indiquen que Acatenango haya sido una zona productora de grana o cochinilla, que era el principal producto exportado por Guatemala durante los primeros años de la época Independiente.
  - Es probable que en Acatenango se haya seguido cultivando maíz, tal y como venía haciéndose desde la época Colonial, situación que persistió, no solo por ser un cultivo tradicional de los indígenas, sino porque siempre existió la preocupación por mantener la ciudad abastecida de dicho cereal. Adicionalmente, la zona de Acatenango se caracteriza por sus fuertes vientos, que

resultan muy útiles en el secamiento del café, pero que podrían haber sido perjudiciales para la producción de la cochinilla.

### **1.3.2. Industrialización del café**

La agroindustria del café tiene como objetivo la transformación del fruto del cafeto denominado maduro o cerezo para obtener café en pergamino, y por último, transformado en oro, que es el principal producto de exportación.

De acuerdo con el desarrollo de la industria del café, el producto que se obtendrá puede ser: grano de café en pergamino, grano de café en oro, café tostado y molido y otros.

- Los procesos de acuerdo al producto a obtener son los siguientes:
  - Beneficio húmedo: se define como la transformación del fruto de café maduro a café pergamino seco de punto comercial, a través de las siguientes etapas:
    - Recolección del fruto, recibo y clasificación, despulpado, clasificación del café despulpado, remoción de mucílago, fermentado, lavado, secamiento, almacenamiento.
  - Beneficio seco: es el segundo proceso de transformación al que es sometido el café lavado. En esta fase, la materia prima lo constituye el café pergamino obtenido del beneficio húmedo para obtener el café oro que será utilizado por los tostadores como materia prima. En el beneficio seco es eliminado el pergamino o cascarilla (endocarpio), el

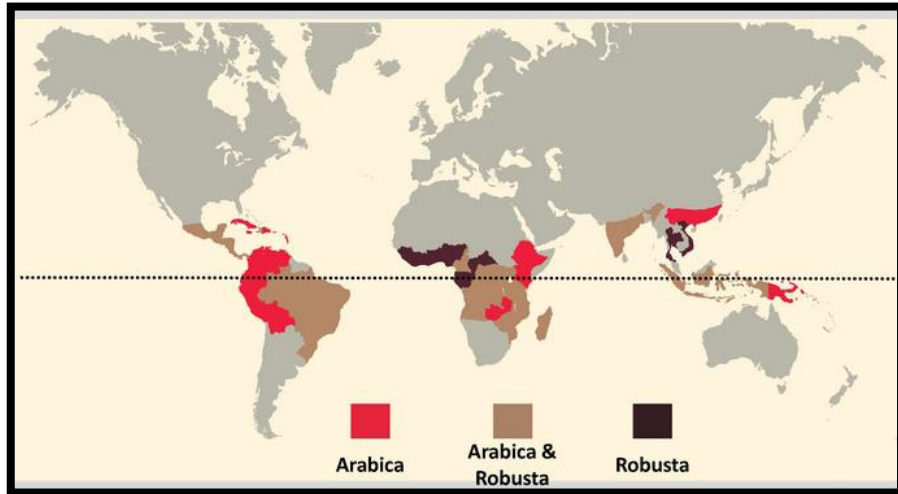
cual constituye aproximadamente un 20 % en peso del café pergamino seco procedente del beneficio húmedo.

- Torrefacción del café: es la operación por la cual se obtiene café tostado y molido a partir del grano en oro.
- Preparación de café soluble: es la serie de operaciones para producir café en polvo de preparación instantánea. El café soluble es un importante producto de la industria cafetalera. Para fabricarlo, se prepara un extracto mezclando con agua caliente el café tostado y molido de una forma tosca, a continuación, se separa el agua por diversos métodos, como desecación por pulverización o al vacío.
- Café descafeinado: puede extraerse la cafeína del café, tratando el grano verde con disolventes organoclorados. Después de eliminar los disolventes, el grano se tuesta de la forma habitual.
- Sucedáneo del café: el consumo de sucedáneo del café es escaso. El más usado es la achicoria tostada, que ahora se emplea, en ocasiones, mezclada con el café.

### **1.3.3. Producción**

El cafeto se siembra en climas subtropicales y en terrenos entre 600 y 1700 metros de altitud. Los países que producen café se encuentran en los continentes de África, Oriente Medio y Sudamérica, siempre a unos 25 grados de la línea del ecuador.

Figura 11. **Mapa producción de café a nivel mundial**



Fuente: SUECA EXPRES S.L., Valencia, España, *producción de café a nivel mundial*, [www.suecaexpres.com/blog/variedades-de-cafe](http://www.suecaexpres.com/blog/variedades-de-cafe). Consulta: 6 de julio de 2014.

A continuación se hace una descripción del proceso de producción de café.

### **1.3.3.1. Recolección del fruto**

Las plantas de café producen la primera cosecha de rendimiento pleno cuando tienen aproximadamente cinco años de edad. A continuación, mantienen una producción constante durante 15 a 20 años. Algunas plantas rinden entre 900 gr y 1,3 Kg de semillas de valor comercial al año, pero se considera que es de 450 gr el rendimiento anual medio. Se utiliza dos métodos de recolección. Uno se basa en la recolección selectiva y el otro consiste en agitar la planta y recoger todos los frutos.

Las semillas obtenidas mediante la primera técnica suelen beneficiarse, generalmente por el método húmedo. El método de beneficiado seco suele

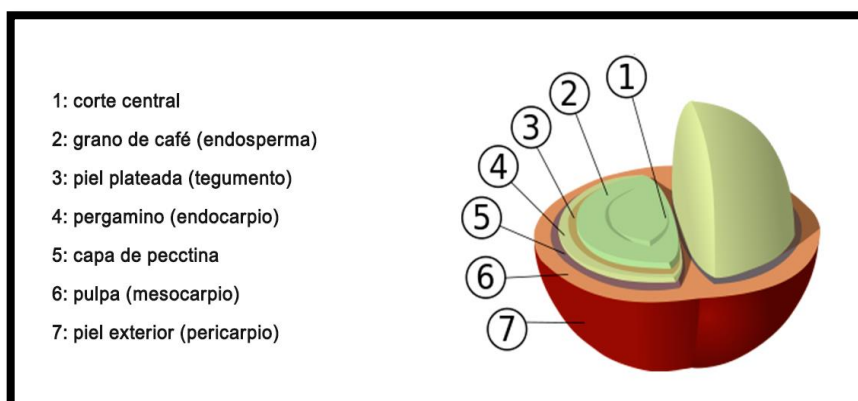
reservarse para las semillas recolectadas de la segunda forma, se reduce a secar el grano y eliminar las capas externas de este. El producto final es siempre el llamado café verde.

### 1.3.3.2. Características del café

La semilla del café contiene una compleja mezcla de componentes químicos; algunos de ellos no son afectados por el tueste, pero de los que depende el aroma, son producto de la destrucción parcial del grano verde por la torrefacción. Los compuestos que extrae el agua hirviendo se clasifican en componentes de sabor no volátiles y componentes de aroma volátiles.

Los componentes no volátiles más importantes son: la cafeína, trigonelina, ácido clorogénico, ácidos fenólicos, aminoácidos, hidratos de carbono y minerales. Entre los volátiles hay ácidos orgánicos, aldehídos, cetonas, esteres, aminas y mercaptanos (compuestos de azufre). Los principales efectos fisiológicos del café se deben a la cafeína, un alcaloide con propiedades suavemente estimulantes.

Figura 12. Estructura del fruto y del grano del cafeto



Fuente: SUECA EXPRES S.L., Valencia, España, *variedades de café*, [www.suecaexpres.com/blog/variedades-de-cafe](http://www.suecaexpres.com/blog/variedades-de-cafe). Consulta: 6 de julio de 2014.

#### **1.3.4. Clasificación de los cafés de Guatemala**

Los cafés que se producen en Guatemala se clasifican como "Arábigos Lavados", clasificación que comparte con los demás países centroamericanos, México, Colombia, Ecuador, Perú, República Dominicana, India y Papua Nueva Guinea. Colombia es el principal productor del grupo con cerca del 35 %. El segundo productor dentro del grupo es México con el 12 %. El tercer lugar corresponde a Guatemala con cerca de 9 %. Otros países que están mostrando mayor dinamismo en su crecimiento. podrían relegar a Guatemala a una posición inferior. Tal es el caso de India que actualmente ocupa el cuarto lugar de producción dentro del grupo pero que, de mantenerse las tendencias actuales, podría alcanzar a Guatemala a fines de la década presente.

Guatemala produce café en todos sus departamentos (Totonicapán se incorporó a la producción del grano recientemente). El tipo de café depende principalmente de la altura y el clima donde se esté la plantación. La producción guatemalteca abarca una amplia gama de tipos de café. Las zonas productoras se encuentran localizadas a diferentes alturas sobre el nivel del mar y tienen climas diversos.

Los siguientes son los tipos de mayor producción:

##### **1.3.4.1. Tipo prima lavado**

Se siembran a una altura de 2 000 a 3 000 pies sobre el nivel del mar: el grano se presenta flojo, liso, un poco oscuro y parejo, con principios de carácter. Posee un buen aroma, limpio y con principio de fragancia. En este tipo, el cuerpo y la acidez son suaves y ligeros, perceptibles con cierta facilidad.

Tabla I. **Características del café tipo prima lavado**

LAVADO	TOSTADO	AROMA	SABOR
Tamaño normal pero liso y abierto. El centro es un poco pálido con un color verde aceituna. La hendidura del centro recta.	Grano flojo y sin carácter. Color café claro y abierto en el centro.	Suave. Bastante limpio con principios de fragancia.	Sin cuerpo. Poca acidez.
Altura: 2 000 a 3 000 pies sobre el nivel del mar			Cosecha: septiembre
Otro: este es el tipo de café que se cotiza en la bolsa de Nueva York			

Fuente: Anacafé.

#### 1.3.4.2. **Tipo extra prima lavado**

Se siembran a una altura de 2 000 a 3 500 pies sobre el nivel del mar: en relación con el anterior desarrolla un poco de más carácter en el tueste. Su grano es mayor, el aroma, cuerpo y acidez son más pronunciados.

Tabla II. **Características del café tipo extra prima lavado**

LAVADO	TOSTADO	AROMA	SABOR
Tamaño normal pero liso y abierto. El centro en un poco pálido con un color verde aceituna. La hendidura del centro recta.	Grano flojo y sin carácter. Color café claro y abierto en el centro.	Suave. Bastante limpio con principios de fragancia.	Sin cuerpo. Poca acidez.
Altura: 3 000 a 3 500 pies sobre el nivel del mar			Cosecha: septiembre

Fuente: Anacafé.

#### 1.3.4.3. **Tipo semiduro**

Se siembran a una altura de 3 500 a 4 000 pies sobre el nivel del mar: este café se caracteriza por tener un grano grande intermedio entre duro y extra

prima. Al tostarlo proporciona un tueste más flojo. El producto proporciona un café algo fuerte, con poca acidez y cuerpo ligero. Tiene buen aroma.

Tabla III. **Características del café tipo semiduro**

<b>VERDE</b>	<b>TOSTADO</b>	<b>AROMA</b>	<b>SABOR</b>
Color verde jade oscuro. Hendidura un poco torcida y medio abierta.	Tueste claro. Produce manchas pardas en la superficie del grano	Poco fragante y penetrante	Poca acidez, con cuerpo delgado y un tanto flojo.
Altura: 3 500 a 4 000 pies sobre el nivel del mar			Cosecha: noviembre

Fuente: Anacafé.

#### 1.3.4.4. **Tipo duro**

Se siembran a una altura de 4 000 a 4 500 pies sobre el nivel del mar: Cuando está tostado tiene una apariencia compacta buen carácter, pero aun con paredes lisas en el grano. El color es un poco más oscuro que el prima. El aroma es bueno, limpio, dulce y agradable. La acidez es persistente, no tanto como un estrictamente duro, pero más que los anteriores.

Tabla IV. **Características del café tipo duro**

<b>VERDE</b>	<b>TOSTADO</b>	<b>AROMA</b>	<b>SABOR</b>
Grano grande, según la variedad. Corrugado, cerrado por el centro y torcido o en zig-zag. Color verde azulado.	Oscuro con algunas manchitas claras.	Fragante	Fragante con cuerpo y acidez marcados y parejos
Altura: 4 000 a 4 500 pies sobre el nivel del mar			Cosecha: diciembre
Otros: Se cata a máquina y generalmente se escoge a mano según las exigencias del mercado.			

Fuente: Anacafé.



### 1.3.4.5. Tipo estrictamente duro

Se siembran a una altura superior a los 4 800 pies sobre el nivel del mar: El grano tostado es compacto y rugoso. Su color es oscuro casi negro con la ranura bien cerrada. El tueste, generalmente uniforme, es más agradable, fragante, penetrante y limpio. El cuerpo y acidez son más pronunciados y fuertes, sin dejar de ser finos. En este tipo se encuentra la acidez más persistente y agradable.

Tabla V. **Características del café tipo estrictamente duro**

VERDE	TOSTADO	AROMA	SABOR
Hendidura cerrada, en forma de zig-zag. Corrugado, con un color azulado	Grano compacto, rugoso, casi negro, con ranura cerrada.	Agradable, fragante, dulzón y limpio.	Balanceado con su acidez, cuerpo, aroma y fineza.
Altura: Superior a 4 800 pies sobre el nivel del mar			Cosecha: abril
Generalmente su destino son los mercados europeos.			

Fuente: Anacafé.

### 1.3.4.6. Cafés regionales

Se siembran a una altura de 1 219 a 1 372 metros sobre el nivel del mar: el tostado tiene una apariencia compacta y buen carácter. El color es un poco más oscuro que el prima. El aroma es bueno, limpio, dulce y agradable. La acidez es persistente, no tanto como un estrictamente duro, pero más que los anteriores.

Estos cafés producidos en condiciones especiales, y en general en zonas bien definidas, en alturas superiores en 1 372 metros sobre el nivel del mar, además de ser cafés de tipo estrictamente duro, tienen características de

presentación del grano oro, tostado y taza muy especial de gran calidad. Estas características permiten clasificarlos en una categoría especial, son buscados por los consumidores exigentes y tienen sus mercados propios.

Por tradición, los grandes cafés regionales de Guatemala han sido: Antigua, Cobán, Huehuetenango, Atitlán y Fraijanes, y más recientemente se adicionaron los orígenes San Marcos y nuevo oriente (Chiquimula y Zacapa), y Acatenango (Chimaltenango).

- Acatenango: es la región cafetalera de más reciente reconocimiento, sinónimo de fincas familiares y verdes montañas. El grano es cosechado a la sombra a alturas que alcanzan los 2 000 metros, en suelos ricos en minerales. El secado se realiza al sol y el procesamiento del grano se hace siguiendo antiguas tradiciones familiares.

Las variedades que se producen en esta región son: bourbon, caturra y catuaí.

La taza de Acatenango presenta marcada acidez, aroma fragante, cuerpo balanceado y limpio, y un postgusto persistente.

- Antigua: rodeado de volcanes, iglesias barrocas y ruinas, en Antigua se cultiva por encima de los 1 500 metros, en un suelo volcánico rico en minerales, bajos niveles de humedad compensados por la presencia de piedra pómez, mucho sol, noches frías y una densa sombra que lo protege de las heladas.

Las variedades que se producen en esta región son: bourbon, caturra y catuaí.

La taza de Antigua es elegante, bien balanceada, con un exquisito aroma y sabor particularmente dulce.

- Atitlán: posee el suelo más rico en materia orgánica del país. A las faldas de los volcanes que dominan el Lago de Atitlán, sobre un suelo rico en minerales, generosamente bañado por el sol y en altitudes que superan los 1 500 metros, se cultiva el 90 % del café producido en la región, cuyos caficultores conservan las técnicas tradicionales de cultivo y procesamiento del grano.

Las variedades que se producen en esta región son: bourbon, típica, caturra y catuaí.

La taza de Atitlán es deliciosamente aromática, con pronunciada acidez cítrica y mucho cuerpo.

- Cobán: en una tierra plena de riquezas naturales, altos niveles de nubosidad, lluvia y frío todo el año, el Cobán se cultiva entre los 1 300 y 1 500 metros sobre el nivel del mar, en onduladas montañas de suelos arcillosos y piedra caliza que reciben la influencia tropical de la cuenca del Atlántico.

Las variedades que se producen en esta región son: bourbon, maragogype, caturra, pache y catuaí.

La taza del Cobán presenta muy particulares notas afrutadas, cuerpo fino y bien balanceado, con un aroma agradable.

- Fraijanes: de suelos volcánicos con piedra pómez, enriquecidos periódicamente por los minerales que provienen del volcán de Pacaya, la

región de Fraijanes es una llanura montañosa con abundante lluvia, humedad variable y un extenso rango de temperaturas. En ella, el café se cultiva entre los 1 400 a los 1 700 metros sobre el nivel del mar.

Las variedades que se producen en esta región son bourbon, caturra, pache y catuaí.

La taza de Fraijanes presenta acidez pronunciada y persistente, es aromática y con cuerpo definido.

- Huehuetenango: de las regiones no volcánicas de Guatemala, Huehuetenango es la más alta y seca. En sus montañas, acariciadas por vientos áridos y secos que las protegen de las heladas, el café se cultiva en alturas que alcanzan los 2 000 metros sobre el nivel del mar.

Las variedades que se producen en esta región son: bourbon, caturra y catuaí.

La taza de Huehuetenango es de acidez fina e intensa cuerpo lleno y agradable con notas avinatas.

- Oriente: lluviosa y nublada, ubicada sobre una antigua cadena volcánica, la región oriente posee suelos balanceados en minerales. En un panorama de ricas tradiciones espirituales y maravillas naturales, pequeños caficultores han convertido cada parcela de la montaña en una unidad de producción, logrando altos niveles de productividad, en alturas que van de los 1,300 a los 1 700 metros.

Las variedades que se producen en esta región son: bourbon, caturra, catuái y pache.

La taza del oriente es bien balanceada, con mucho cuerpo y sabor achocolatado.

- San Marcos: más allá de la Sierra Madre, entre paisajes de asombro, clima cálido, suelos ricos en minerales y lluvias torrenciales, en San Marcos se cultiva entre los 1 300 y 1 800 metros sobre el nivel del mar, en pequeñas unidades productoras que cuentan con su propio beneficio.

Las variedades que se producen en esta región son: bourbon, caturra y catuái.

La taza del San Marcos presenta delicadas notas florales en su aroma y sabor, pronunciada acidez y buen cuerpo.

Figura 13. **Cafés regionales de Guatemala**



Fuente: Anacafé.

## **1.4. Área de beneficio húmedo de café**

El beneficiado de café es el proceso industrial que permite separar del fruto las coberturas que envuelven al grano y efectuar el secado de éste, con el fin de preservarlo para su posterior exportación o venta local para su torrefacción y molido, o efectuar otros procesos que permitan ofrecer a los consumidores distintas presentaciones de café (liofilizado, descafeinado, granulado, en bebida gaseosa y otros).

El beneficiado húmedo de café, llamado así por ser la parte del proceso que demanda uso de agua, principalmente, para la eliminación del mucílago (lavado) y clasificación de los granos, comprende la transformación del fruto maduro que viene de la recolección del campo, a café pergamino seco con un 10-12 % de humedad.

### **1.4.1. Generalidades**

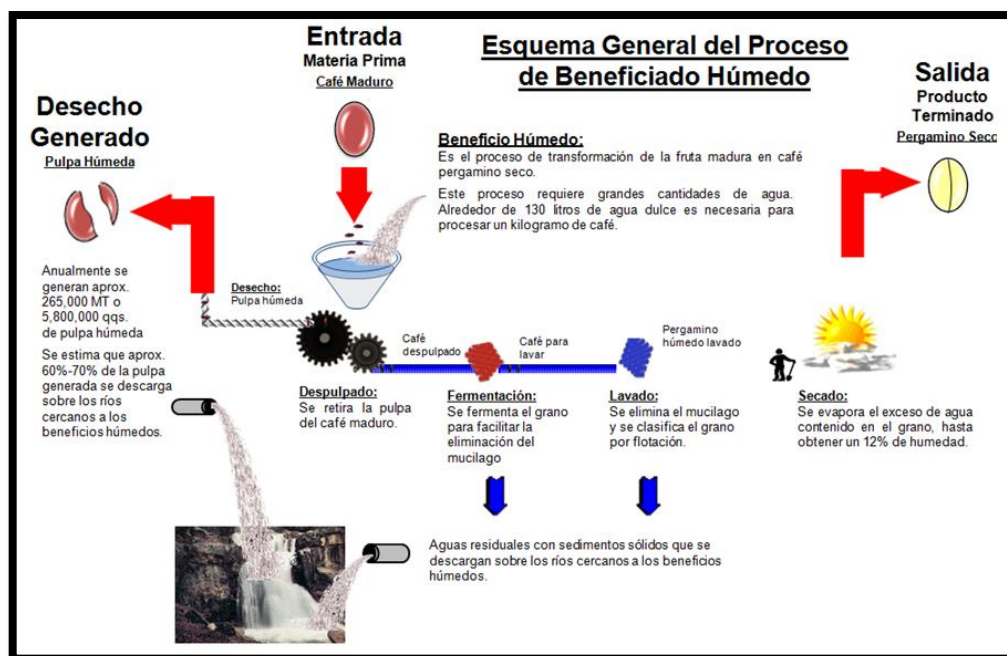
Es un proceso industrial para transformar los frutos del cafeto de su estado uva a café pergamino seco. Es el proceso realizado para obtener cafés lavados provenientes de variedades del *coffea arábica* que se cosechan en estado completo de madurez fisiológica, con el propósito de separar fácilmente la cáscara (despulpe) y remover el mucílago por medio de un lavado con agua, secándolos después para conservarlo y posteriormente quitarles el pergamino y la parte de la película plateada.

Las fases del beneficiado húmedo de café son las siguientes:

- Corte o recolección
- Recepción y clasificación del café maduro

- Despulpado
- Clasificación de café despulpado
- Fermentación
- Lavado
- Clasificación del café lavado
- Secamiento
- Almacenamiento

Figura 14. Generalidades del proceso de beneficiado húmedo de café



Fuente: ARDÓN A. Herbert E. ISO 14001, *impacto en las externalidades de la caficultura guatemalteca*. [www.iso14001guatemala.blogspot.com](http://www.iso14001guatemala.blogspot.com). Consulta: 10 de septiembre de 2014.

### 1.4.2. Proceso

A continuación, en la página 32 se describe el proceso de corte, recepción, despulpado y fermentación del café.

#### **1.4.2.1. Corte y recolección**

Se recolecta únicamente frutos en su punto óptimo de madurez, se acepta no más de un 5 % de defectos (frutos verdes, a medio madurar, sobre maduros, vanos, negros, entre otros). Se considera la primera y más importante clasificación.

Anacafé indica que, entre el cuarto y sexto mes después de la floración el grano de café se endurece, forma la pulpa y alcanza su madurez fisiológica como fruto razón que ha obtenido su máximo crecimiento. Finalmente, el fruto llega a su madurez de corte, como promedio, sobre el octavo mes después de floración.

Durante la fase final de la maduración ocurren transformaciones en el interior de los granos tales como:

- Degradación de la clorofila.
- Síntesis de pigmentos: carotenoides, antocianinas, entre otros.
- Reducción de compuestos fenólicos y consecuente disminución de la astringencia.
- Aumento de los compuestos volátiles tales como: ésteres, aldehídos, cetonas, alcoholes, entre otros; responsables del aroma, característica de los frutos maduros.

Esto significa que solo los frutos que alcanzan en su plena madurez llegan a su punto óptimo de calidad.

Tras la maduración total, los frutos entran en un periodo en el que el anabolismo supera el metabolismo, iniciando así la fase de degradación. En



esta fase intervienen las enzimas con fermentaciones, producciones de alcoholes y ácidos indecibles, destrucción del parénquima, ruptura de la estructura de la pared celular debido a las modificaciones de las proteínas, celulosas, hemicelulosas y ligninas, oscurecimiento de la pulpa debido a oxidaciones de pigmentos y pudrición. Consecuentemente, la calidad de los frutos tiende a degradarse. Las cerezas inmaduras producen un grano descolorido y una bebida áspera y picante.

Por otro lado, “las cerezas muy maduras de color rojo vino producen una bebida afrutada e incluso con sabor a levadura. Las cerezas negras secadas en el árbol producen una infusión con sabor a madera. A medida que progresa la maduración, se produce una acumulación de sacarosa y una reducción de arabinosa. Las cerezas verdes no contienen sacarosa”<sup>4</sup>.

#### **1.4.2.2. Recepción del café**

Se debe recibir solo café cortado el mismo día y no de días anteriores, al momento de pesar el fruto hay que efectuar un muestreo de sacos para verificar la calidad del producto que va a recibir. Es conveniente que al llegar el café al receptor se separen los frutos que pudieran afectar la calidad, tales como: frutos verdes, a medio madurar, sobre maduros, vanos, negros, entre otros; para procesar por separado el fruto en su estado ideal de madurez. Es recomendable clasificar el café maduro en un tanque o canal sifón, para eliminar frutos o materiales indeseables. Se considera la segunda clasificación.

---

<sup>4</sup> WINTGENS, Jean N. *Factores que influyen en la calidad del café*, p. 1-24.

### **1.4.2.3. Despulpado**

Es la fase mecánica del proceso donde el fruto maduro es sometido a la eliminación de la pulpa. Esta operación se efectúa por medio de máquinas despulpadoras que aprovechan la cualidad lubricante del mucílago del fruto, para que, por presión se separen los granos y la pulpa. Al despulpar un quintal de fruto maduro se obtienen aproximadamente 27,22 kilogramos de café pergamino despulpado y 18,14 kilogramos de pulpa.

Se recomienda que el café que se reciba, se despulpe el mismo día, en un período no mayor de cuatro horas, para evitar la fermentación en los costales y fermentaciones disperejas en las pilas. Debe clasificarse el café despulpado por medio de un sifón que mide 3 metros de largo, por 3 metros de ancho y 3 metros de largo, el cual divide el café de primera con el café de segunda.

Existen varios tipos de despulpadores, los más utilizados son:

- Cilindro horizontal pecho de hierro fijo
- Cilindro horizontal pecho de hierro ajustable
- Cilindro horizontal pecho de hule
- Disco
- Cónico vertical

### **1.4.2.4. Fermentación**

La fermentación del café pergamino despulpado se lleva a cabo en tanques o pilas, abiertos bajo techo. Puede efectuarse mediante dos sistemas: en seco, bajo agua o combinando ambos sistemas.

El proceso de fermentación consiste en la degradación del mucílago a una sustancia soluble. Para determinar el punto óptimo de fermentación, se deberá sacar un punto de café de diferentes puntos de la pila y poner en un recipiente con agua, luego se frota con las manos, si da un sonido o se siente áspero al tacto, es la señal de que el café ya tiene una fermentación completa y está listo para ser lavado. También puede determinarse mediante la introducción de una varilla redonda gruesa entre el café, hasta tocar el fondo de la pila; si al sacar la varilla del café queda hecho un orificio con la forma de la varilla, indica que es el momento apropiado de lavar; esto se hace en diferentes partes de la pila.

#### **1.4.2.5. Lavado**

Inmediatamente después que el café alcance su punto exacto de fermentación debe ser lavado, para eliminar los restos de mucílago o miel degradada y los materiales sueltos durante la fermentación. El agua utilizada para despulpar y lavar se convierte en residual (agua-miel). Su naturaleza química está relacionada con la composición físico-química de la pulpa y el mucílago, debido a que estos dos elementos proporcionan partículas y componentes durante el contacto turbulento e intenso con el agua limpia. Así se origina su capacidad contaminante, con el aporte de materia orgánica, fósforo, nitrógeno, carbohidratos, alcoholes, ácidos orgánicos, taninos, cafeína, ácido caféico y ácido clorogénico.

#### **1.4.2.6. Clasificación**

Se realiza al momento de lavar el café, el objetivo es eliminar o separar del café de primera todos los materiales no deseados (pulpa, vanos), que puedan afectar la calidad.

#### **1.4.2.7. Secamiento**

Al momento de terminar de lavar el café su contenido de humedad es alrededor de 55 %, el cual debe bajarse entre 9 y 12 % para almacenar o venderse. El secado puede realizarse al sol en patios, en bandejas y en forma mecánica.

La primera etapa del secamiento, que consiste en la eliminación del agua superficial, debe llevarse a cabo de preferencia en los patios donde bajará la humedad del grano alrededor del 55 % hasta cerca de 45 %.

En la segunda etapa, en la cual se baja el contenido de humedad del 45 hasta alrededor de 20 %, es cuando mejor se pueden emplear las guardiolas y secadoras verticales, pudiendo utilizar temperaturas hasta de 45· C en el aire caliente de la entrada.

El periodo final de secamiento, es decir la etapa en la cual se alcanza el punto de secamiento, debe realizarse de preferencia al sol o bien en la secadora mecánica, pero en este caso con temperaturas constantes de 45 °C.

#### **1.4.2.8. Almacenamiento**

Se debe tener cuidado de que el café no tenga contacto con el piso, formando estibas sobre tarimas de madera, utilizar sacos que no estén rotos ni dañados. No almacenar café en lugares donde se guardan otros productos para evitar su contaminación que deteriora la calidad.

“El café con 9 a 12 % de humedad es un grano que se mantiene latente, no es atacado por hongos y manifiesta todas sus características organolépticas.

Debe almacenarse en un lugar fresco (temperatura media inferior a 20 °C y una humedad relativa del 65 %) ”<sup>5</sup>.

Anacafé, menciona que en los países que procesan por vía húmeda como Guatemala, la recolección es selectiva, es decir que se cosecha solamente el fruto maduro, por lo que es necesario hacerla en dos o tres etapas. Se sigue todo un cuidadoso proceso que se inicia en el tanque de recibo de agua, para hacer una primera clasificación por densidad del café de inferior calidad (natas o flotes). Luego se despulpa y clasifica en proceso continuo o con variados tipos de maquinaria. A continuación, se eliminan el mucílago por medio de la fermentación natural o bien por métodos mecánicos. Finalmente se procede al lavado. La recolección selectiva del café maduro y el cuidadoso proceso de beneficiado producen los llamados cafés suaves lavados que gozan de merecido prestigio en los más refinados mercados europeos, americanos y asiáticos.

### **1.5. Situación ambiental**

La industria del café es de gran importancia para la economía de Guatemala, por lo tanto, es necesario considerar que, a pesar de todos los beneficios que aporta al país, también es una de las actividades que contribuye al deterioro del medio ambiente y en el proceso provoca externalidades significativas que deben ser controladas y monitoreadas responsablemente por las empresas que las generan. En términos generales, debe prevalecer el principio de quien contamina, paga. En el cual detalla que: “Quien genere residuos y desechos le corresponde asumir los costos derivados del manejo integral de los mismos, y en su caso, de la reparación de daños y perjuicios

---

<sup>5</sup> MENCHÚ, J.F. *Manual práctico de beneficiado de café*. Boletín técnico núm. 13.

causados”<sup>6</sup>. Bajo este mismo esquema se hace necesario que le Estado también aplique el principio de precautoriedad “[...] no se necesita la certeza científica ni probar la relación causa efecto; basta con que genere molestia para que las autoridades encargadas tomen las medidas para enfrentar los problemas sociales que generan este tipo de contaminación”<sup>7</sup>.

Dada su importancia económica es necesario apoyar a la industria cafetalera con proyectos que contribuyan con el cumplimiento en cuanto al manejo de desechos, aprovechamiento residual, responsabilidad empresarial para la conservación del medio ambiente y liderazgo ambiental.

Básicamente existen dos externalidades provocadas por la caficultura, las cuales generan impacto ambiental considerable.

La primera se refiere al alto consumo de agua; “preparar el grano, para que este pueda ser servido y consumido se requiere un consumo considerable de agua, específicamente en el proceso de beneficiado húmedo. Se estima que, para servir una taza de café, se supone un gasto previo de unos 140 litros”<sup>8</sup>.

La segunda externalidad se relaciona con dos tipos de desechos que se generan durante el proceso:

- Agua residual o agua miel: está se genera durante el proceso de beneficiado húmedo. Corresponde en cantidad a la misma utilizada durante el proceso de beneficiado húmedo, la cual se devuelve a los

---

<sup>6</sup> Presidencia de la República de Guatemala, 2005. p. 17.

<sup>7</sup> Op. Cit. 18.

<sup>8</sup> ERAZO Parga; CÁRDENAS Romero. *Ecología, impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente*. p. 134.

mismos cuerpos de agua de los cuales es tomada originalmente, con una contaminación considerable de residuos sólidos y materia orgánica.

Las aguas residuales generadas por el proceso de beneficiado húmedo de café generalmente contienen una alta carga orgánica y un pH ácido. En la mayoría de las operaciones se utiliza agua como medio o agente de transporte y clasificación, provocando contaminación al medio ambiente en menor o mayor grado.

- Pulpa: está constituida por el epicarpio y parte del mesocarpio, es decir, es la parte externa del fruto, que cuando está maduro tiene pigmentación roja o amarilla y representa el 40 % de su peso total. Anualmente se generan aproximadamente 265 000 TM (toneladas métricas) de pulpa fresca 5 800 000 quintales de pulpa húmeda. Aunque no existen datos concretos debido a la responsabilidad que implica aceptar la participación en esta práctica, se estima que aproximadamente 60 % - 70 % de la pulpa generada se descarga sobre los ríos cercanos a los beneficios húmedos. Esta es una externalidad generada durante el proceso de beneficiado húmedo.

### **1.5.1. Residuos líquidos**

El uso del agua depende de las operaciones que existen en el beneficio de café.

Al descargar inadecuadamente las aguas residuales del beneficio (sin tratamiento adecuado), se produce una contaminación en los suelos, manto freático o fuentes de agua naturales. Todo esto debido a que las aguas

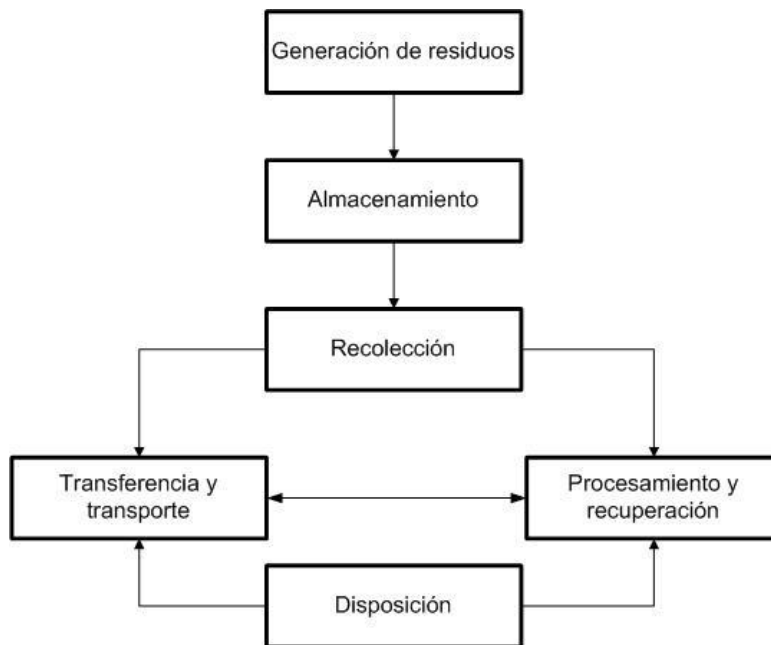
residuales del beneficiado húmedo de café contienen alta carga orgánica, pH ácido, sólidos disueltos, sólidos sedimentables, entre otros.

### 1.5.2. Residuos sólidos

Los residuos sólidos en el beneficiado húmedo de café se generan principalmente en el despulpado, siendo estos la pulpa. En caso que el beneficio cuente con un área de beneficiado seco, se generan residuos sólidos en el trillado llamados cascabillo o cascarilla.

Existen básicamente dos maneras inadecuadas de eliminar la pulpa del proceso: acumulándola en el suelo o desechándola en una fuente de agua.

Figura 15. **Etapas del manejo de residuos sólidos**



Fuente: ARDÓN A. Herbert E. ISO 14001, *impacto en las externalidades de la caficultura guatemalteca*, [www.iso14001guatemala.blogspot.com](http://www.iso14001guatemala.blogspot.com). Consulta: 10 de septiembre de 2014.



### **1.5.3. Emisiones atmosféricas**

La generación de emisiones atmosféricas se da en dos áreas del beneficiado húmedo de café: en el secado mecánico y en la degradación de la pulpa, cuando no es manejada adecuadamente.

En el secado mecánico se utilizan combustibles para el calentamiento del aire de secado (usualmente es diésel, madera, entre otros); esta operación produce gases de combustión los cuales contienen Co, Co<sub>2</sub>, No<sub>2</sub>, So<sub>2</sub>, y partículas de sólidos. Las características de los gases de combustión dependen del tipo de combustible usado y la eficiencia del proceso.

Usualmente, el secado mecánico se realiza en áreas cerradas, existiendo la probabilidad de provocar problemas a la salud de los trabajadores. El impacto al ambiente por la combustión se debe a la generación de gases de efecto invernadero. Regularmente las fincas cafetaleras producen biomasa en el manejo de tejido del café y el manejo de la sombra, la cual es utilizada para la combustión de hornos, este consumo de biomasa depende del tipo y diseño del horno. El uso de la biomasa o combustibles fósiles depende de la disponibilidad de esta, del tipo de horno y de la eficiencia del equipo.

En el caso de la degradación de la pulpa sin un control adecuado, se generan malos olores, y dependiendo de la cantidad de la pulpa se puede generar gas natural por el proceso de descomposición de la materia orgánica.

### **1.6. Manejo de residuos**

Teóricamente, la mejor manera de reducir la generación de residuos es reduciendo la cantidad de materias primas utilizadas o incrementado la

reutilización y recuperación de material residual. Aunque el concepto es simple, llevar a cabo este cambio resulta extremadamente difícil; específicamente en un proceso de transformación como el de beneficiado húmedo de café que resulta aún más complicado, considerando que la materia prima utilizada está directamente relacionada con la cantidad de producto terminado, por lo que la mejor manera de reducir el impacto es el aprovechamiento del material residual generado.

Para el manejo de residuos se debe tener un programa de producción más limpia del café, prevención de la contaminación y gestión de residuos.

#### **1.6.1. Producción más limpia**

Producción más limpia (PmL) es una estrategia preventiva integrada, dirigida a cumplir los objetivos ambientales en el proceso de producción y de prestación de servicios, con el fin de reducir los desperdicios y emisiones en términos de cantidad y toxicidad, así como hacer uso más eficiente de materias primas, agua y energía, lo que conlleva a una reducción de costos. También se ocupa de disminuir el impacto ambiental de los productos mediante diseños amigables al medio ambiente y de acuerdo a los requerimientos del mercado. Mejora las condiciones de trabajo mediante procesos de reingeniería y de seguridad e higiene y promueve una mejor imagen empresarial a los nuevos mercados.

#### **1.6.2. Prevención de la contaminación**

Prevención de la contaminación es la reducción o eliminación de la contaminación desde su punto de origen. Prevención de la contaminación ocurre cuando se usan materias primas, agua, energía, y otros recursos de una

forma más eficiente, cuando se sustituyen sustancias menos peligrosas por las más peligrosas. Cuando se reduce el uso y la producción de sustancias peligrosas, y cuando se mejora la eficiencia de operaciones, se protege la salud pública, se fortalece la economía y se conserva el medio ambiente.

### **1.6.3. Gestión de residuos**

La gestión de residuos corresponde a las diversas actividades que, condicionadas a aspectos técnicos, económicos, legales y administrativos, permiten asegurar un buen manejo de estos, desde su generación hasta su disposición final.

Un buen manejo de residuos es esencial para evitar o reducir el riesgo que tiene un posible contacto entre un contaminante con un determinado receptor.



## **2. SITUACIÓN ACTUAL**

El café es uno de los principales productos de exportación para Guatemala, es una de las principales fuentes de ingresos de divisas, uno de los mayores generadores de empleo y una de las industrias más importantes para el país; aun sobre otros productos de exportación, es uno de los que nos representa y caracteriza al país ante el mundo.

A pesar de su contribución e importancia para la economía guatemalteca, es necesario considerar que, a pesar de todos los beneficios que aporta al país, también es una de las industrias que contribuye al deterioro del medio ambiente.

Se estima que en el proceso de beneficiado húmedo se generan aproximadamente 265 000 TM (toneladas métricas) de pulpa, anualmente, las cuales son descargadas a los cuerpos de agua más cercanos a las plantas de proceso. Este proceso demanda una gran cantidad de agua para los subprocesos de lavado, desmucilaginado y clasificación por flotación, la cual al final del proceso se utiliza como medio para transportar la pulpa generada.

### **2.1. Beneficio húmedo de café**

La incidencia de pérdida de calidad durante el proceso de transformación del café maduro a pergamino en finca La Esmeralda, es relativamente baja debido a que la mayoría de la producción se hace en un beneficio que posee tecnología tradicional y mano de obra calificada.

El beneficiado húmedo es el proceso de transformación utilizado actualmente, es por esto que el café procesado es comercializado en pergamino y vendido a casas comercializadoras quienes se encargan del proceso de beneficiado seco.

La cultura cafetalera y el nivel de tecnificación del personal, no solo en el manejo de las plantaciones en crecimiento y en producción sino en el proceso de transformación (beneficio húmedo) aseguran la calidad del producto muy por encima del promedio nacional. Esto permite individualizar los lotes de café maduro en su recepción, beneficiarlos por separado e incluso separarlos por calidades dentro de la misma empresa, asegurando una calidad sostenida y continua por medio de la producción de lotes homogéneos para la exportación.

## **2.2. Descripción general del área de beneficio**

Se hace una descripción del área de beneficio del café en estudio.

### **2.2.1. Capacidad instalada**

La capacidad productiva del beneficio haciende a 11 363,63 kg/día, tomando como base una demanda total estimada de 204 545,45 Kg de café maduro de producción, cuyo tiempo efectivo de operación es de 150 días (5 meses) por cosecha.

Considerando que la capacidad máxima de proceso diario del beneficio, ocurre en los días cuando existe mayor producción en la temporada, siendo estos a partir de noviembre cuando comienza la cosecha y finaliza en marzo del año siguiente. De esta demanda de proceso se obtiene un resultado aproximado de 45 454,54 Kg de café pergamino para su comercialización.

Tabla VI. **Producción anual de café, finca La Esmeralda**

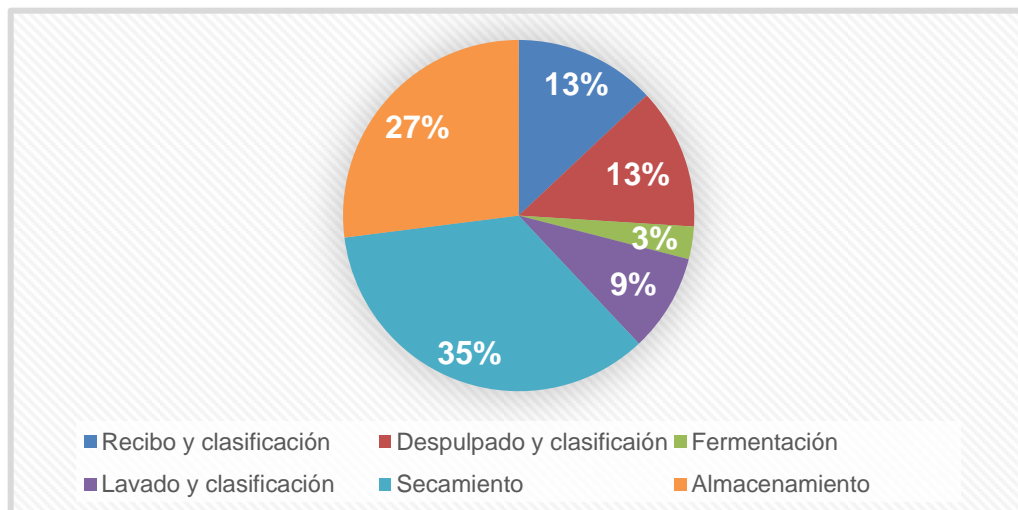
<b>COSECHA</b>	<b>CAFÉ MADURO CANTIDAD (Kg)</b>	<b>CAFÉ PERGAMINO CANTIDAD (Kg)</b>
2009-2010	194 318,18	43 181,81
2010-2011	204 545,45	45 454,54
2011-2012	225 000,00	50 000,00
2012-2013	184 090,90	40 909,09
204.75 Kg. De café maduro = 45.5 Kg de café pergamino 4.5 qq de café maduro = 1 qq café pergamino		

Fuente: elaboración propia, empleando datos de finca La Esmeralda.

### 2.2.2. Personal a cargo

Actualmente, en el área de beneficio húmedo de café se cuenta con personal calificado en el nivel jerárquico ejecutivo y operativo, con el fin de mantener la calidad durante todo el proceso.

Figura 16. **Gráfica porcentaje costo mano de obra**



Fuente: elaboración propia, empleando datos de finca La Esmeralda.

- Identificación
  - Dependencia: Gerencia de Producción
  - Nivel jerárquico: ejecutivo
  - Función general: planear, organizar, controlar y evaluar el desempeño del personal involucrado en el procesamiento del café a través de evaluaciones de la parte operativa
  
  - Funciones y responsabilidades específicas
    - Planeación de la calidad a nivel operativo.
    - Formulación de objetivos y políticas de la calidad.
    - Determinación de las estrategias a implementar.
    - Organizar y planificar el trabajo.
    - Llevar un registro sobre la calidad del producto de la empresa.
    - Revisar periódicamente el trabajo desarrollado.
    - Formular y gestionar presupuestos.
    - Elaborar informe.
    - Auditar las prácticas sobre la calidad.
    - Coordinar y asesorar proyectos para el mejoramiento de la calidad.
    - Desarrollar técnicas de control de calidad.
    - Desarrollar estrategias para la implementación de técnicas de control.
    - Asistir a las capacitaciones que se organicen con fines de mejoramiento.
    - Realizar la distribución de las actividades de las áreas de su dependencia.



- Velar por el mejoramiento de la calidad del producto.
- Dependencia: Departamento de Producción
- Nivel jerárquico: operativo
- Función general: implementar técnicas para mejorar el proceso de producción en beneficio de la empresa y de sus clientes.
- Funciones y responsabilidades específicas
  - Verificar el estado físico en que ingresa la materia prima al beneficio.
  - Observar el estado del café después de ser despulpado.
  - Verificar el tiempo que permanece el café en las pilas de fermentación.
  - Inspeccionar el estado del agua que se utiliza para lavar el café.
  - Revisar que en las bodegas no esté almacenado otros productos o materiales desconocidos.
  - Observar el estado físico del café después de ser trillado.
  - Inspeccionar los medios de transporte.
  - Preparar informes sobre los hallazgos en los procesos.
  - Llevar un control del proceso de producción.
  - Revisar continuamente las condiciones de la maquinaria y equipo para emitir informe sobre su estado.

Tabla VII. **Mano de obra en el beneficio húmedo de café**

Área	Número de personas a cargo
Pesado	1

Continuación de la tabla VII.

Sifón tradicional	1
Pulperos	3
Canal de transporte de pulpa	1
Zaranda clasificadora	1
Pilas de fermento	1
Patios de secado y bodega	2

Fuente: elaboración propia, empleando datos de finca La Esmeralda.

### **2.2.3. Disposición de los residuos**

A continuación se describen los desechos principales del proceso de beneficiado húmedo de café.

- La pulpa del café
- Aguas de despulpado y arrastre de pulpa
- Aguas de lavado del café fermentado

#### **2.2.3.1. Residuos sólidos**

La pulpa del café es el desecho de mayor volumen; aproximadamente representa el 40 % del peso total del fruto; actualmente se recolecta la pulpa en un vertedero a cielo abierto a un costado del beneficio, en promedio se calcula que, por cada 100 quintales de café maduro o cereza, se producirán alrededor de 40 quintales de pulpa.

Actualmente, la pulpa no se somete a ningún tratamiento, después de ser separada del grano queda amontonada en un vertedero a cielo abierto, formando montículos húmedos que generan efluentes líquidos, olores molestos

y sirve como punto de cría de insectos, se utiliza un porcentaje de pulpa para la elaboración de almácigo de café y para la plantación de nuevas plantas en áreas específicas de la finca.

Figura 17. **Vertedero actual de pulpa, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

### **2.2.3.2. Residuos líquidos**

El proceso de beneficiado genera básicamente dos tipos de aguas residuales, la del despulpado y del lavado de la fermentación.

El agua del despulpado contiene relativamente una alta cantidad de sólidos sedimentales, azúcares, materia soluble y en general materia orgánica en abundancia. El agua de lavado de la fermentación contiene gran cantidad de

geles coloidales de las pectinas u otros productos, los cuales son comparativamente sustancias contaminantes de mayor proporción, pero arrastra menos haces fibrosos, que las aguas de despulpado.

El agua que es utilizada, proviene de un nacimiento, la cual se canaliza a través de una presa y es conducida por tuberías hasta el beneficio.

Actualmente, las aguas residuales son descargadas de manera subterránea en el beneficio, las cuales son desechadas directamente al medio ambiente hacia la parte baja de la región, ocasionando contaminación a los efluentes de agua cercanos al beneficio.

Tabla VIII. **Consumo de agua por kilogramo de café en el beneficio húmedo, finca La Esmeralda**

<b>Cosecha</b>	<b>Café pergamino cantidad en (Kg)</b>	<b>Cantidad de agua utilizada (Mt<sup>3</sup>)</b>
2010-2011	204 545,45	13 486,51
2011-2012	225 000,00	14 835,16
2012-2013	184 009,90	12 132,52
3 metros cúbicos por 45.5 Kg. de café pergamino.		

Fuente: elaboración propia, empleando datos de finca La Esmeralda.

### **2.3. Diagramas**

Los instrumentos de registro más utilizados dentro de la técnica del estudio del método son los gráficos y los diagramas.

El registro de los hechos constituye la base sobre la cual se efectúa el análisis y examen del estudio del método, por esto las técnicas para llevar a

cabo tal registro trascienden la escritura tradicional de la información, dado que resulta sumamente complejo considerar todos los detalles constituyentes de un proceso (por más básico que sea) en un párrafo común.

### **2.3.1. Diagrama de flujo del proceso actual**

Este diagrama muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones márgenes de tiempo y materiales a utilizar en el proceso de beneficiado húmedo de café, desde la llegada de la materia prima que para este caso es el fruto del café hasta el almacenamiento del producto terminado. Señalará la entrada de todos los componentes y subconjuntos al conjunto principal.

Este diagrama será, especialmente útil para registrar todas las operaciones y las inspecciones del proceso, además mostrará todos los traslados y retrasos con los que se enfrentará el producto en su recorrido por la planta.

Para la realización de este diagrama se utilizarán símbolos como un círculo pequeño, de aproximadamente 10 mm (o 3/8 pl.) de diámetro, para representar una operación, un cuadro con la misma medida que representa una inspección, una flecha indica transporte, que se define como el movimiento de un lugar a otro, o traslado de un objeto, la letra D mayúscula que indica demora o retraso, el cual ocurre cuando no se permite a una pieza ser procesada inmediatamente en la siguiente estación de trabajo, un triángulo equilátero puesto sobre su vértice que indica almacenamiento, o sea, cuando una pieza se retira y protege contra un traslado no autorizado.

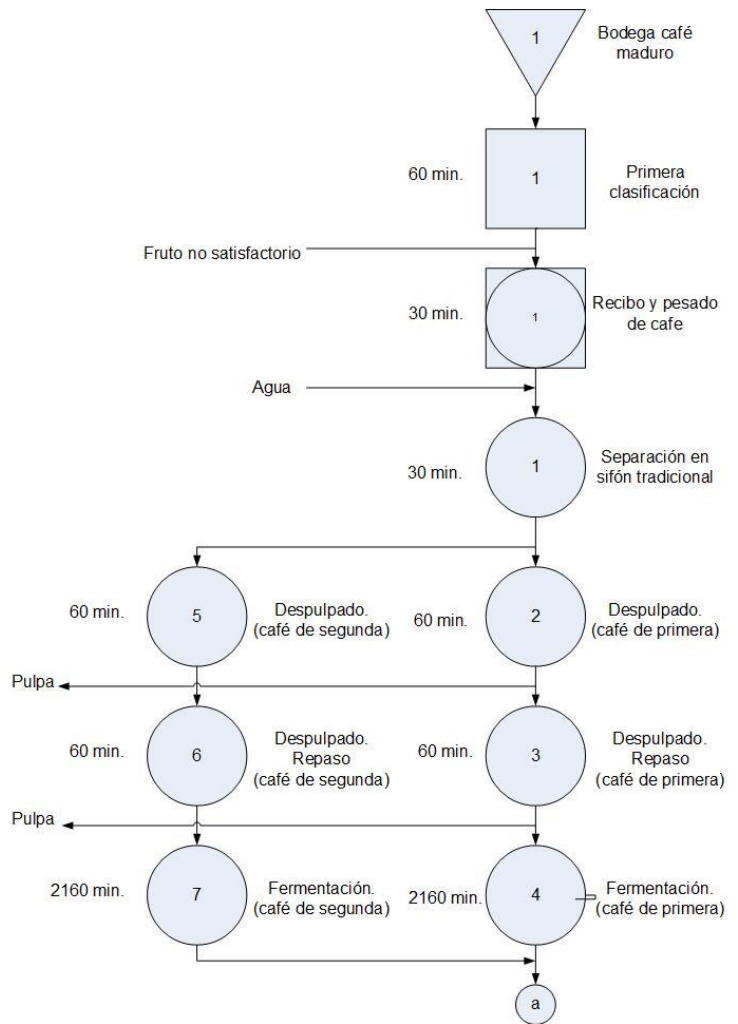
Cuando es necesario mostrar una actividad combinada, por ejemplo, cuando un operario efectúa una operación y una inspección en una estación de trabajo, se utiliza como símbolo un cuadro de 10 mm por lado con un círculo inscrito de este diámetro.

- Operación: medios que se ponen en juego para conseguir un resultado, tipos de actividades o acción que se realizan para obtener un resultado que la empresa sea de su beneficio.
- Inspección: su función es comprobar que no haya ningún inconveniente en el proceso o elaboración del producto, para obtener la calidad deseada.
- Demora: es una tardanza o una espera antes de ejecutar cualquier acción u operación. Su función es hacer esperar.
- Almacenaje: es guardar el producto durante cierto tiempo para mantenerlo en buen estado durante cierto tiempo, el almacenaje va relacionado con la demora
- Transporte: movilizar el material de un lugar a otro, ya sea con carro, transportador o sin ayuda alguna. Su función es moverse.

A continuación, en la página 55 se presenta el diagrama de flujo del proceso actual de la empresa en estudio.

Figura 18. Diagrama de flujo del proceso actual

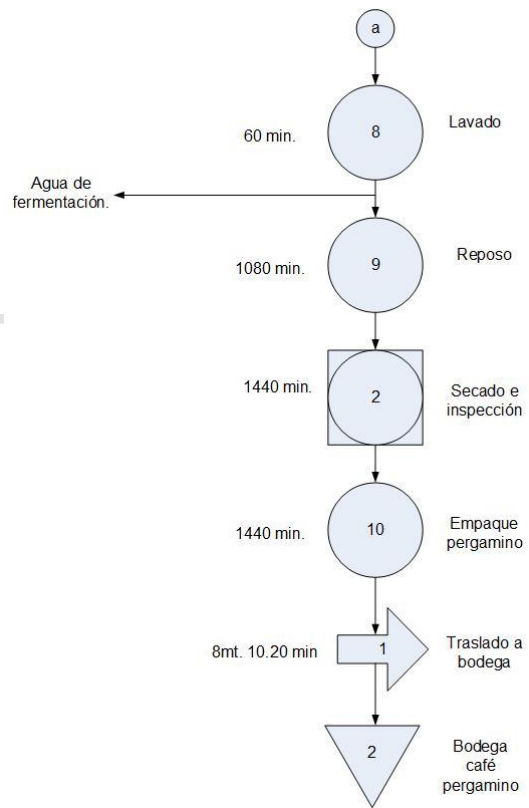
**Área:** beneficio húmedo de café.  
**Planta:** finca La Esmeralda, Acatenango, Chimaltenango.  
**Método:** actual.  
**Asunto:** transformación de café maduro a pergamino.  
**Inicia:** bodega café maduro **Finaliza:** bodega café pergamino  
**Página:** 1 de 2



Continuación de la figura 18.

Área: beneficio húmedo de café.  
 Planta: finca La Esmeralda, Acatenango, Chimaltenango.  
 Método: actual.  
 Asunto: transformación de café maduro a pergamino.  
 Inicia: bodega café maduro                      Finaliza: bodega café pergamino  
 Página: 2 de 2

Resumen				
Actividad	Símbolo	Tiempo (minutos)	Distancia	Total (minutos)
Bodega	▼	0	0	0
Inspección	■	60	0	60
Operación	○	4890	0	4890
Actividad combinada	○	1470	0	1470
Transporte	➡	10.20	8	10.20
<b>TOTAL</b>		<b>6430.20</b>	<b>8</b>	<b>6430.20</b>



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.



### **2.3.2. Diagrama de recorrido**

Es una representación gráfica objetiva de la distribución existente de las áreas a considerar en la planta y en donde se marcan las líneas de flujo que indiquen el movimiento de material, equipo o trabajadores de una actividad a otra.

El trazado de movimientos de materiales y hombres que se ha representado en el diagrama de flujo de proceso se señala sobre plantillas o dibujos de la planta incluyendo maquinas o equipo por medio de líneas o hilos. Cada actividad es identificada y localizada por el símbolo y número correspondiente. La dirección del movimiento se indica colocando flechas de forma que apunten en la dirección de flujo.

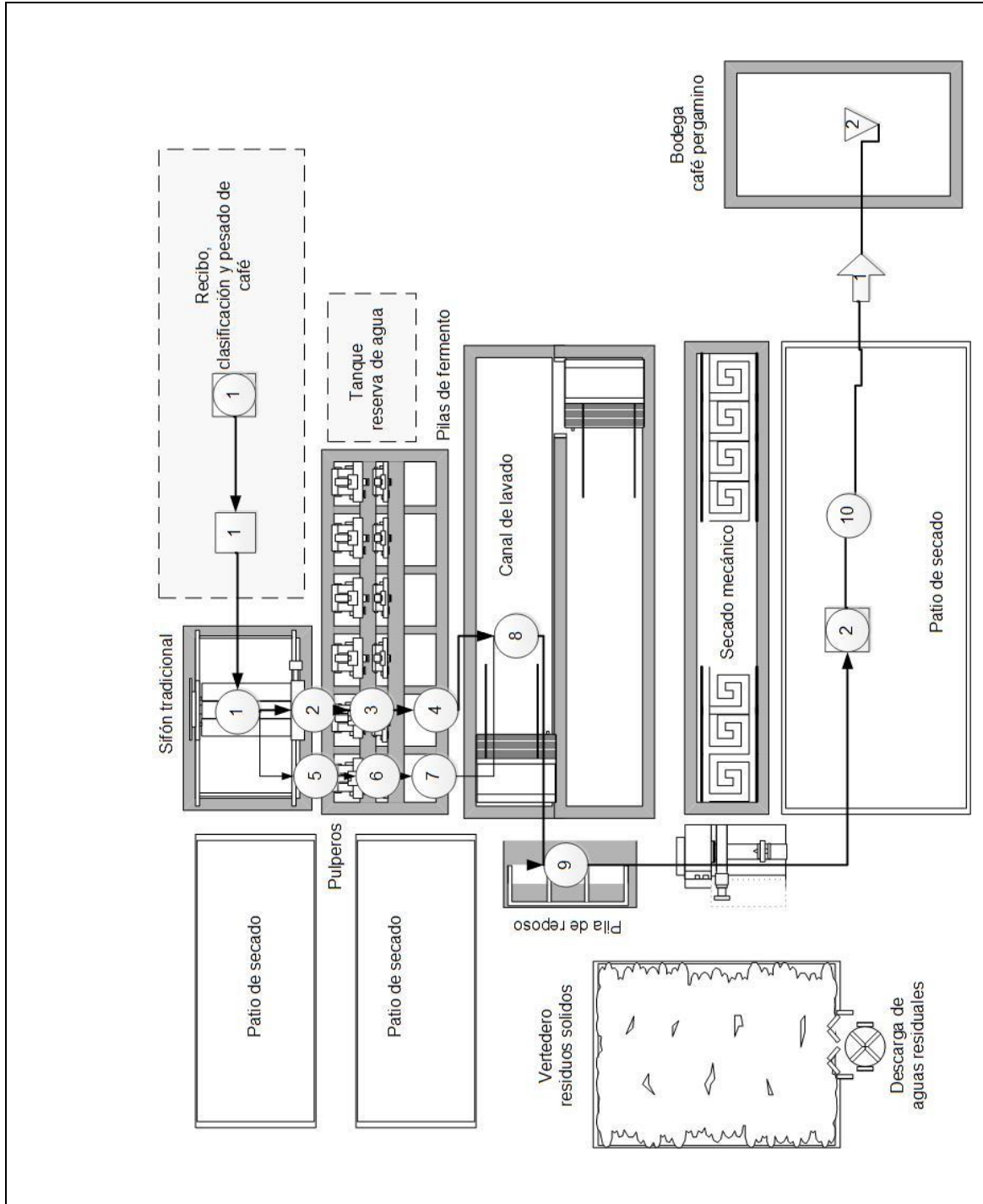
Es un complemento necesario del diagrama de flujo del proceso, cuando el movimiento es un factor importante. Muestra retrocesos, recorridos excesivos y puntos de congestión de tráfico y actúa como guía para una distribución en planta mejorada<sup>9</sup>.

A continuación, en la página 58 se presenta el esquema de distribución de planta, muestra dónde se realizan todas las actividades que aparecen en el diagrama de flujo de proceso. La ruta de los movimientos se señala por medio de líneas, cada actividad es identificada y localizada en el diagrama por el símbolo correspondiente y numerada de acuerdo con el DFP.

---

<sup>9</sup> SALVENDI. *Manual de ingeniería industrial*. p. 424.

Figura 19. Diagrama de recorrido



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

## 2.4. Descripción del equipo

En finca La Esmeralda para llevar a cabo el proceso de beneficiado húmedo de café se cuenta con la maquinaria que se describe a continuación.

### 2.4.1. Maquinaria

- **Despulpadores:** los cuales son de marca RR, la parte principal de estos está constituida por un cilindro de hierro fundido, en el cual va fija una camisa de cobre, con ponchaduras de diversos tipos y tamaños. Cuando el cilindro gira, aprisiona el grano maduro contra una plancha cóncava, conocida como pechero, que posee canales por donde se ven forzados a moverse los granos sueltos.

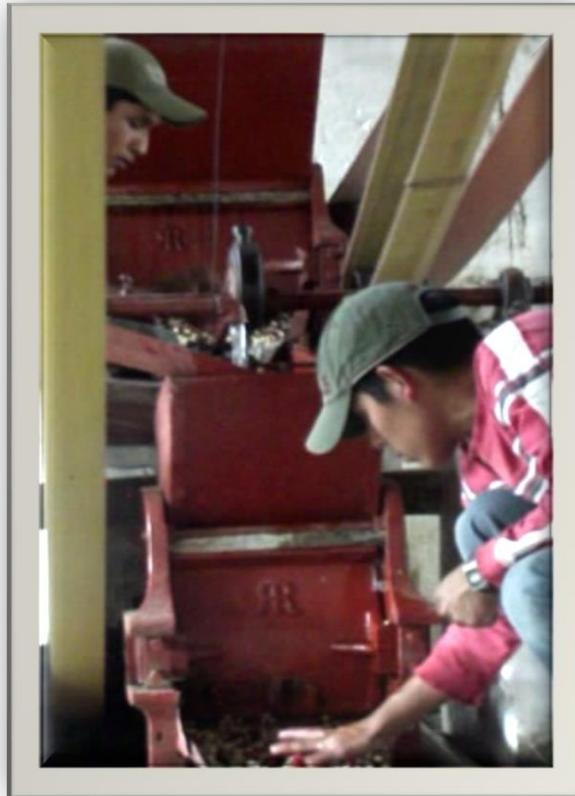
Figura 20. **Pulperos, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

- **Despulpador repasador:** al igual que los pulperos principales son de marca RR. Estos se encuentran instalados después del sistema de clasificación y limpieza del café despulpado. Son de cilindro horizontal y pecho de hierro. Se utilizan más ajustados para recuperar el fruto medio maduro o deteriorado, que no fue despulpado por los despulpadores principales.

Figura 21. **Pulpero repasador, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

- **Zaranda oscilante o clasificadora:** consiste en planchas metálicas perforadas en forma oval, recibe el café en una de sus extremos y oscila en el plano horizontal, desplazando el café de segunda y la cáscara al

otro extremo para que sea descargado en un despulpador de repaso. El grano normal bien despulpado, cae a través de las perforaciones y es conducido a las pilas de fermentación.

Figura 22. **Zaranda oscilante o clasificadora, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

- **Secadora:** este tipo de secadora mecánica es poco utilizada, puesto que un café especial, tiene que ser estrictamente secado al sol, el tipo de secadora con que cuenta finca La Esmeralda es la llamada comúnmente de pila, esta consta esencialmente de un tambor cilíndrico montado sobre un hueco por donde circula aire caliente. El tambor gira alrededor de 2 revoluciones por minuto; un ventilador aspira aire y lo inyecta al calor del fuego directo, utiliza diésel.

Figura 23. **Secadora mecánica, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

- Sifón tradicional: este es un recibidor y clasificador del fruto, consiste en una pirámide invertida, de cuatro lados, con una inclinación de  $45^\circ$  para facilitar el movimiento de la masa del fruto del café.

Debido a la presión que ejerce el peso del agua sobre la masa del café colocada en el fondo del tanque, los frutos más pesados son evacuados hacia el área de maquinaria (despulpadores) mediante un tubo colocado verticalmente, este tiene adaptado en forma horizontal, con su respectivo codo falso como control de bocado, son los que realizan el efecto del sifón. Sobre el tubo horizontal debe de haber 30 centímetros de agua (cabeza hidráulica), para que este tanque funcione sin problemas. La importancia de este sistema es la fácil separación de materia indeseable,

que por su menor peso flotan; tal es el caso del café seco, vano, enfermo o brocado.

Figura 24. **Tanque receptor y sifón tradicional, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

#### **2.4.2. Herramientas**

Las herramientas utilizadas son del tipo manual, diseñadas específicamente para la tarea requerida en el proceso de beneficiado húmedo de café. Estas son para el movimiento de lugar, cantidad y espacio de la materia prima.

Estas herramientas hacen que el trabajo se realice con mayor rapidez, específicamente en la remoción de la escoria flotante en el tanque receptor y sifón, en el lavado de café fermentado, en el secado de café y en el empaque y almacenamiento de café pergamino.

## 2.5. Descripción general del proceso

El proceso de beneficio húmedo del café es utilizado por la alta calidad del grano que se obtiene, aunque tiene como inconveniente el estricto control del proceso y la utilización de altos volúmenes de agua, y por tanto altos volúmenes de residuales líquidos y sólidos.

Método de beneficio húmedo del café se obtiene un café de alta calidad física y de la bebida. Este proceso es fundamental para que el grano presente una buena apariencia y una calidad adecuada para su exportación.

Las principales etapas son la recolección selección, despulpe, secado.

Figura 25. **Etapas principales en el proceso de beneficiado húmedo de café**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

Las actividades ligadas al procesamiento del café que generan afectaciones al medio ambiente, son en síntesis las siguientes:

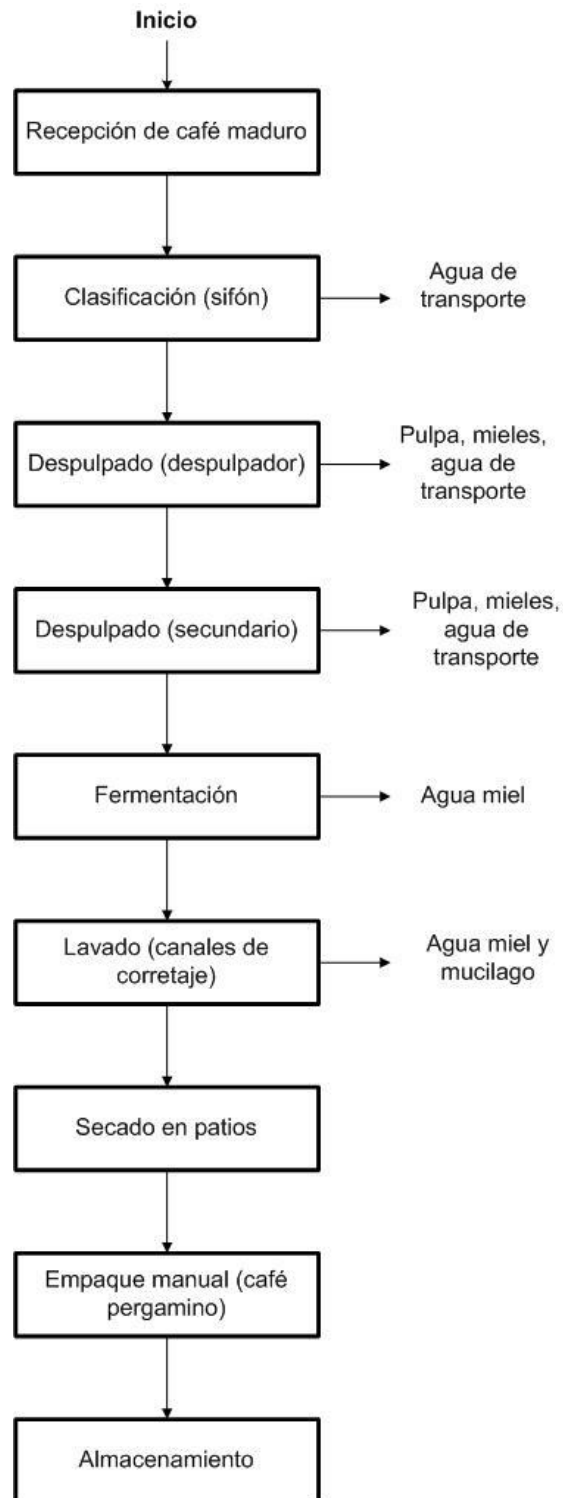


- Se estima el uso de entre 40 y 60 litros de agua para la obtención de 1 Kg de café pergamino seco.
- Tradicionalmente la pulpa del café que resulta del beneficio ha sido depositada a las corrientes de agua, lo que genera un aumento considerable de la demanda bioquímica de oxígeno, aumento de la carga de sólidos totales, incremento en la temperatura del agua, generación de olores y pérdida de la calidad visual. Se trata de una forma de contaminación severa del agua que se da en las épocas de cosecha y que imposibilita su aprovechamiento para acueductos, afecta la fauna acuática y limita los usos recreativos.
- Los residuales sólidos que se generan, están constituido fundamentalmente por la parte del fruto llamada pulpa, contienen cantidades apreciables de lignina, celulosa, hemicelulosas, azúcares, elementos inorgánicos tales como: Na, K, P, entre otros, lo que propicia que la pulpa del café pueda tener diversos usos en dependencia de los fines propuesto en un determinado contexto social.
- Los altos volúmenes de residuales sólidos generados, su uso se limita fundamentalmente a la obtención de una pequeña cantidad de abono orgánico.

### **2.5.1. Diagrama general de bloques y generación de residuos**

El diagrama de bloques presenta los pasos para la recepción y clasificación del café (figura 26).

Figura 26. Diagrama general de bloques y generación de residuos



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

## **2.5.2. Operaciones y generación de residuos del proceso**

A continuación se presenta la descripción de la operación y generación de residuos.

### **2.5.2.1. Área de pesado**

La cantidad de café que se recibe depende de los volúmenes que genera el corte del día conforme avanza la maduración.

El pesaje se efectúa en básculas, utilizando la medida oficial para el corte que es: 100 libras, esto equivale a 45,5 Kg, el área de pesado es donde se recibe el café del día.

En esta área es necesario que, por lo menos 2 personas permanezcan en la misma.

**Figura 27. Recepción y peso del fruto, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

### 2.5.2.2. Sifón tradicional

Este tanque tipo sifón de aproximadamente 4 metros por lado, requerido para clasificar y evacuar el fruto al área de pulperos, necesita grandes volúmenes de agua, entre 30, 60, 90 hasta 120 metros cúbicos de agua, dependiendo de las entradas del café del día. Se estima que utiliza alrededor de 2 000 a 3 000 litros de agua para procesar 45,5 Kilogramos de café pergamino seco y al menos 2 personas que se encargan de supervisar que los flotes pasen primero y luego el café de mejor calidad.

Tabla IX. **Consumo de agua por kilogramo de café, sifón tradicional, finca La Esmeralda**

<b>Cosecha</b>	<b>Café pergamino cantidad en kg</b>	<b>Cantidad de agua utilizada (mt<sup>3</sup>)</b>
2010-2011	45 454,54	2 997,00
2011-2012	50 000,00	3 296,70
2012-2013	40 909,09	2 697,30
3 metros cúbicos por 45,5 kg de café pergamino		

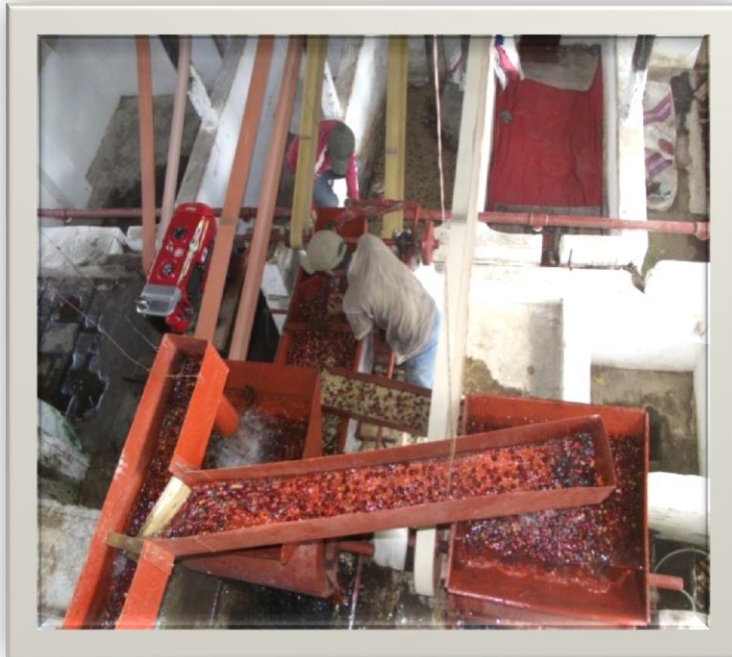
Fuente: elaboración propia, empleando datos de finca La Esmeralda.

### 2.5.2.3. Pulperos

Es la fase mecánica del proceso, el fruto es transportado a estos a través de canales con una corriente de agua, y es sometido a la eliminación de la pulpa. Esta operación se realiza aprovechando la cualidad lubricante del mucilago del café, para que, por presión se suelten los granos.

Son necesarias dos personas como mínimo para verificar que los granos pasen con normalidad.

Figura 28. **Ingreso del fruto a pulperos, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda

#### **2.5.2.4. Canal de transporte de pulpa**

La pulpa representa aproximadamente el 40 % en peso del fruto del café.

En el beneficio la pulpa se traslada, a través de un canal, hacia el vertedero utilizando grandes volúmenes de agua, generando contaminación por el desprendimiento y concentración de la materia orgánica.

Es necesario, por lo menos una persona para que el proceso corra con normalidad.

Tabla X. **Residuos de pulpa por cosecha, finca La Esmeralda**

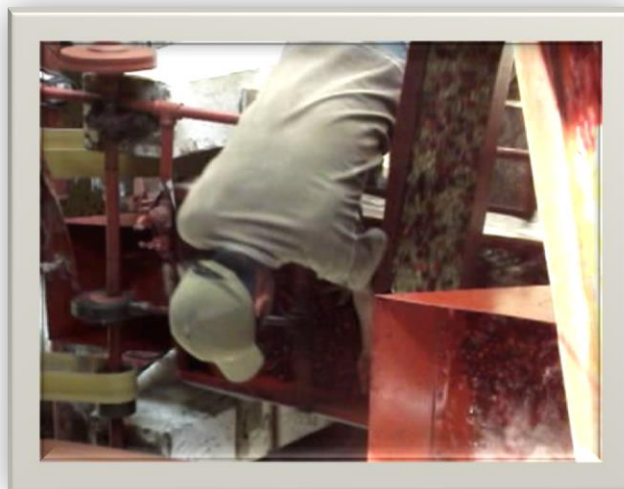
<b>Cosecha</b>	<b>Café Maduro Cantidad kg.</b>	<b>Pulpa Cantidad kg.</b>
2010-2011	204 545,45	81 818,18
2011-2012	225 000,00	90 000,00
2012-2013	184 090,90	73 636,36
El 40% del peso equivale a la cantidad de residuos de pulpa		

Fuente: elaboración propia, empleando datos de finca La Esmeralda.

### **2.5.2.5. Zaranda clasificadora**

Las características que distinguen el café procesado por la vía húmeda son las diversas fases de clasificación y selección. El grano despulpado se clasifica por tamaño. Esto con el fin de separar frutos enfermos o deformados, pulpas y uniformizar el tamaño del grano.

Figura 29. **Ingreso del fruto a Zaranda clasificadora, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

Por el consumo de agua es necesario que una persona como mínimo supervise la operación, para no tener problemas debido a las perforaciones de la lámina.

#### **2.5.2.6. Pulpero repasador**

Se usa ajustado para recuperar el fruto medio maduro o deteriorado que no fue bien despulpado; aquí hay una pequeña parte de grano de primera y la mayor parte es de segunda para separarse en el lavado.

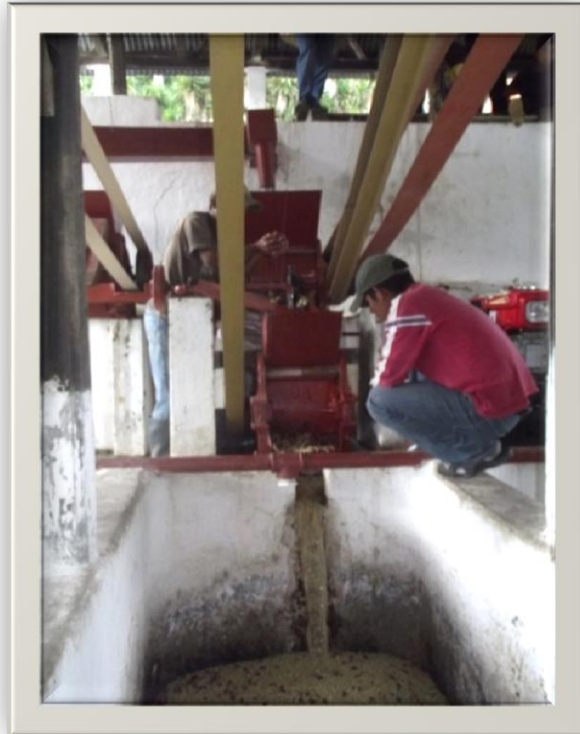
Este café debe ser fermentado por aparte, bajo condiciones diferentes para mejorar su calidad.

#### **2.5.2.7. Pilas de fermento**

Existen seis pilas fermentadoras, el tiempo de fermento depende de las condiciones climáticas de la región. El espesor del café no debe de pasar de 1 metro de altura y el desnivel del piso tiene que ser de 6 % de atrás hacia delante y de las paredes hacia el drenaje que están en el centro de cada pila. Son de forma rectangular, con todas las esquinas redondeadas. El canal de drenaje es de tubo metálico con plancha de metal con aberturas alargadas corridas y movibles.

Estas pilas tienen salida para el café pergamino fermentado y otra para las aguas mieles. Cada una con su compuerta interna de madera y tapón para las aguas mieles en su parte externa y con canales de conducción separados para facilidad de trabajo, estos canales están contruidos de ladrillo y concreto.

Figura 30. **Ingreso del grano despulpado a pilas de fermento, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

#### **2.5.2.8. Canal de correteo para lavado**

Consiste en un canal de 0,60 metros de ancho con una profundidad media de 0,50 metros y una longitud de 12 metros. El piso con diferentes niveles, los cuales en el trayecto del canal tienen una inclinación del 1 %.

Su uso consiste en alimentarlo con café en un punto de lavado al principio del canal en que se ha instalado previamente, y a distintos intervalos, por lo menos tres tabiques hechos con regla de madera, cuya altura se gradúa,



agregando o quitando las mismas (el primer tabique se coloca a la mitad, el segundo a los dos tercios y el último al final), conforme se van llenando.

Este café es removido con palas y paletas de madera, con cierto flujo de agua para eliminar paulatinamente los residuos de miel, además, por arrastre de agua los materiales más livianos, los cuales se van acumulando conforme avanza el trabajo.

Figura 31. **Canal de correteo, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

En la forma más simple de usar el correteo puede obtenerse: una primera clase de pergamino, una segunda o punta de correteo y natas; o sea, el material más liviano y flotante. En este sistema, el pergamino es removido con palas y paletas de madera a lo largo de todo el canal, para separar la miel del grano y hacer flotar los materiales livianos.

En esta etapa la persona que cumple funciones en las pilas de fermentación, es también la encargada de que este paso se lleve a cabo con normalidad.

#### **2.5.2.9. Patios de secado**

El secamiento al sol en patios es el método clásico que se emplea, sobre todo para secamiento del café de calidad. Debido a que es un proceso de secado lento y natural, proporcionando al grano una buena apariencia física y manteniendo la calidad de la bebida.

Figura 32. **Patio de secado, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

La práctica corriente se reduce a extender el café recién lavado en capas delgadas inicialmente y cada vez de más espesor conforme avanza el secamiento.

Se revuelve constantemente para acelerar y emparejar el grado de secamiento, y cuando llega la lluvia se le recoge en casetas apropiadas.

#### **2.5.2.10. Bodega**

El almacenamiento de granos constituye una de las labores primordiales para la conservación de los mismos.

El café pergamino se almacena en sacos de yute, formando estibas.

Figura 33. **Almacenamiento de café, finca La Esmeralda**



Fuente: finca La Esmeralda.

El piso de esta bodega es de madera, sirve para proteger de la humedad del suelo; con una capacidad de almacenamiento de 31 850 kilogramos de café pergamino y una humedad entre el 10 y 12 %.



### **3. PROPUESTA PARA DESARROLLAR LOS LINEAMIENTOS**

El sector cafetalero ha sido uno de los principales impulsores del desarrollo económico de la región de Acatenango, Chimaltenango, convirtiéndose en un factor clave para el fortalecimiento de su economía, pero que a su vez trae consigo una problemática ambiental por la mala disposición y tratamiento final de los residuos generados por esta industria, por esta razón se propone el desarrollo de los lineamientos necesarios para el manejo eficiente de los residuos generados en el proceso de beneficiado húmedo de café; con el objetivo de proporcionar una herramienta que ayude a mejorar la competitividad y desempeño ambiental de la empresa en estudio, cabe mencionar que el beneficio estudiado, está dentro de la categoría de beneficio húmedo tradicional, semitecnificado, sumando a esto la denominación de origen que posee la región de Acatenango; por lo tanto se considera que los lineamientos propuestos pueden ser aplicados tanto en beneficios pequeños de esta industria, como también en grandes centrales.

En la planificación de la reconversión de beneficios húmedos resaltan características o condicionantes que deben satisfacerse y puedan ser adaptables a todas las exigencias de campo. Estas son: la innovación de la tecnología de proceso y de tipo legislativo sobre los niveles de contaminación.

Al analizar los elementos de infraestructura en la construcción o reconversión de un beneficio, se deben resolver necesidades y requerimientos de ejecución, tales como:

- Factibilidad técnico-económica
- Acceso
- Agua disponible
- Topografía
- Energía

El desarrollo de la propuesta tiene como finalidad identificar las necesidades, establecer metas, recursos y acciones prioritarias para el manejo eficiente de los residuos generados en esta actividad, además de estar dirigida a todas las personas relacionadas con la actividad de beneficiado húmedo de café, principalmente a gerentes, propietarios y encargados de beneficio, así también a profesionales, docentes y estudiantes que tengan relación con este sector productivo.

### **3.1. Diagramas de proceso propuestos**



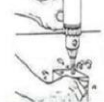

















Para el desarrollo de los lineamientos se hace la propuesta para los diagramas de flujo y recorrido del proceso en el proceso de beneficio húmedo de café.

“El diagrama de flujo es una representación gráfica de un proceso. Cada paso es representado por un símbolo que contiene una breve descripción de la etapa de proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo del proceso, mientras que el diagrama de recorrido representa la distribución de zonas y edificios, en la que se indica la localización de todas las actividades registradas en el diagrama de flujo del proceso”<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. *Administración de producción y operaciones*. p. 137.

Figura 34. Ejemplos de aplicación de simbología, diagrama de flujo de proceso

ACTIVIDAD	EJEMPLO		
OPERACIÓN 	 CLAVAR	 TALADRAR	 DIGITAR TECLAS
TRANSPORTE 	 LLEVAR MATERIALES EN CARRETILLA	 ELEVAR MATERIALES CON POLEA	 LLEVAR PAPELES EN LA MANO
INSPECCIÓN 	 EXAMINAR CALIDAD Y CALIDAD	 LEER UN MANÓMETRO	 EXAMINAR UN IMPRESO
DEMORA 	 MATERIAL ESPERANDO SER UTILIZADOS	 EN ESPERA DE UN ASCENSOR	 DOCUMENTOS PARA ARCHIVARSE
ALMACENAMIENTO 	 MATERIAS PRIMAS	 PRODUCTO TERMINADO	 DOCUMENTOS EN CAJA FUERTE

Fuente: NIEBEL, Benjamín. *Ingeniería industrial; métodos, estándares y diseño del trabajo*, p. 31.

La elaboración del diagrama de recorrido, requiere que en el análisis se identifique cada actividad por símbolos y números que correspondan a los que aparecen en el diagrama de flujo de proceso. Se pueden hacer dos tipos de análisis:

- El primero: de seguimiento al hombre, donde se analizan los movimientos y las actividades de la persona que efectúa la operación.

- El segundo: de seguimiento a la pieza, el cual analiza las mecanizaciones, los movimientos y las transformaciones que sufre la materia prima. Su objetivo es determinar y después, eliminar o disminuir:
  - Los retrocesos
  - Los desplazamientos
  - Los puntos de acumulación de tránsito

El diagrama de recorrido es un valioso complemento del diagrama de curso de proceso, dado que en él se puede trazar el recorrido que siguen las operaciones de un determinado proceso productivo y de esta forma encontrar las áreas de posible congestionamiento de tránsito. De esta manera se facilita una mejor distribución en planta.

El diagrama de flujo ofrece una descripción visual de las actividades implicadas en un proceso mostrando la relación secuencial entre ellas, facilitando la rápida comprensión de cada actividad y su relación con las demás, el flujo de la información y los materiales, las ramas en el proceso, la existencia de bucles repetitivos, el número de pasos del proceso, las operaciones interdepartamentales y facilita también la selección de indicadores de proceso.

Los beneficios de la utilización del diagrama de flujo del proceso son los siguientes:

- Facilita la obtención de una visión transparente del proceso, mejorando su comprensión. El conjunto de actividades, relaciones e incidencias de un proceso confuso. La diagramación hace posible centrarse en aspectos específicos, apreciando las interrelaciones que forman parte



del proceso, así como las que se dan con otros procesos y subprocesos.

- Permiten definir los límites de un proceso. A veces estos límites no son tan evidentes, no estando definidos los distintos proveedores y clientes (internos y externos) involucrados.
- Facilita la identificación de los clientes, es más sencillo determinar sus necesidades y ajustar el proceso hacia la satisfacción de sus necesidades y expectativas.
- Estimula el pensamiento analítico en el momento de estudiar un proceso, haciendo más factible generar alternativas útiles.
- Proporciona un método de comunicación más eficaz, al introducir un lenguaje común, si bien es cierto que para ello se hace preciso la capacitación de aquellas personas que entrarán en contacto con la diagramación.
- Ayuda a establecer el valor agregado de cada una de las actividades que componen el proceso.
- Igualmente, constituye una excelente referencia para establecer mecanismos de control y medición de los procesos, así como de los objetivos concretos para las distintas operaciones llevadas a cabo.
- Facilita el estudio y aplicación de acciones que redunden en la mejora de las variables tiempo y costes de actividad e incidir, por consiguiente, en la mejora de la eficacia y la eficiencia.

- Constituye el punto de comienzo indispensable para acciones de mejora o reingeniería<sup>11</sup>.

### **3.1.1. Diagrama de flujo del proceso**

En la planificación resaltan características o condicionantes que deben satisfacerse y puedan ser adaptables a todas las exigencias de campo. Esta es la innovación de la tecnología de proceso y de tipo legislativo sobre los niveles de contaminación. Al analizar los elementos de infraestructura en la reconversión de un beneficio, se hay que resolver necesidades y requerimientos de ejecución, tales como:

- Factibilidad técnico-económica
- Acceso
- Agua disponible
- Topografía
- Energía

Descripción del método propuesto para el proceso de beneficiado húmedo de café:

Tomando en cuenta los elementos descritos anteriormente principalmente la factibilidad técnico-económica, se decide proponer mejoras en la planeación de las distintas actividades del proceso, tomando en cuenta que el factor económico es limitante para realizar planes de transformación y reconversión de las instalaciones, y demostrar que estas alternativas pueden ser una opción más rentable.

---

<sup>11</sup> GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. *Administración de producción y operaciones*. p.137-140.

- Área de pesado y primera clasificación: la primera clasificación (diagrama de flujo del proceso actual, primera actividad) no se realizará en las instalaciones del beneficio, la persona encargada del corte de café maduro tendrá que verificar en el campo la calidad del fruto antes de ser ingresada al beneficio para su transformación, con lo cual se espera que esta actividad pueda ser eliminada y reducir el tiempo del proceso total (45 minutos menos en el proceso de beneficio húmedo).

Al igual que en el proceso actual, el pesaje se efectuará en básculas, Utilizando la medida oficial para el corte que es: 100 libras que equivalen a 45,5 Kg y será necesario en esta área 2 personas para realizar la actividad.

- Sifón tradicional: por la infraestructura ya instalada y el tipo de tanque sifón con el que se cuenta, que es de 4 metros por lado, no se puede proponer algún tipo de plan de mejora en la reconversión o transformación de este, ya que esto representaría una modificación física y económica grande en la infraestructura del beneficio, por lo tanto, el tiempo y los recursos en esta actividad resulta imposible modificarlos de alguna manera. Se estima que utilizan alrededor de 2 000 a 3 000 litros de agua para procesar 45,5 kilogramos de café y 2 personas encargadas de supervisar los flotes del sifón.
- Pulperos: como se mencionó en el capítulo 2, es la fase mecánica del proceso, el fruto es transportado a estos a través de canales con una corriente de agua y es sometido a la eliminación de la pulpa.

Se observó que estas máquinas no reciben el mantenimiento adecuado o no reciben ningún tipo de mantenimiento, por lo que se espera que al

establecer e implementar un programa de mantenimiento preventivo como correctivo, incrementar la eficiencia de estas y reducir el tiempo del proceso (10 minutos menos en el proceso de beneficio húmedo).

Se estima necesario dos personas para verificar que los granos pasen con normalidad y realizar el mantenimiento respectivo.

- Fermentación (beneficiado enzimático o de fermentación rápida): existen seis pilas fermentadoras, el tiempo de fermento depende de las condiciones climáticas de la región, ya que la temperatura incide directamente sobre el tiempo de esta actividad.

La composición química del mucílago es 33 % de materias pépticas totales, 30 % de azúcares reductores, 20 % de azúcares no reductores y 17 % de celulosas, cenizas y otros componentes.

Se espera que, al implementar un sistema de clasificación en el área de corte, ingresando al beneficio frutos, en su mayoría maduros, con una mayor cantidad de pulpa, utilizando un sistema de recirculación de agua en el proceso y aplicando enzimas que favorezcan el proceso de fermentación, reducir significativamente el tiempo de esta actividad en el proceso.

El método de beneficio húmedo mediante la utilización de encimas involucra todas las etapas del proceso del beneficio por la vía húmeda con una significativa reducción en el tiempo de fermentación.

Figura 35. **Diagrama de bloques beneficiado enzimático (fermentación rápida)**



Fuente: elaboración propia empleando, Microsoft Visio 2010.

La fermentación enzimática se realiza usando enzimas altamente concentradas que aceleran el proceso de fermentación. Las enzimas son moléculas de proteínas que tienen la capacidad de facilitar y acelerar las reacciones químicas que tienen lugar en los tejidos vivos, disminuyendo

el nivel de la energía de activación propia de la reacción. Se entiende por "energía de activación" al valor de la energía que es necesario aplicar (en forma de calor, electricidad o radiación) para que dos moléculas determinadas colisionen y se produzca una reacción química entre ellas.

El mucílago que recubre los granos de café está compuesto, principalmente de pectina, la cual con el tratamiento enzimático puede ser degradada rápidamente, permitiendo acortar los períodos de fermentación, evitando la formación de aguas mieles y facilitando el lavado.

Se emplea en la fermentación del café, enzimas pectinolíticas (pectinasas), cuyos sustratos naturales son sustancias pépticas.

“Se realizaron ensayos empleando una enzima pectolítica. Conteniendo poligalacturonasa, pectin esterasa y pectinasa. La pectinasa está desarrollada especialmente para el desmucilaginado de café. La preparación del producto enzimático consiste en disolver en un recipiente con agua (frasco, botella o balde), la dosis adecuada, y adicionarlo a la masa de café despulpado”<sup>12</sup>.

La dosis recomendada por del producto enzimático se describen a continuación<sup>13</sup>.

- 1 cm<sup>3</sup> de producto enzimático disuelto en medio dm<sup>3</sup> de agua para 10 kilogramos de café cereza. 100 cm<sup>3</sup> de producto enzimático para 1 000 kilogramos de café cereza (22 quintales).

---

<sup>12</sup> Cofenac. *Influencia de métodos sobre la calidad organoléptica del café*, p. 7.

<sup>13</sup> *Ibíd.* p. 8.

- 1 dm<sup>3</sup> de producto enzimático para 220 quintales de café cereza.

De este ensayo se pudo determinar que el uso de las enzimas aceleradoras de la fermentación, no afecta las características físicas y sensoriales del café. El uso de enzimas, reduce el tiempo de fermentación, en periodos de 12 a 36 horas, incluso el tiempo de fermentación del café puede variar entre 20 a 30 minutos, según la dosis del producto enzimático y la zona de cultivo.

- Lavado y reposo: actualmente se cuenta con un canal de 0,60 metros de ancho con una profundidad media de 0,50 metros y una longitud de 12 metros. El piso con diferentes niveles, los cuales en el trayecto del canal tienen una inclinación del 1 %.

Se espera que con la implementación de métodos mecánicos en el lavado del fruto que se propondrán más adelante en este capítulo, reducir el tiempo de esta actividad (10 minutos menos en promedio en el proceso de beneficiado húmedo).

En lo referente al lavado, como es un producto con denominación de origen, el tiempo de reposo establecido es de, por lo menos 18 horas o 1 080 minutos.

- Secado: el café acatenengo es un producto con denominación de origen, uno de los requerimientos mínimos para esta actividad es que el secamiento del fruto sea estrictamente al sol, esto proporciona al grano de café una buena apariencia física y mantiene la calidad de la bebida. Depende directamente de las condiciones climáticas de la región y de las

normas establecidas para la protección de la calidad del fruto, las cuales indican que el grano tiene que ser secado, por lo menos 24 horas o 1 440 minutos en patios especiales para esto.

Se presenta a continuación el diagrama de flujo propuesto para el proceso de transformación de café maduro a pergamino, el cual para su realización se utilizaron los siguientes símbolos:

Tabla XI. **Símbolos utilizados en la realización de diagrama de flujo del proceso**

SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
	OPERACIÓN	Indica las principales fases del proceso. Agrega, modifica, montaje, etc.
	INSPECCIÓN	Verifica la cantidad y/o calidad. En general no agrega valor.
	TRANSPORTE	Indica el movimiento de materiales. Traslado de un lugar a otro.
	COMBINADA	Indica varias actividades simultáneas.
	ALMACENAMIENTO	Indica el depósito de un objeto bajo vigilancia en un almacén.

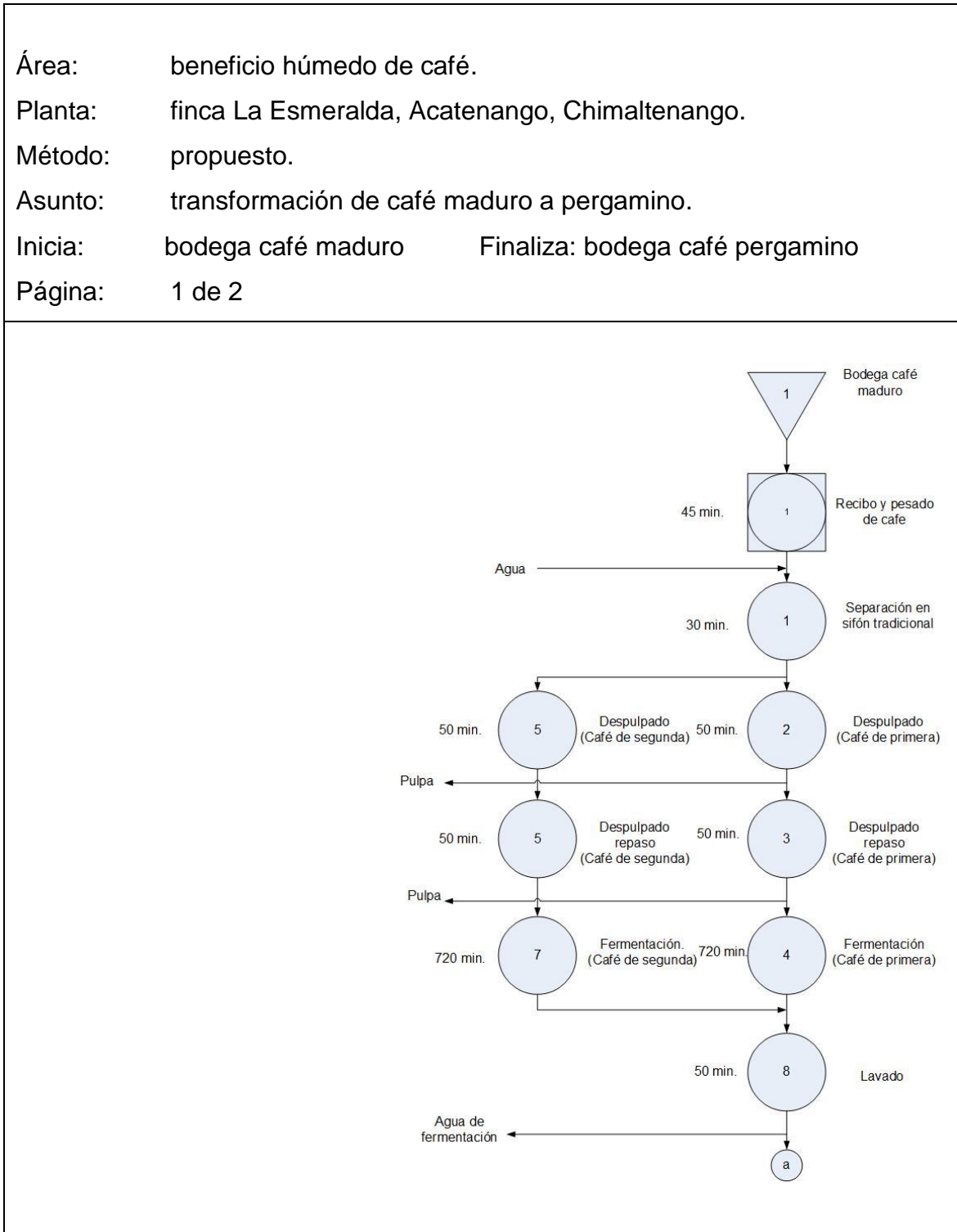
Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

No existe una simbología convencional totalmente aceptada que satisfaga todas las necesidades, sin embargo existen grupos de símbolos comúnmente aceptados dentro de las organizaciones, establecidos por normas internacionales como lo son:

- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American National Standard Institute (ANSI)
- International Organization for Standardization (ISO)








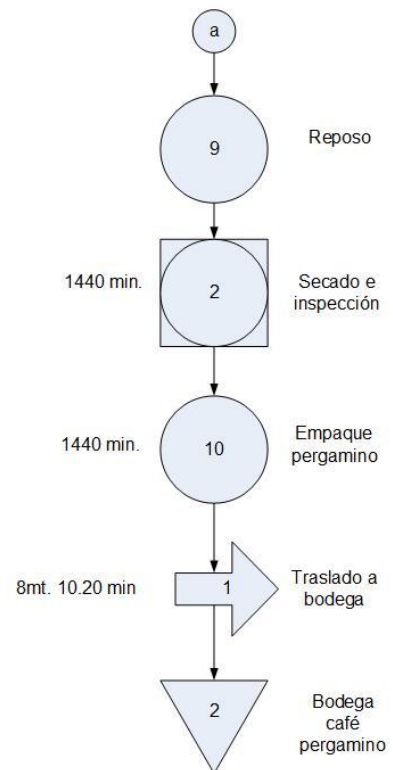
Figura 36. Diagrama de flujo propuesto



Continuación de la figura 36.

Área: beneficio húmedo de café.  
 Planta: finca La Esmeralda, Acatenango, Chimaltenango.  
 Método: propuesto.  
 Asunto: transformación de café maduro a pergamino.  
 Inicia: bodega café maduro      Finaliza: bodega café pergamino  
 Página: 2 de 2

Resumen				
Actividad	Símbolo	Tiempo (minutos)	Distancia	Total (minutos)
Bodega		0	0	0
Inspección		0	0	0
Operación		2340	0	2340
Actividad combinada		1470	0	1470
Transporte		10.20	8	10.20
<b>TOTAL</b>		<b>3820.20</b>	<b>8</b>	<b>3820.20</b>



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

### 3.1.2. Diagrama de recorrido

Como se mencionó representa en forma gráfica la secuencia que siguen las operaciones del proceso y el recorrido de los materiales. Muestra las unidades administrativas (procedimiento general) y los puestos que intervienen (procedimiento detallado) para cada operación descrita, y puede indicar, además, el equipo que se utilice en cada caso.

El diagrama incluye información para el diseño y especificación de equipos, además servirá de guía para desarrollar futuros diagramas de Tubería e Instrumentación.

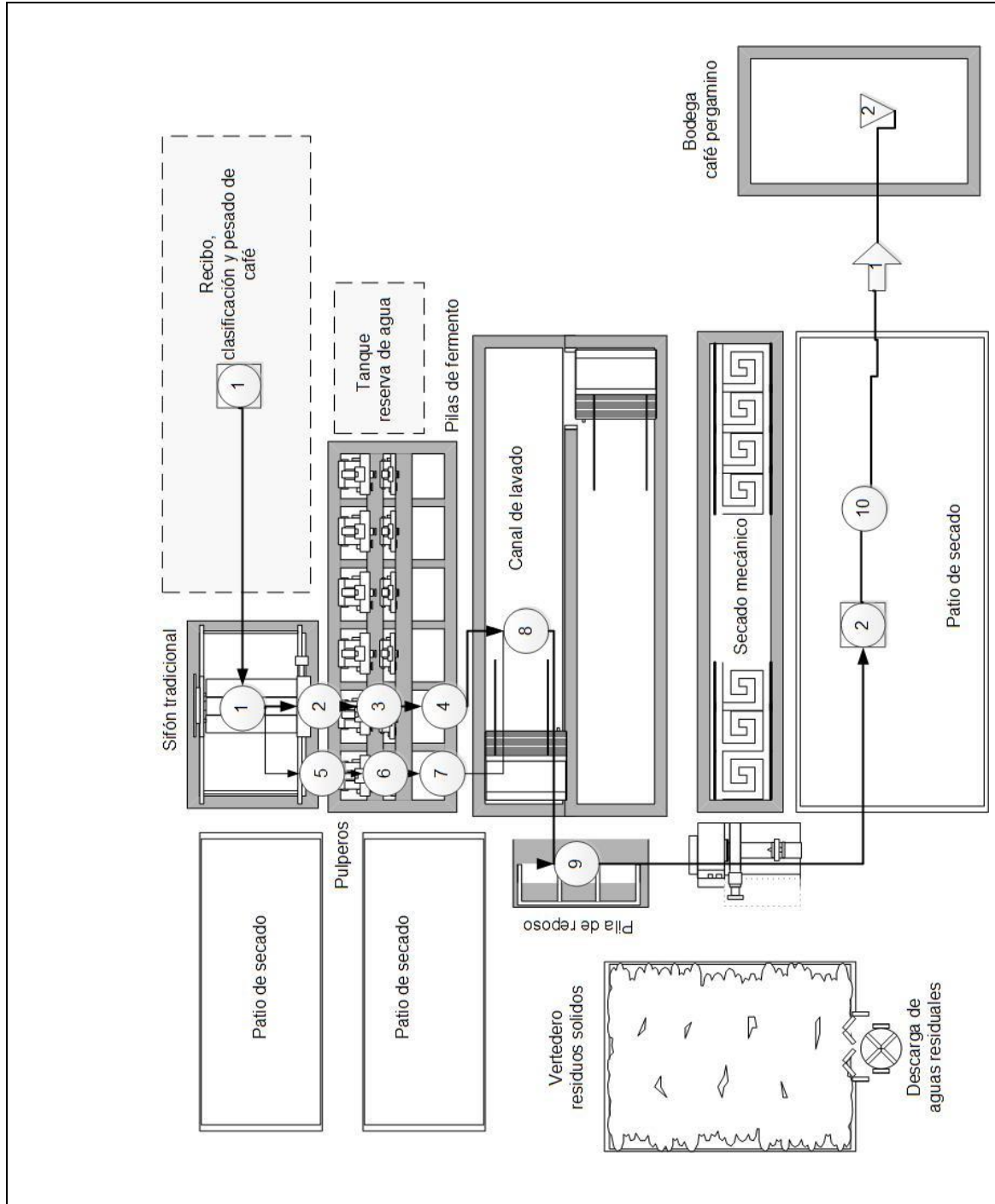
“En función de los lineamientos con que cuenta la organización, deberá definir los símbolos que va a utilizar para el desarrollo de los métodos y procedimientos, establecidos por normas internacionales, como son la ISO 10628 y la British Standard BS 153. Las normas de ingeniería reglamentan la fabricación, inspección, pruebas, embarque, procedimientos de reparación y mantenimiento de los diferentes equipos utilizados normalmente en plantas industriales. Todas estas normas son reconocidas en el ámbito internacional y cada una de ellas se especializa en un área de la ingeniería y afines. Existen normas internacionales y nacionales. Las normas internacionales son ASME, API, ANSI, NFPA e ISA y las nacionales: las de PDVSA y COVENIN”<sup>14</sup>.

Se presenta a continuación en la página 93 el esquema de la planta, con el fin de dar una idea de la ubicación de los puestos y de la secuencia de las ejecuciones en el proceso que es objeto de estudio; no se proponen cambios en la distribución y en las operaciones de producción, la propuesta se basó en reducir los tiempos en las actividades de las diferentes etapas del sistema.

---

<sup>14</sup> VELÁSQUEZ Belkis. *Guía de procesos (ingeniería industrial)*. p. 16.

Figura 37. Diagrama de recorrido



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

### **3.2. Buenas prácticas de producción más limpia**

La práctica de producción más limpia consiste en la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integral a procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia general y para reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente. Esta puede ser aplicada a procesos utilizados por cualquier industria, a los productos mismos y a varios servicios ofrecidos en la sociedad. Es un término amplio que comprende conceptos como: ecoeficiencia, prevención de contaminación y productividad verde. La aplicación protege al medio ambiente, al consumidor y al trabajador, mientras mejora la eficiencia industrial, la rentabilidad y la competitividad. Desecho es el residuo que se genera a partir de la actividad humana y actividad de producción.

Las prácticas de producción más limpia propuestas son las siguientes:

- Buen mantenimiento local: tomar las acciones apropiadas de administración y operaciones para prevenir: fugas y derrames.
- Mejor control de procesos: procedimientos operativos e instrucciones de uso de equipos.
- Modificación de equipo: para ejecutar procesos con mayor eficiencia, disminuir tasa de generación de desperdicios y emisiones.
- Cambio de tecnología o procedimiento: para minimizar la generación de desperdicio y emisión durante la producción.

- Recuperación/reutilización en el sitio: recuperación de los materiales desperdiciados en el mismo proceso o aplicación útil dentro de la empresa.
- Utilización eficiente de la energía: con eficiencia energética mejorada y utilización de fuentes energéticas renovables.

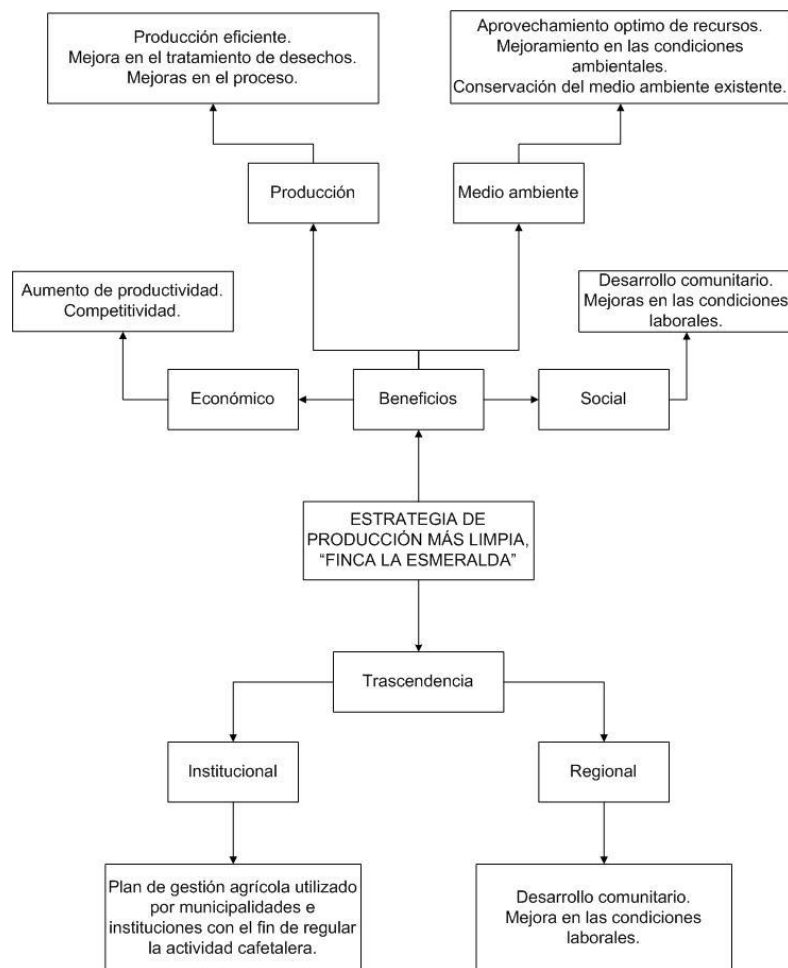
Con la implementación de programas de producción más limpia en el área de beneficio húmedo de la empresa, se espera obtener:

- Ahorros en insumos, agua y energía
- Aumento de la productividad y competitividad
- Mejora en la eficiencia de procesos
- Aumento en la calidad del producto
- Reducción de riesgo para la salud humana y accidentes laborales
- Ahorros en el manejo y disposición de residuos y emisiones
- Mejora en el desempeño ambiental

En el caso de implementar esta propuesta, se espera un beneficio en el aspecto económico puesto que se ahorraría en recursos innecesarios, optimizando los costos y en el aumento de la producción. En el aspecto social, contribuiría con el desarrollo comunitario, mejoras laborales y la integración de los trabajadores a la actividad agrícola. En cuanto al tema ambiental, se espera un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, así como una mejora del tratamiento de los desechos y mejores tecnologías. Institucionalmente, se espera brindar a organismos como municipalidades y ministerios relacionados con el medio natural y fincas de la región una guía para identificar las características relevantes del café y aplicar conceptos de producción más limpia.

En el caso de la producción de café, la gestión ambiental propone instrumentos para prevenir, mitigar y monitorear impactos ambientales durante las actividades de siembra, cosecha y transformación del grano. El concepto de gestión ambiental está directamente relacionado con el de eficiencia productiva. Esta se produce cuando la economía está utilizando todos sus recursos de manera eficiente, produciendo el máximo de producción con el mínimo de recursos.

Figura 38. **Elementos de la estrategia de producción más limpia**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

### **3.2.1. Capacitación del personal**

La administración será la encargada de velar por que el personal responsable de cada operación del proceso de beneficiado húmedo de café esté capacitado en relación a su función operativa, considerando aspectos tales como control de calidad, uso de registros operacionales, legislación laboral, calibración de equipos, mantenimiento, muestreo y registro de daño mecánico. La capacitación abarca a todo el personal involucrado con el proceso.

La capacitación de los operadores en los temas técnicos, seguridad industrial y salud ocupacional, es una vía para optimizar el consumo de materias primas e insumos, reducir la cantidad de desperdicios, residuos y accidentes laborales. Es necesario enfatizar en los temas técnicos la importancia del manejo técnico del equipo e instalaciones, la aplicación del mantenimiento preventivo y la aplicación de un control continuo en el desempeño de las actividades.

La capacitación permanente en los temas técnicos de los procesos es fundamental, así como la seguridad y salud ocupacional. La aplicación del control continuo del desempeño debe ser implementado. Es necesario enfatizar en los temas técnicos, la importancia del manejo adecuado del equipo e instalaciones; la aplicación del mantenimiento preventivo a los mismos y la aplicación de un control continuo de desempeño de actividades. Dentro de las instalaciones de la finca se deben realizar sesiones de entrenamiento en asuntos técnicos de la planta, seguridad y ambientales para todos los trabajadores previo al inicio de las labores, abordando los siguientes puntos:

- Características fisiográficas del área.
- Normas ISO 14000.



- Políticas de seguridad, salud y ambiente del beneficio de café.
- Prohibiciones acerca de la caza, colección o consumo de especies de flora y fauna, catalogadas como vulnerables.
- Procedimientos para la gestión de desechos.
- Uso y manejo de extintores.
- Cuidados de la salud, ergonomía en el trabajo, seguridad en el manejo de productos químicos, combustibles, seguridad en el manejo de restricciones y procedimientos para las operaciones.
- Manejo defensivo, equipo de protección personal, trabajo en alturas, seguridad en taludes, mantenimiento de las instalaciones, identificación de riesgos laborales, accidentes en el trabajo, medidas de seguridad y contingencia ante emergencias.

La actividad de corte del fruto del café tiene un gran impacto en la calidad del proceso de café y en la cantidad de residuos generados por el proceso, por lo cual es necesario que los trabajadores encargados de esta etapa, estén capacitados y concientizados con el objetivo de llevar al proceso, solo café con características adecuadas para su beneficiado. El café debe ser cosechado solamente cuando su desarrollo y madurez han alcanzado plenitud, puesto que de esto no solo depende la calidad de la bebida, sino que también guarda una relación directa con la presencia de daño mecánico, principalmente en la operación de despulpado.

El plan de capacitación está enfocado a todo el personal de la planta y como todo plan inicial, la capacitación estará sujeta a permanente actualización para mantener documentos dinámicos y acordes a las condiciones propias de la empresa, este plan prevé, no solo la capacitación destinada a fortalecer la calidad operativa del programa, sino también que plantea fortalecer la

capacidad gerencial, técnica y administrativa del personal en general. El plan propuesto está compuesto de la siguiente manera:

- Reunión de Gerencia con jefes de departamento: esta reunión se realizará con la intención de dar a conocer a los jefes de los diferentes departamentos de la empresa los nuevos procedimientos administrativos y de las primeras áreas donde se aplicarán.
- Elaboración de circular informativa: una vez realizada la reunión de jefes, se elaborará una circular informativa para todo el personal dando a conocer la implementación de los nuevos procedimientos, indicando en ella la fecha y lugar de la capacitación para todo el personal.

Para el programa de uso de energía renovable, se busca un seminario que forme la conciencia sobre las problemáticas ambientales de este planeta. Lograr disminuir o reducir la dependencia de las energías fósiles es un desafío al cual se deben encontrar solución en los próximos años.

Tabla XII. **Programa del curso de energía renovable**

Objetivo del curso	Uso de la energía renovable en la planta de producción
Dirigido	Todo el personal de la planta de producción.
<b>Temario</b>	
Módulo 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción a los conceptos básicos sobre energía y potencia.</li> <li>• Producción de energía y su uso racional.</li> <li>• Etiquetado energético. Iluminación eficiente: led contra CFL.</li> </ul>

Continuación de la tabla XII.

Módulo dos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción al uso de la energía solar. El sol como fuente de energía.</li> <li>• Sistemas térmicos domiciliarios.</li> <li>• Sistemas fotovoltaicos domiciliarios.</li> </ul>
Módulo tres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción al uso de la energía eólica. El viento.</li> <li>• Aprovechamiento de la energía eólica. Energía eólica de baja potencia.</li> <li>• Energía eólica de potencia.</li> </ul>
Módulo cuatro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción al uso de la biomasa como fuente de energía.</li> <li>• Uso directo de biomasa. Proceso de biogás.</li> <li>• Aprovechamiento de los residuos de origen ganadero.</li> <li>• El biogás en el mundo.</li> </ul>
Costo	El costo por un grupo de trabajo de 20 personas es de Q 8 000,00
Impartido por:	Centro Guatemalteco de Producción más Limpia. Ruta 6, 9-21 zona 4. edificio Cámara de Industria, nivel 7 Tel. (+502)2380-9128   Fax (+502)2339-0264

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Programa del curso de capacitación de desechos sólidos**

Objetivo del curso	Proponer el manejo integral de los desechos
Dirigido	Todo el personal de la planta de producción
<b>Temario</b>	
Módulo uno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generalidades sobre los desechos sólidos</li> <li>• Residuos peligrosos</li> <li>• Identificación de fuentes de contaminación</li> <li>• Clasificación de los desechos</li> <li>• Áreas de almacenamiento de desechos sólidos</li> <li>• Señalización de áreas de recepción y evacuación de desechos</li> </ul>
Módulo dos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión integral de desechos sólidos</li> <li>• Valorización interna de desechos sólidos</li> <li>• Reducir, reusar, reciclar</li> <li>• Coprocesamiento de desechos sólidos</li> <li>• Desechos peligrosos</li> </ul>
Módulo tres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desechos líquidos</li> <li>• Reutilización de los desechos de los beneficios de café</li> </ul>
Costo	El costo por un grupo de trabajo de 20 personas es de Q 8 000,00
Impartido por:	<p style="text-align: center;">Centro Guatemalteco de Producción más Limpia.  Ruta 6, 9-21 zona 4. edificio Cámara de Industria nivel 7  Tel. (+502)2380-9128   Fax (+502)2339-0264</p>

Fuente: elaboración propia.

Para la evaluación de las capacitaciones, cada uno de los colaboradores, participantes en los cursos evaluará el desempeño realizado por los instructores, para determinar el beneficio de los temas expuestos.

Tabla XIV. **Formato de evaluación**

<b>Formato para evaluación actividad de capacitación</b>				
Tema _____ Fecha _____ Capacitador _____				
Por favor, conteste de la manera más honesta las siguientes preguntas. No es necesario que escriba su nombre. Toda sugerencia que aporte se agradece e intentaremos realizar las mejoras pertinentes en las próximas actividades. Por favor, evalúe en la escala 1-5. Tomando como 5 excelente, 4 bueno, 3 regular, 2 malo, 1 deficiente.				
1. UTILIDAD DE LOS CONTENIDOS ABORDADOS EN EL CURSO Importancia y utilidad que han tenido para usted los temas tratados				
1	2	3	4	5
2. METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL CURSO Respecto a los métodos y estrategias del instructor para impartir el contenido				
1	2	3	4	5
3. GRADO DE MOTIVACIÓN DEL INSTRUCTOR Nivel de participación y motivación ofrecido por el instructor				
1	2	3	4	5
4. CLARIDAD DE LA EXPOSICIÓN Respecto al lenguaje y orden en el curso				
1	2	3	4	5
5. NIVEL DE ASIMILACIÓN Y COMPROMISO PERSONAL CON LOS TEMAS ABORDADOS Evalúese usted mismo en el grado de motivación e interés sobre el curso				
1	2	3	4	5
6. CALIDAD DEL MATERIAL ENTREGADO				
1	2	3	4	5

Continuación de la tabla XIV.

7. CALIDAD Y CLARIDAD DE LOS EJEMPLOS ENTREGADOS				
1	2	3	4	5
SUGERENCIAS Y COMENTARIOS:				

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.2. Mantenimiento**

Con el mantenimiento de equipos e instalaciones se logra evitar problemas de funcionamiento y mejorar la eficiencia en las operaciones. El plan de mantenimiento se desarrollará de la siguiente manera:

- Preventivo
- Correctivo
- Avería
  
- Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo de los equipos logra evitar problemas de funcionamiento y eficiencia en las operaciones.

Se realiza durante la operación del beneficio mediante la inspección visual de las máquinas; revisión de niveles de agua, combustibles y lubricantes; inspección de filtros de aceite, gasolina y diésel; ajuste de tornillos; revisión de

manuales de mantenimiento del fabricante; revisión de chumaceras, cojinetes, cadenas, entre otros.

- **Mantenimiento correctivo**

El objetivo de este es corregir averías, ya sea reacondicionando maquinaria y equipo o cambiando el diseño de construcciones e instalaciones. Para conseguir el funcionamiento correcto y mantener la calidad, se realizará, si fuera necesario, el cambio de camisas, cojinetes, piezas desgastadas y dañadas por la corrosión, etc. realizándose fuera del tiempo de cosecha de café, puesto que es la época en que el beneficio trabaja a su mínima capacidad.

- **Mantenimiento de avería**

Para este tipo es necesario mantener un inventario de repuestos y establecer una coordinación con el personal de mantenimiento en época de cosecha ya que en este tiempo el beneficio trabaja a su máxima capacidad.

### **3.2.2.1. Equipo**

El daño mecánico en el beneficio se produce cuando se somete a despulpado una maza de café mezclado, un lote de café heterogéneo, en diferentes estados de madurez y sanidad: café maduro revuelto con fruta defectuosa además de piedras y otros objetos que pudieran ser arrastrados por la corriente de agua.

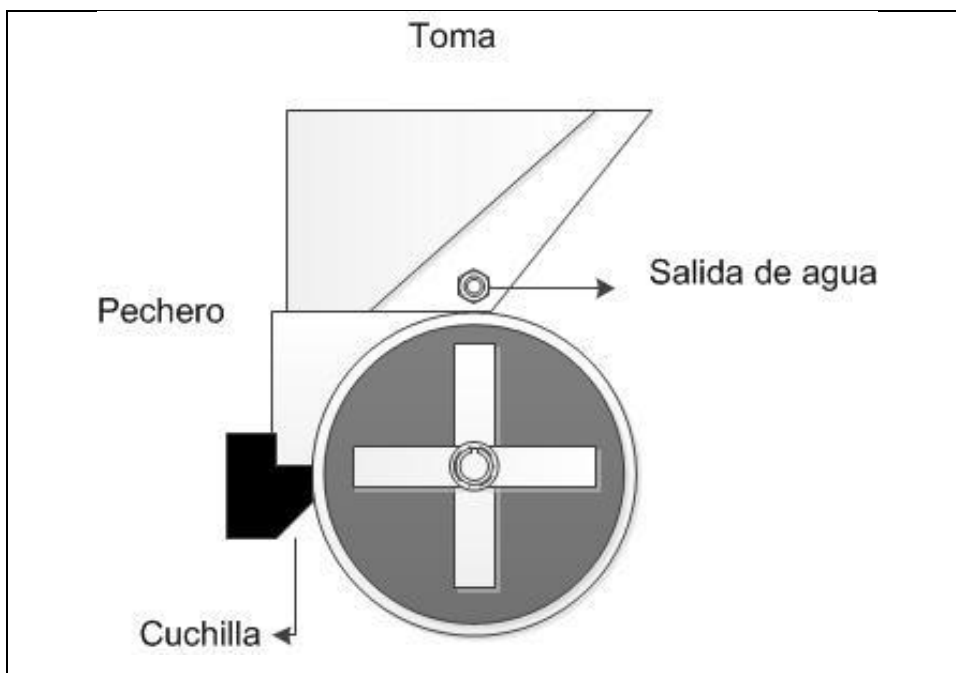
- **Mantenimiento de equipo en general**

- Activar la maquinaria minutos antes del proceso.
- Utilizar la capacidad de trabajo recomendada por el fabricante del equipo.

- Engrasar rodamientos, por lo menos cada 50 horas de trabajo, previa inspección.
- Revisar el torque de la maquinaria, por lo menos una vez a la semana, por las vibraciones que esta genera y su debido reajuste.
- Revisar poleas para evitar corrimientos.
- Utilizar arrancadores adecuados para cada motor.
- Revisar tensión en las fajas.

Es importante llevar un control de las actividades de mantenimiento realizadas, esto con el objetivo de tener a mano la información de las condiciones en que se encuentra el equipo y tener un parámetro para tomar decisiones respecto a las actividades a realizar.

Figura 39. **Máquina despulpadora**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2014.



- Los pecheros (cuchillas) y las camisas: reemplazarlos antes de que su desgaste comprometa la calidad del trabajo.
- Los pecheros (cuchillas) metálicos: rectificarlos para cada cosecha.
- Los retenedores de los marcos verticales: rectificarlos para cada periodo de cosecha. El marco debe estar alineado cuidadosamente.
- La rotación de los cilindros tiene que ser a la velocidad conveniente, la cual hay que ajustarse conforme a la recomendación técnica del fabricante.
- Los rodamientos: chumaceras y cojinetes, deben estar en buen estado para evitar holguras laterales y desviaciones en relación con el eje.
- Efectuar la lubricación de chumaceras utilizando lubricantes recomendados para sus características particulares. Según recomendaciones de los proveedores.
- Sistema de mantenimiento: utilizar registros documentales, en los cuales, en forma de bitácora, se haga constar todas las actividades realizadas y su programa, además del cronograma de ejecución.

### **3.2.2.2. Instalaciones**

Las instalaciones de la planta hay que mantenerlas siempre limpias y en buen estado, puesto que esto no solo facilitará los procesos, sino que también se evitará la contaminación cruzada y la presencia de roedores e insectos en el

área de beneficio. El mantenimiento de las instalaciones se realizará de la siguiente manera:

- Abastecimiento de agua
  - Energía eléctrica
  - Recibo de fruto
  - Despulpado
  - Remoción de mucílago
  - Lavado
  - Secado
  - Almacenaje
- 
- Abastecimiento de agua: se realizarán las reparaciones y limpieza necesaria del sistema de abastecimiento de agua (tubería, tomas, filtros, rejillas y otros), y del tanque de captación, antes y durante la cosecha.

El procedimiento para la limpieza de la línea de abastecimiento de agua es el siguiente:

- Desconectar la línea de abastecimiento del tanque de captación.
- Abrir válvula de entrada del tanque de captación con el fin de eliminar sedimentos existentes en la tubería.
- Cuando el agua salga clara, llenar nuevamente la tubería cerrando lentamente la válvula de entrada del tanque de captación.

- limpiar los alrededores del área donde se encuentra instalada la tubería, quitando la maleza, ramas, hojas, etc., con el fin de facilitar la inspección.
- Si se encontrara algún problema (fugas o grietas en la tubería), hay que repararlo inmediatamente. Si el problema requiere de una reparación mayor, es necesario comunicárselo al encargado del beneficio para que se tomen las medidas correctivas necesarias.
- Verificar que las válvulas giren con facilidad, deben girar  $\frac{1}{4}$  de vuelta hacia la izquierda y derecha, para evitar que se endurezcan, aplicarle unas gotas de aceite.
- En el caso del tanque de captación, el procedimiento es el siguiente:
  - Cerrar válvula de entrada del tanque y válvula de distribución.
  - Quitar las tapaderas.
  - Quitar válvula de rebalse.
  - Remover la tierra que se encuentra en el fondo.
  - Limpiar con cepillo paredes, piso y pichacha con agua; nunca usar jabón o detergente.
  - Al meterse al tanque usar botas de hule limpias.
  - Dejar correr el agua por el desagüe unos 10 minutos, terminado, colocar válvula de rebalse.
  - Pintar con pintura anticorrosiva todos los elementos de metal.
  - Pintar las paredes externas y el techo del tanque.

- Abrir válvula de entrada y distribución lentamente.
- Energía eléctrica: inspeccionar visualmente y medir periódicamente cables, instalaciones, generadores de energía y realizar las reparaciones necesarias.

Se realizarán los siguientes tipos de mediciones:

- Medición de puesta a tierra: es indispensable para asegurar la protección de personas y máquinas.
- Medición de resistencia: con esta se conocerá si los conductores eléctricos están aislados y en buen estado.
- Medición de continuidad eléctrica: es necesaria para verificar si cada conductor llega al destino para el cual fue proyectado.
- Medición de tensión, corriente y potencia: se realiza con la finalidad de verificar la línea de alimentación, el consumo de los circuitos, así como el correcto dimensionamiento y el cálculo de tableros eléctricos.
- Medición de temperatura de tableros: esta se lleva a cabo con termómetros digitales de precisión para percatarse de que su dimensionamiento térmico funciona correctamente.
- Recibo del fruto: esta parte abarca lo siguiente:
  - Pesado, pesa tipo romana, esta debe limpiarse todos los días con cepillo plástico de cerdas duras y largas y debe ser calibrada, por

lo menos dos veces durante la cosecha, además, mantener limpia el área de pesado.

- Los recibidores, sifones y canales de flujo continuo se deben limpiar todos los días mediante la aplicación de un chorro de agua a alta velocidad sobre las superficies de metal y concreto con el fin de separar los elementos ensuciantes, para este método de limpieza es necesario la utilización de una bomba de desplazamiento positivo que descargue agua a través de una manguera de alta resistencia, y en su extremo una boquilla cuyo patrón de chorro se pueda seleccionar de acuerdo al diseño y ensuciamiento del equipo. Después de la cosecha es necesario realizar las reparaciones necesarias además de aplicar pintura anticorrosiva a las partes de metal.
- Las cribas de flotes hay que limpiarlas todos los días con cepillo plástico de cerdas duras y largas, además es necesario engrasar cadena, cojinetes cada ocho días y hacer las reparaciones necesarias después de la cosecha.
- Despulpado: comprende canales, despulpadores, zaranda y cribas.
  - Se realizará la limpieza de estos de forma diaria.
  - Para el canal despedrador, adielos y tornillo sin fin, Aplicar pintura anticorrosiva después de la cosecha.
  - A los despulpadores se les colocará grasa cada semana en los cojinetes. Después de la cosecha se realizarán las reparaciones y

cambio de piezas necesarias (cilindros, camisas, cojinetes, fajas, pechos, ejes, chumaceras, poleas, motores eléctricos o de combustión, entre otros).

- La zaranda: cada semana engrasar los rodamientos de la polea excéntrica y cojinetes. Después de la cosecha hacer las reparaciones, cambio de piezas y aplicación de pintura anticorrosiva.
- Las cribas de hilo plástico y de varilla: una vez por semana se engrasará la cadena, cojinetes y bujes. Después de la cosecha hacer las reparaciones, cambio de piezas y aplicación de pintura anticorrosiva.
- Remoción del mucílago
  - Las desmucilagadoras: limpiarlas a diario cepillos plásticos de cerdas duras. Cada ocho días engrasar los cojinetes, hacer reparaciones. Cambiar piezas después de la cosecha.
  - Las pilas de fermentación, pichachas y drenaje: limpiarlos todos los días. Encalar la parte interna de las paredes cada semana. Aplicar pintura anticorrosiva a las pichachas y hacer reparaciones después de la cosecha.
- Lavado
  - Las bombas de lavado: limpiarlas a diario y las reparaciones se deben hacer después de la cosecha.

- Los canales de clasificación o correteo: limpiarlos a diario. Hacer reparaciones y aplicar pintura anticorrosiva a las pichachas después de la cosecha.
- Renovar y uniformizar el tamaño de las reglillas de clasificación, por lo menos en cada cosecha.
- Secado: puesto que es un café protegido bajo una denominación de origen el secado tiene que ser estrictamente en patios, por lo tanto, se tienen que limpiar todos los días con escobas de cerdas naturales o plásticas y depositar el desecho en los desagües correspondientes del patio de secado
- Almacenamiento del café pergamino seco: mantener limpia la bodega, calibrar periódicamente el termómetro de esta. Revisar y hacer reparaciones después de la cosecha.

### **3.2.3. Separación de residuos y efluentes**

Identificar y verificar si se están separando adecuadamente los residuos generados en cada área de producción, para lo cual se debe concientizar a todo el personal de la importancia de evitar la contaminación.

### **3.2.4. Uso eficiente de materia prima e insumos**

El uso de la materia prima e insumos debe ser responsabilidad de todo el personal, dado que cada área depende de otra o varias a la vez, por lo cual la optimización de recursos es fundamental para tener una producción más limpia.

La humedad para almacenar el café es entre 10 a 12 % (en grano oro). Por eso se debe monitorear dicha humedad para evitar que se dañe la calidad y se pierda o aumente de peso. Se debe usar costales limpios y de preferencia de yute; la bodega debe estar siempre limpia, el café envasado debe estar sobre tarimas de madera, buena ventilación entre estibas y techo, para mantener una temperatura ambiente de 20 °C y una humedad relativa de 65 %, que es la condición adecuada de almacenamiento de café.

### **3.3. Gestión de residuos y subproductos**

Es una estrategia ambiental preventiva integrada a procesos, productos y servicios para incrementar sobre estos la eficiencia y reducir el riesgo para el ser humano y el medio ambiente. Todo se deriva de la producción más limpia la cual al ser aplicada a procesos usados en todo tipo de industria, a los mismos productos y a distintos servicios ofrecidos a la sociedad.

Las prácticas que la empresa debe realizar se describen a continuación.

- Buen mantenimiento local: tomar las acciones apropiadas de administración y operaciones para prevenir las fugas y derrames.
- Sustitución de materias primas por otros materiales menos tóxicos, materiales renovables, materiales agregados que tienen una vida más útil en larga producción
- Mejor control de procesos: procedimientos operativos e instrucciones de uso de equipos.



- Modificación de equipo: para ejecutar procesos con mayor eficiencia, disminuir tasa de generación de desperdicios y emisiones.
- Cambio de tecnología o procedimiento: para minimizar la generación de desperdicio y emisión durante la producción.
- Recuperación/reutilización en el lugar: recuperación de los materiales desperdiciados en el mismo proceso u aplicación útil dentro de la empresa.
- Modificación del producto: en caso sea necesario minimizar el impacto ambiental del producto o minimizar los impactos ambientales de su producción.
- Utilización eficiente de la energía: con eficiencia energética mejorada y utilización de fuentes energéticas renovables.

### **3.3.1. Reducción de residuos en la fuente**

La importancia que tiene el recurso agua para la actividad cafetalera es innegable, por ello es importante mencionar el Reglamento de descarga y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos (Acuerdo Gubernativo 236-2006) para controlar el impacto que tiene esta actividad.

- Los artículos involucrados son:
  - Art.9: Instrumentos de evaluación control y seguimiento ambiental

- El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá evaluar en forma permanente el desempeño ambiental y el cumplimiento de los planes contemplados.
- Art. 13: Características del afluente y efluente de aguas residuales
  - La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas en un cuerpo receptor o al alcantarillado público, deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales e incluir los resultados en el estudio técnico.
- Art. 14: Caracterización de aguas para reúso
  - La persona individual o jurídica, pública o privada, que genere aguas residuales para reúso, deberá realizar la caracterización de las aguas que genere y que desea aprovechar e incluir el resultado en el estudio técnico.
- Art. 15: Caracterización de lodos
  - La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar lodos, deberá realizar la caracterización de los mismos e incluir el resultado en el estudio técnico.
- Art. 16: Parámetros de aguas residuales
  - Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes: a) temperatura, b) potencial de hidrógeno, c) grasas y aceites, d) materia flotante, e) sólidos suspendidos totales, f) demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius, g) demanda química de oxígeno, h) nitrógeno total, i) fósforo total, j) arsénico, k) cadmio, l) cianuro total, m) cobre, n)

cromo hexavalente, o) mercurio, p) níquel, q) plomo, r) zinc, s) color y t) coliformes fecales.

- Art. 19: Meta de cumplimiento
  - La meta de cumplimiento, al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, se establece en tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno.
- Art. 20: Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.

		Fecha máxima de cumplimiento				
		Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro	
		Etapa				
Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

- Art. 21: Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos.

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

- Art. 25: Parámetros
  - Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales vertidas al alcantarillado público son los siguientes: a) temperatura, b) potencial de hidrógeno, c) grasas y aceites, d) materia flotante, e) demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius, f) demanda química de oxígeno, g) sólidos suspendidos totales, h) nitrógeno total, i) fósforo total, j) arsénico, k) cadmio, l) cianuro total, m) cobre, n) cromo hexavalente, o) mercurio, p) níquel, q) plomo, r) zinc, s) color y t) coliformes fecales.
  
- Art. 31: Opciones de cumplimiento de parámetros para las descargas de aguas residuales de tipo especial.
  - Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que se encuentren autorizadas por la municipalidad para descargar aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, podrán cumplir los límites máximos permisibles de cualesquiera de las formas siguientes: a) Estableciendo sistemas de tratamiento propios. b) Pagando a la municipalidad o a las empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público, una tasa correspondiente al servicio que se preste, siempre y cuando dichas municipalidades cuenten con sistema de tratamiento para aguas residuales en operación.
  
- Art. 34: Reúso de aguas residuales
  - Tipo I: Uso agrícola general
  - Tipo II: Para cultivos comestibles
  
- Art. 37: Recirculación interna del agua
  - Todo ente generador podrá recircular las aguas residuales antes de que las mismas se viertan al cuerpo receptor. Dicha recirculación no se

considerará como reúso ni estará sujeta a las disposiciones del presente Reglamento.

- Art. 41: Disposición final
  - Se permite efectuar la disposición final de lodos, por cualesquiera de las siguientes formas: a) aplicación al suelo: acondicionador, abono o compost; b) disposición en rellenos sanitarios; c) confinamiento o aislamiento<sup>15</sup>.

### **3.3.2. Reciclaje y reúso**

El agua es un recurso indispensable en el proceso del café, asimismo es el más afectado por dicha actividad. En la finca de estudio se cuenta con un beneficio húmedo con reciclaje de agua. Haciendo una pequeña historia sobre el beneficiado del café desde los años 60, 70 y 80 cuando se contaba con un beneficio pequeño sin mayor tecnología, utilizando cantidades de agua para el proceso del despulpado y lavado del café. El río suplía esas necesidades utilizando aproximadamente 400 litros de agua por quintal trabajado. Actualmente el beneficio no trabaja con circulación de agua, tratamientos de aguas mieles y aprovechamiento de las pulpas de café procesadas por lombrices.

Por el momento no se documenta cada punto de descarga de aguas residuales, incluyendo la descripción de las características típicas de las aguas residuales y del ambiente que las recibe (alcantarillado, humedal, campo de deslave, río, entre otros).

---

<sup>15</sup> Ministerio de ambiente y recursos naturales. *Acuerdo gubernativo número 236-2006*. p 7-19.

### **3.3.2.1. Recuperación de aguas residuales**

En el caso de los afluentes el volumen de consumo de agua se disminuye, reduciendo el nivel de uso de agua fresca y el concepto de reúso de los efluentes generados, esto da como resultado un volumen menor de agua residual.

### **3.3.2.2. Reúso de agua**

En el proceso del beneficio, las aguas pueden ser reutilizadas en el área de despulpado, lavado y clasificación.

Esto se realiza por medio de la implementación de un sistema de reutilización el cual interconecta las operaciones donde se consume agua en el beneficio.

Uno de los componentes más importantes en el proceso de recirculación es el tanque recolector decantador el cual tiene como finalidad:

- Tener un punto central para la recolección de las aguas de proceso a recircular.
- Realizar un tratamiento físico de las aguas de proceso. Captación de sólidos sedimentables que están contenidos en las aguas de proceso

### **3.3.2.3. Recuperación de residuos sólidos**

El principal residuo sólido es la pulpa, para la producción de abono orgánico se debe eliminar la mayor cantidad de agua de la pulpa y lodos que

contenga, con el fin de evitar que las aguas mieles sean descargadas al manto freático y lograr una mayor eficiencia en la producción del abono.

Para la separación hay que utilizar un tornillo extractor, para la separación de lodos se utiliza desnivel de tubo de descarga de agua en tanque recolector decantador, al separar la mayor cantidad de agua de los lodos se inicia la producción de abono por medio manual utilizando palas, cubetas, en conjunto se mezcla con la pulpa existente.

El área de Producción de abono orgánico debe ser protegida del ambiente, en el cual se puede utilizar láminas, *nailon* entre otros. Para tener una degradación uniforme.

Según datos de Anacafé 18,14 kg (40 libras) de pulpa fresca equivalen a 3, 17 kg (7 libras) de abono orgánico.

#### **3.3.2.4. Reúso de material sólido**

En el beneficio, el principal residuo es la pulpa, por lo cual para su almacenamiento y tratamiento hay reducir la cantidad de agua que contiene, para generar el abono orgánico.

Los desechos del café se deberán manejar de tal forma que minimicen el impacto ambiental mediante la aplicación de los principios de reducción, reutilización y reciclaje.

Los desechos orgánicos, como la pulpa del café y la hojarasca, se transformarán en insumos útiles para los sistemas de producción cafetalera, tales como abono.

Tabla XV. **Caracterización y uso de residuos sólidos**

Residuo sólido	Fuente	Uso	Beneficio
Pulpa	Despulpado	Como abono orgánico	Reducción de carga orgánica contaminante, reducción de costos por consumo de nutrientes en el campo
Lodos de tanque recolector decantador	Decantador	Como abono ingresado al sistema de tratamiento de pulpa	
	Trillado (beneficio en seco)	Como combustible en secado	Reducción de carga orgánica y menor uso de combustibles

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Eficiencia energética

La eficiencia energética para la empresa en estudio es de suma importancia para el ahorro de costos de operación.

#### 3.4.1. Consumo de energía eléctrica

Las áreas de consumo de energía eléctrica son despulpado, clasificación, secado mecánico, iluminación, ya que se utilizan motores eléctricos. Por lo cual se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones de trabajo para poder obtener una eficiencia en el consumo de la energía eléctrica:



- Medidas para evitar cambios de voltaje
  - Evitar conexiones en mal estado en la línea de distribución eléctrica.
  - Corrosión en conexiones.
  - Flipones con defectos internos.
  - Cables alimentadores que estén sobrecargados para su calibre.
  - Instalaciones de conducción con calibre no adecuado.

#### **3.4.2. Consumo de energía calórica**

Para el ahorro de consumo de energía calórica hay que aislar la distribución de aire caliente de la secadora, esto con el objetivo de disminuir la pérdida de calor al ambiente a través de la tubería. De igual forma realizar un mantenimiento preventivo a todo el equipo.

### **3.5. Mantenimiento de la calidad durante el proceso de beneficiado**

A continuación, se presentan las acciones para el mantenimiento de la calidad durante el proceso de beneficiado.

#### **3.5.1. Condiciones generales de operación**

Las condiciones de operación inician con el proceso de corte de café en el cual el despulpado debe hacerse en un máximo de 4-5 horas.

El café debe lavarse y clasificarse cuando se encuentra en el punto de fermento y el lavado debe hacerse en un máximo de 5 horas.

El café no tiene que estar mojado en el momento de ingresarlo al proceso de secado debe presecarse al sol o en un horno de secado.

### **3.5.2. Manejo del agua en el proceso**

El agua que se utiliza en el inicio del proceso debe de ser limpia, el rendimiento del despulpador estará de acuerdo a la abertura de la llave de paso del recibidor y la inclinación del codo del sifón. De igual forma, realizar un mantenimiento preventivo a todas las máquinas.

### **3.5.3. Secado**

El secado es la etapa más delicada e importante del beneficio del café, por lo que se debe tener cuidado para conservar la calidad.

- Tener en cuenta lo siguiente:
  - Con el secado del café se detiene la fermentación.
  - Iniciar el secado del café inmediatamente después del lavado.
  - No pisar el café durante el secado al sol.
  - Evitar que se moje con las lluvias repentinas, utilizar marquesinas solares.
  - El secado del café convierte el café lavado en un producto estable, almacenable y duradero.
  - Sí utiliza silos, la temperatura del aire no debe pasar de 50 °C.
  - El aire de secado a temperaturas de 55 °C o más deteriora la calidad del café.
  - Evitar interrumpir el proceso de secado del grano.

- El café húmedo es atacado por hongos que causan taza de café con fenol o químico.
- La humedad final del café pergamino debe estar entre el 10 y el 12 %.

#### **3.5.4. Tratamiento de aguas residuales**

La contaminación por aguas residuales depende de la cantidad de café procesado y de la concentración de materia orgánica de las mismas.

Por las características de las operaciones y materiales usados en el beneficio, las aguas residuales tienen una carga orgánica que provoca una demanda alta de oxígeno, sólidos suspendidos y sedimentales y con un pH con características ácidas.

Para un tratamiento químico se debe utilizar una solución de carbonato de calcio para neutralizar las aguas residuales.

- Biogás procedente del agua residual del café

Otra fuente potencial de producción de biogás es el agua drenada del extracto de la cereza del café. El extracto de la cereza que ha sido recogida y mantenida varias horas en un saco o que se ha dejado suelta y puesta a secar será un hervidero de microorganismos de todo género que funcionan en los pegajosos jugos de fruta que se liberan.

La adecuada fermentación y otros procedimientos reducen el pH, y el proceso ulterior de neutralización da lugar a que surja espuma CO<sub>2</sub> (principalmente sales de acetato y un aumento del pH de 3,8 a 6,1), formada de

tal manera que hará que salgan a la superficie más sólidos, principalmente taninos y polifénicos de color oscuro.

La evolución del CO<sub>2</sub> llegado a este punto hace posible la producción posterior de un biogás de metano altamente enriquecido que tiene únicamente la mitad del nivel habitual de CO<sub>2</sub> inerte. La clara solución de acetato puede pasarse entonces por un digestor para hacer biogás, o se puede verter gota a gota sobre un lienzo tirante, como en el proceso aeróbico de *FungalGulp* (trago fungal), para hacer proteína monocelular para alimento animal. La mejor manera de usar el biogás que se produce es haciendo funcionar con él un motor para generar electricidad.

### **3.5.5. Almacenamiento de cosecha**

El café en ambientes húmedos y fríos se rehumedece y es atacado por hongos generando sabores a mohos y químicos en la taza del café. El café en ambientes secos y cálidos se sobreseca y pierde peso.

La humedad para almacenar el café es entre 10 a 12 % (en grano oro). Por eso se debe monitorear dicha humedad para evitar que se dañe la calidad y se pierda o aumente de peso. Hay que usar costales limpios y de preferencia de yute; la bodega debe estar siempre limpia, el café envasado tiene que estar sobre tarimas de madera, buena ventilación entre estibas y techo, para mantener una temperatura ambiente de 20 °C y una humedad relativa de 65 %, que son las condiciones adecuadas de almacenamiento de café.

## **4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

A continuación se describen los puntos que deben desarrollarse en la implementación de la propuesta de los lineamientos para el manejo eficiente de los residuos generados durante el proceso de beneficiado húmedo de café protegido bajo una denominación de origen, con el fin de optimizar la eficiencia en las operaciones, el uso adecuado de insumos, la reducción y manejo adecuado de los residuos. Al cumplir con estos lineamientos se compromete la finca al monitoreo continuo y con esto garantizar el mantenimiento de la calidad del grano durante el proceso de beneficiado húmedo.

### **4.1. Plan de acción**

El plan de acción conlleva la propuesta de implementación de una producción más limpia en la empresa en estudio, para lo cual se describen las acciones a seguir para el manejo de los desechos sólidos y líquidos.

#### **4.1.1. Programa de sensibilización**

Se realiza con el objetivo de dar a conocer a todos los colaboradores de la empresa, la propuesta de implementación de mejoras en las áreas de producción.

Para lo cual se realizarán charlas en grupos de diez a quince personas, en las cuales participarán personal de todas las áreas, para que interactúen unos con otros, con el fin de conocer su percepción sobre las propuestas planteadas, procedimientos nuevos, resolución de dudas. Esto se puede

realizar con la ayuda de una empresa externa para la realización de pláticas sobre la concientización sobre los beneficios de mejorar los procedimientos de producción y administrativos.

#### **4.1.2. Entidades responsables**

El grupo responsable de la sensibilización y plan de acción lo componen la gerencia y los jefes de área.

##### **4.1.2.1. Gerencia**

Como dirigente de la empresa, es el encargado de dar a conocer las nuevas medidas para cada área de trabajo, de igual forma es responsable monitorear la realización de las mismas.

Se encargará de dar instrucciones a los jefes de área para cada uno realice talleres con sus equipos de trabajo, para facilitar la información y resolver todas las dudas que se presenten.

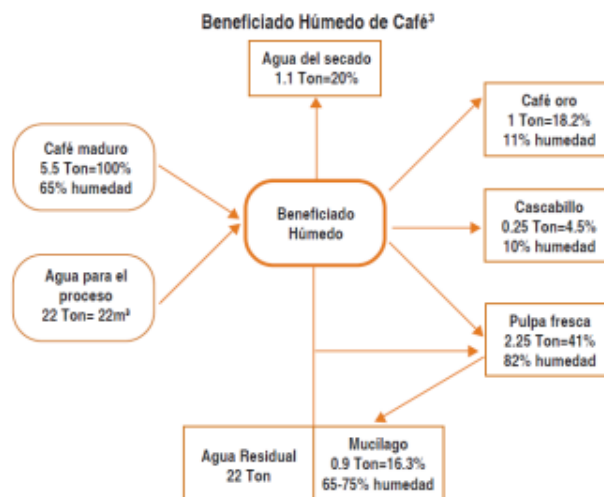
##### **4.1.2.2. Producción, área de beneficio**

Como jefe de área se hace necesario conocer de manera directa a los colaboradores, saber qué persona es más difícil de convencer, quien puede dar oposición a las nuevas políticas de calidad, ya que se busca que la empresa cuente con una política de producción más limpia, así como buenas prácticas de manufactura, para brindar a sus clientes un producto de calidad.

- Materia prima e insumos
  - Uso eficiente de materia prima: en el beneficiado húmedo la materia prima básicamente es el fruto de café maduro y los insumos que se utilizan usualmente son agua, materiales combustibles y energía eléctrica. El insumo más importante para el beneficiado de café es el agua para la recepción, despulpado, transporte, lavado y clasificación del café. Durante el proceso del café existen varias formas de perder granos en los canales de lavado, así como que disminuya la cantidad de granos de primera calidad comparados con los de segunda y tercera, esto incide directamente con la producción y economía de las fincas.

En la figura 40 se describe un balance de masa entre el grano de café e insumos para su procesamiento en el beneficio húmedo.

Figura 40. **Balance de masa, beneficiado húmedo de café**



Fuente: *Manual de buenas prácticas de Producción más Limpia en el sector de beneficio de café*. p. 5.

- Producción
  - Mejora en proceso productivo para optimización de materia prima: mejorar el equipo para optimizar el aprovechamiento de materia prima y evitar pérdidas durante el proceso.

#### **4.2. Reciclaje y reúso**

Actualmente existen diversas tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos los cuales se pueden clasificar según la naturaleza del proceso: biológico, mecánico, térmico o vertido.

- Separación de residuos y efluentes

La separación de residuos debe involucrar dos puntos importantes en el tema: la separación de la pulpa del agua de despulpado y la separación de algunas de las aguas de proceso generadas.

- Orden y limpieza debido a la ubicación de los residuos y efluentes en puntos determinados.
- Facilidad de manejo y aprovechamiento de la pulpa.
- Reducción de la carga orgánica de los efluentes por separación de la pulpa del agua de despulpado.
- Reúso de aguas de proceso.



- Las aguas mieles correspondientes al primer lavado, deben enviarse a la laguna de lodos para tratamiento anaerobio posterior, pues su carga orgánica es muy elevada.
- Las aguas de transporte de café en baba, y las del lavado final de cafés fermentados, son reutilizables.
- Se les aplica un floculador (cal) y se envían a un sedimentador de tipo circular o rectangular. Estas aguas son en realidad suspensiones fangosas, o lodos sin espesar por el proceso de sedimentación. Las materias secas son esencialmente orgánicas, de naturaleza proteica, a las cuales se agrega cal, para obtener efecto de floculación.
- El asentamiento del lodo requiere varias horas, generalmente de un día para otro. Las “natas o espumas” y los lodos del sedimentador, van a la laguna de lodos.
- Las descargas directas del sedimentador y laguna de lodos, deben someterse a un proceso anaerobio antes de descargarlas en el cuerpo receptor, o recircularlas en el proceso, si su condición lo permite.

Operaciones de manejo de desechos y reutilización: la documentación e implementación apropiada de un programa de manejo de desecho que faciliten la reutilización beneficiosa de los desechos apropiados.

- Los desechos se deben almacenar en el sitio de tal manera que no afecten las operaciones o el ambiente circundante.

- Los procesos de desechos orgánicos (pulpa y cerezas rechazadas) deben ser composteados de una forma que permita recobrar estos nutrientes y que no impacte de una forma negativa el entorno ambiental.
  
- Reducción de residuos en la fuente

Este concepto se basa en reducir la cantidad de residuos en la fuente o punto donde se generan por medio de acciones de tipo técnico o buenas prácticas. Lo anterior, permite que el manejo y disposición final de los residuos sea el más adecuado, debido a su separación y reducción. En algunos beneficios, se puede usar el concepto de reducción en la fuente. En el caso de los efluentes, el volumen debe reducirse al implementar acciones que permitan la reducción del uso de agua y el concepto de reúso de los efluentes generados. Lo anterior, dará como resultado un volumen menor de agua residual a disponer. Acciones a tomar en cuenta:

- Seguridad ocupacional.
  
- Sistema de gestión y control de calidad.
  
- Emergencia ambiental.
  
- Documentación de cada punto de descarga de aguas residuales, incluyendo la descripción de las características típicas de las aguas residuales y del ambiente que las recibe.
  
- Descarga de las aguas residuales de tal manera que no provoque la degradación del ambiente hídrico río abajo.

- La demostración de la no degradación se debe establecer a través de mediciones, utilizando los parámetros de calidad de agua evaluada río arriba y río abajo, desde los puntos de descarga.
- Eficiencia energética

En el beneficiado húmedo de café las áreas de consumo de energía eléctrica son: despulpado, clasificación, secado mecánico e iluminación. Básicamente el equipo utilizado para estas operaciones de producción son motores eléctricos los cuales activan maquinaria como despulpadoras. La eficiencia energética consta de las siguientes acciones:

- Reportar la cantidad de energía consumida en el sitio (total anual y por tonelada de café procesada), por las operaciones del beneficiado de café.
- Proporcionar una descripción de las operaciones de generación de energía en el sitio (generador) incluyendo la discusión del tipo de combustible y la tecnología.
- Reducir la cantidad de energía, a través del tiempo (anualmente o sobre una base unitaria).
- Mostrar un compromiso con las operaciones continuas, en especial, con la energía renovable (solar, eólica, hidráulica, geotérmica o biomasa) a través de la producción y de la compra de energía producida, utilizando tecnologías renovables y de alta eficiencia.

- Consumo de energía calórica

Es necesario tomar en cuenta las siguientes condiciones de trabajo para poder obtener una eficiencia en el consumo de energía calórica. Dentro de las operaciones de secado se han mencionado anteriormente los tipos natural y mecánico. El uso del secado natural depende de las condiciones climáticas de la región. El uso del secado natural tiene un efecto positivo en la calidad del producto obtenido, así como en el consumo de combustible. La leña, poda, cascabillo, tienen el poder calórico para cumplir con los requerimientos que exige el proceso. Es un recurso disponible en la zona, además de ser generados a través del manejo adecuado de la finca, lo que trae consigo la reducción de combustibles fósiles en el proceso.

#### **4.2.1. Residuos sólidos**

Uno de los requerimientos mínimos para el beneficiado húmedo de café protegido bajo una denominación de origen es el tratamiento y disposición adecuada de la pulpa de café, ya que esta representa las  $\frac{3}{4}$  partes de la demanda química de oxígeno que los residuos de este proceso generan al medio ambiente.

Los sólidos de la pulpa del café son una buena fuente de humus y de suelo de carbono orgánico. Si se da la vuelta a la pulpa del café cada pocos días se convertirá en abono en tres semanas con una quinta parte del volumen original y como un material firme que huele a tierra y no atrae moscas.

Si se deja madurar durante tres meses cubierto, se reducirá más hasta convertirse en un abono muy agradable de tierra seca que es un buen factor de mejora y enmienda del suelo.

Cuando ocurre el colapso de la estructura de la pulpa hay una liberación masiva de líquido negro y pegajoso que contiene la mayoría de los nutrientes y es el auténtico material fertilizante. Este líquido se debe recoger y comercializar, para conseguir una fuente adicional de ingresos, puesto que es un abono con un factor de nutrición vegetal orgánico de alto valor.

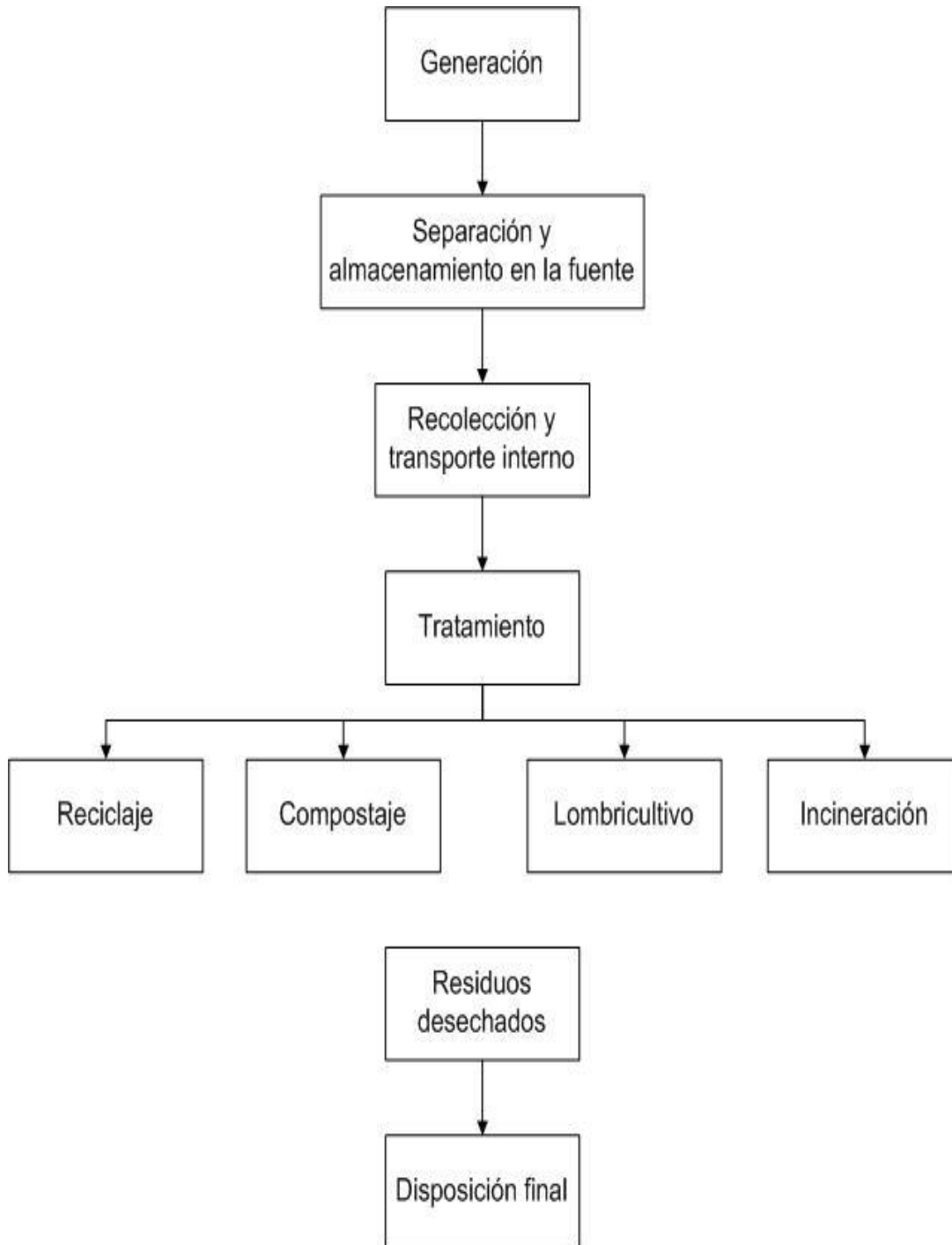
#### **4.2.1.1. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de residuos sólidos**

Dentro de los residuos sólidos, la pulpa es la más voluminosa y representa el 56 % del volumen del fruto y el 40 % del peso. La composición química de este residuo, al sufrir un proceso de fermentación, puede provocar que se formen cargas orgánicas de 20 kg por quintal oro procesado, esto como un desecho sólido no reutilizado.

Las aguas en su estado natural siempre poseen cierto grado de contaminación, pero al ser vertido residuos sólidos a un cuerpo receptor, suministran grandes cantidades de materia orgánica que las bacterias metabolizan o descomponen. Esas bacterias, para poder degradarla, consumen grandes cantidades de oxígeno disuelto. En consecuencia, cuando la demanda de oxígeno, por parte de las bacterias, es mayor que el oxígeno disuelto en el agua, la vida bacteriana comienza a morir.

A continuación en la página 134, se presenta el proceso de tratamiento de residuos sólidos.

Figura 41. **Tratamiento de residuos sólidos**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

#### **4.2.1.2. Transformación de los residuos sólidos mediante la elaboración de compost**

El compostaje es una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica, esta biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición mediante un proceso aerobio, controlando el oxígeno como principal elemento, dado que los microorganismos consumen oxígeno para descomponer la materia orgánica.

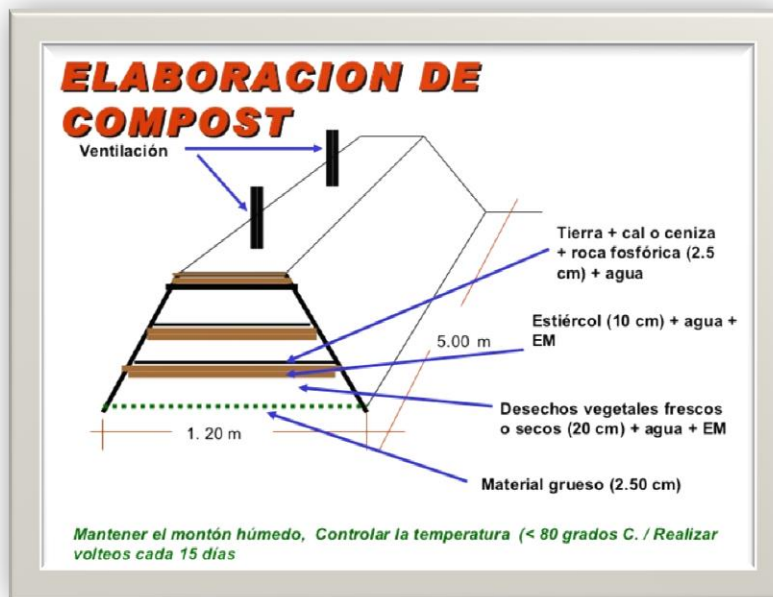
La consecuencia final de esta actividad es vital en la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Es por esta razón que los controles que se puedan ejercer, siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de los microorganismos vivos presentes en los sustratos.

La elaboración de abono orgánico por medio de pulpa de café requiere de elementos de diseño y operación que permitan controlar la temperatura y humedad de la compostera para una adecuada y rápida descomposición de la materia orgánica. Con la ayuda de biodigestores, por ejemplo, ECOBAC y otros que existen en el mercado, este proceso se facilita y se convierte en un trabajo simple y fácil de implementar, además de tener un costo bajo.

El proceso de compostaje con la ayuda de biodigestores se explica a continuación:

- Activación de biodigestor: por 12 litros de agua miel (miel de café) agregar 2 kilos de melaza y 1 litro de biodigestor, esta mezcla es suficiente para 1 000 kg de pulpa.
- Con la pulpa formar capas de 30 cm. esparcidas en el suelo.
- Aplicar el biodigestor activado sobre las capas.
- Revolver la mezcla.
- Empacar la mezcla en sacos y sellarlos.
- Almacenar por un periodo de 30 días.

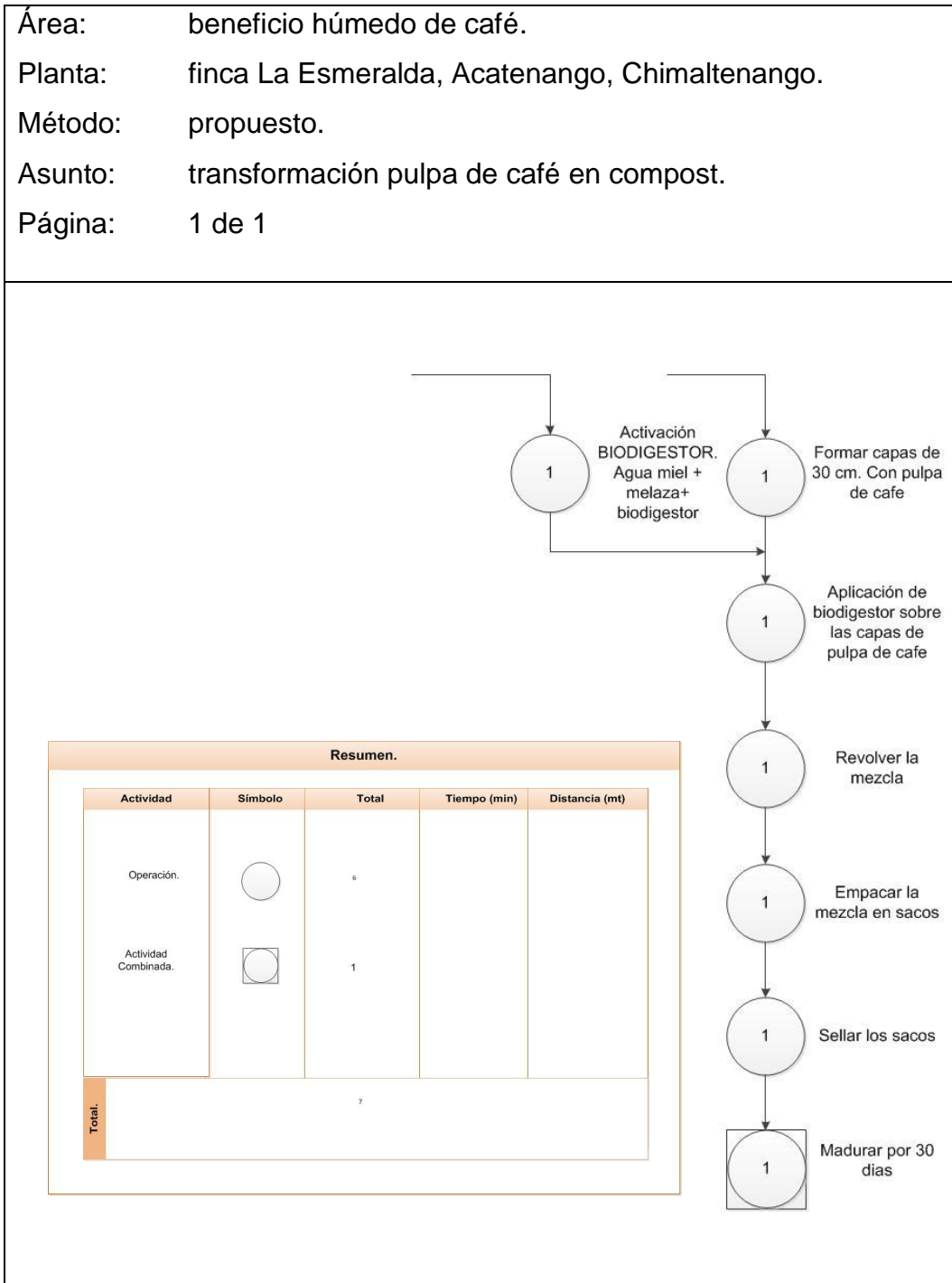
Figura 42. **Elaboración de abonos orgánicos**



Fuente: QUINATO Alex. *Elaboración, uso y manejo de los abonos orgánicos*.  
[www.es.slideshare.net/alexquinatoa/abonos-organicos-2843512](http://www.es.slideshare.net/alexquinatoa/abonos-organicos-2843512). Consulta: 6 de enero de 2010.



Figura 43. Diagrama de proceso para el compostaje de pulpa de café



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

#### **4.2.1.2.1. Propiedades del compost de la pulpa de café**

Tiene la finalidad de restituir al suelo los nutrientes que las plantas utilizan para su desarrollo y producción, influye en las características físicas, químicas y biológicas del suelo:

- Físicas
  - Mejoran la retención de humedad.
  - Disminuyen los efectos de la erosión.
  - Mejoran la infiltración del agua y la aireación con el suelo.
  - Brindan mayor porosidad a los suelos compactos.
  
- Químicas
  - Aportan nutrientes en forma natural.
  - Hacen asimilables muchos minerales para la planta.
  - Ayudan a corregir las condiciones tóxicas del suelo.
  - Contribuyen a retener los nutrientes.
  - Retardan el proceso de cambio de reacción (pH).
  
- Biológicas
  - Incrementan los macro y microorganismos.

Si se lleva el control necesario para un adecuado proceso, el compost se cosechará en 3 meses aproximadamente, que es cuando el material huele a tierra fértil y tiene color negro, obteniendo de 10 a 11 quintales por metro cúbico de materiales procesados.

Tabla XVI. **Contenido de nutrientes de algunos materiales utilizados en aboneras**

MATERIAL	Porcentaje					mg / kg					
	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Cl	Mn	Zn	S
Estiércol de vacunos	0,7	2,5	4,0								
Estiércol de equinos	1,5	0,5	1,3								
Estiércol de ovejas	1,8	0,7	2,2								
Estiércol de cerdos	1,1	0,5	0,7								
Gallinazas	3,96	3,0	1,0								
Pulpa de café	2,0	0,19	3,0	1,5	0,25						
Roca fosfórica	0,0	33,0	0,0	33,2	0,2			0,1	0,03		0,3
Cal dolomítica	0,0	0,00	0,0	21,5	11,4	0,01	0,001	0,0	0,11	0,0	0,3
Ceniza	0,0	1,8	5,5	23,3	2,2	0,2	0,1	0,2	0,8	0,2	0,4

Fuente: Anacafé.

#### 4.2.1.2.2. **Proceso de transformación de la pulpa de café por lombricultura**

La lombricultura consiste en el cultivo intensivo de la lombriz californiana o coqueta roja (*Eisenia foetida*) en residuos orgánicos aprovechados como abono para cultivos agrícolas. A estos desechos orgánicos arrojados por la lombriz se le conocen con el nombre de humus que es el mayor estado de descomposición de la materia orgánica, es un abono de excelente calidad. Además, la lombriz roja californiana tiene un 70 % en proteína, lo que significa que es ideal para la alimentación de animales como cerdos o peces.

El desarrollo de la lombricultura para la descomposición del bagazo del café resulta una manera eficiente para reducir los desechos sólidos del proceso de beneficiado húmedo, produciendo un abono orgánico de alta calidad el cual se puede comercializar o introducir al sistema productivo de la finca. Los factores que inciden en el proceso son los siguientes:

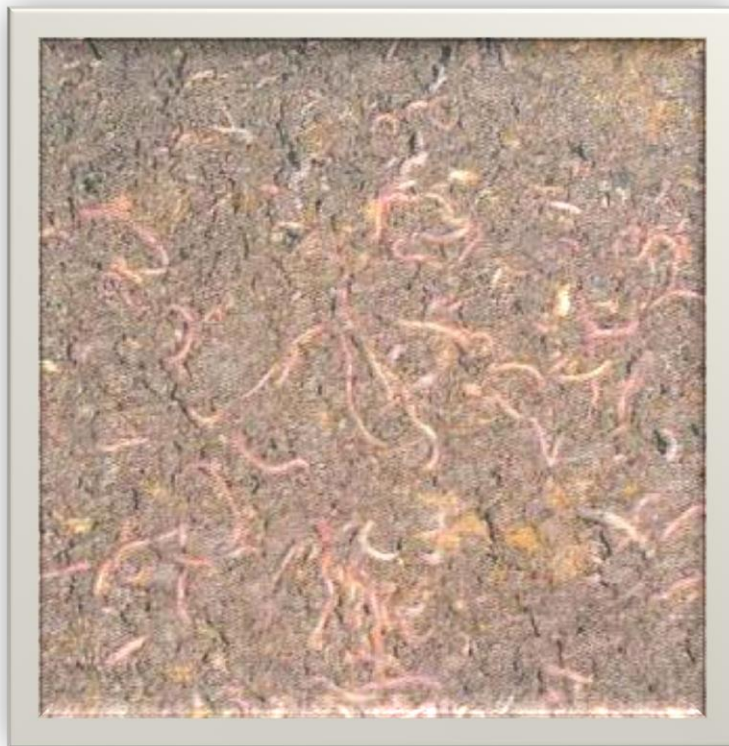
- Temperatura: la temperatura del material debe oscilar entre 18 y 25 °C, pero puede soportar hasta 30 °C. Por arriba de esta temperatura pueden morir las lombrices.
- Humedad: el material debe ser húmedo, para evitar que se reseque el cuerpo de las lombrices (estas respiran a través de su piel), y para que ingieran más fácilmente los alimentos. Sin embargo, no debe ser en exceso porque provocaría que las lombrices se ahoguen. La humedad adecuada debe ser entre 75 y el 85 %.
- Ventilación: debido a que la lombriz necesita del oxígeno para vivir, su ambiente debe estar suficientemente ventilado. Esto se logra regulando la humedad en el sustrato y evitando su compactación al momento de colocarlo en los recipientes.
- El pH: se refiere a la acidez o alcalinidad de los materiales a procesar. El intervalo óptimo es de 6.5 a 7.5 (cercano a la neutralidad). Si el pH es muy ácido o muy alcalino, puede matar las lombrices o disminuir su reproducción.

Se describen a continuación las ventajas de la lombricultura

- Contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrientes haciendo que puedan ser inmediatamente asimilables por las raíces.
- Transmite directamente del terreno a la planta hormonas, vitaminas, proteínas y otras fracciones humificadores.
- El lombricompostado aumenta notablemente el porte de plantas, árboles y arbustos en comparación con otros ejemplares de la misma edad. Durante el trasplante previene enfermedades y evita el *shock* por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad.
- Favorece la formación de micorrizas, aumenta la resistencia a las plagas u otros agentes patógenos; inhibe la proliferación de hongos y otras bacterias, nocivos para la planta; ayuda a la absorción radicular.
- Regula el incremento y la actividad de los nitritos del suelo y protege al suelo de la erosión natural.
- Mejora las características estructurales del terreno, lo cual es un aporte muy valioso en las pendientes de la cuenca.
- Aporta e incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, boro, y los libera gradualmente, e interviene en la fertilidad física del suelo porque aumenta la superficie activa.
- Su color oscuro contribuye a la absorción de energía calórica.

- Neutraliza eventuales presencias contaminadoras (herbicidas, esterres fosfóricos), debido a su capacidad de absorción y mejora la calidad y las propiedades biológicas de los productos del agro.
- No tiene vencimiento, ya que a medida que pasa el tiempo es más asimilable.

Figura 44. **Lombriz californiana o coqueta roja (*Eisenia foetida*)**



Fuente: Anacafé.

El manejo de esta lombriz es muy sencillo e ideal para tener en la finca, pues se utiliza de alimento para ellas todos los desechos orgánicos como estiércoles de los animales y vegetales sobrantes de los cultivos. La lombriz es un anélido hermafrodita: pertenece al phylum de los anélidos, a la clase de los

oligoquetos cuyas glándulas producen el huevo o cápsula, esta tiene un color amarillo verdoso, con unas dimensiones aproximadas de 2 a 3 por 3 a 4 mm, no siendo por lo tanto redonda sino teniendo una forma parecida a una pera muy pequeña, redondeada por una parte y acuminada por la otra. Por esta última emergen las lombrices después de 14 a 21 días de incubación. Las condiciones del medio deben ser óptimas, ya sea para la producción del humus, o para la actividad sexual. Una buena temperatura del medio inmediato oscila alrededor de 19 a 20 °C.

Los climas templados, el clima de la zona cafetera es ideal para el cultivo de la lombriz. Así, mismo es muy importante el manejo del lombricultivo como es una comida idónea, agua de calidad y en la cantidad necesaria. La cantidad inicial del pie de cría y la velocidad de transformación de la pulpa depende de la cantidad de lombrices.

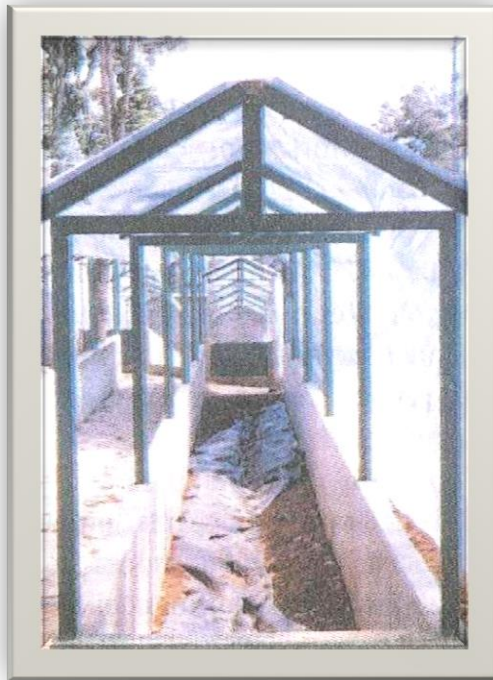
Cuando se desea un proceso rápido, la densidad de lombrices debe ser alta: a rededor de 5 kg de lombriz pura por metro cuadrado, que corresponde aproximadamente entre 20 y 25 kg de lombriz mezclada con sustrato conocida como lombriz comercial. Una de las desventajas para la zona cafetera es que son poco eficientes, requiere de una estructura construida y grandes áreas, no toleran humedades al punto de saturación como ocurre en la época de pico de cosecha y este sistema colapsaría.

- Proceso del lombricompost
  - Es el reciclaje biológico de desechos orgánicos, los que son transformados en materiales orgánicos estables llamados humus de lombriz. Mediante este proceso se acelera la descomposición del material orgánico.

- El trabajo de años, las lombrices lo hacen en meses. Este es un proceso sencillo y económico, pero principalmente se requiere de interés y mucho entusiasmo.
- Preparación de nichos: estos constituyen los albergues donde se aloja la lombriz, los cuales deben reunir ciertas características y condiciones.
  - Construcción de nichos: de preferencia deben construirse de 1 metro de ancho por 1.5 de alto y lo suficientemente largos para reciclar los subproductos.
  - Los materiales para su construcción pueden ser: bambú, madera, láminas, plástico, *block*, etc.
  - Las composteras deben estar ubicadas cerca de disponibilidad de agua, bajo techo, protegidas de la acción directa del sol y de la lluvia, con buena ventilación.
- Manejo: una vez construidos los nichos y que el precompost esté listo para ser utilizado como dieta, se inicia la transformación de la materia orgánica a humus de lombriz.
  - Colocar dentro del nicho una capa de compost de aproximadamente 20 centímetros de espesor. Este material debe tener un pH neutro, una temperatura máxima de 30 grados centígrados y una humedad del 80 %, para que sea aceptado por la lombriz.



Figura 45. **Nicho para lombrices**



Fuente: Anacafé

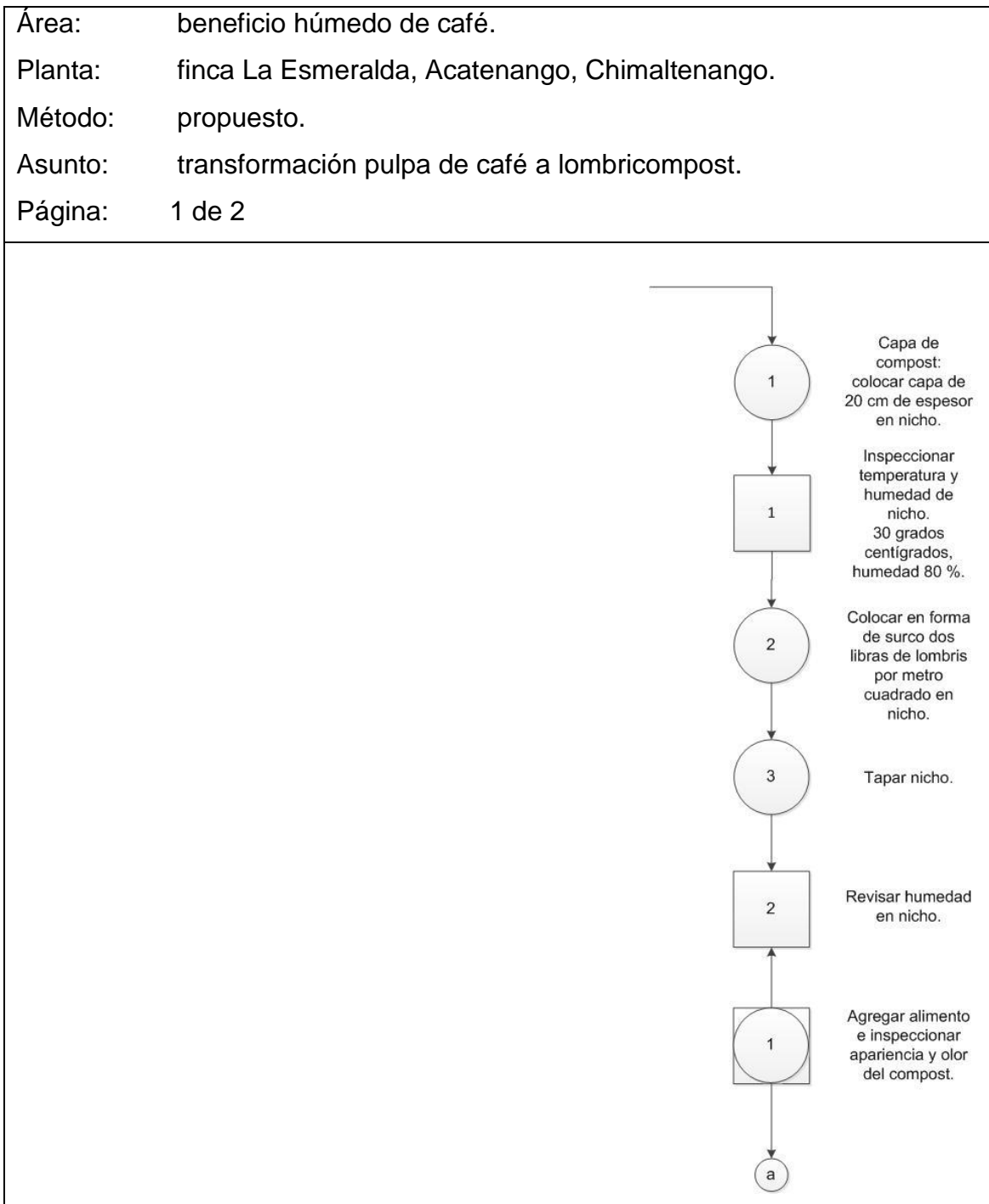
- Colocar en forma de surco, al centro del nicho, un kilo (2 libras) de lombriz por cada metro cuadrado.
- Tapar el nicho con nailon de polietileno negro. De aquí en adelante será necesario controlar que el nicho mantenga la humedad adecuada.
- Periodicidad de alimentación. Una vez las lombrices procesen el alimento anterior, el cual tiene una apariencia agradable y buen olor, será el momento de alimentarlas nuevamente con otra capa de compost de 20 centímetros de espesor y así sucesivamente hasta que el nicho esté lleno de humus.

- Durante todo el proceso hay que vigilar que los nichos estén libres de depredadores (hormigas, sapos, ranas, aves, entre otros).
- Cosecha: una vez lleno el nicho de humus, será necesario retirar, como mínimo, el 90 % de la lombriz. Para esto será necesario colocar en horas de la tarde el *nailon* de polietileno negro, sin agujeros sobre el humus y agregarle una capa de agua de una pulgada. Se deja así toda la noche y al día siguiente, por lo fresco del agua, la lombriz tiende a subir a la superficie; conforme se recolecta la lombriz, el nicho se destapa poco a poco; esta operación se realiza, por lo menos 3 veces, y con esto se recolecta aproximadamente, el 90 % de la lombriz.
- Humus: es lo que queda en el nicho, con un buen contenido de huevecillos y lombrices jóvenes. Este excelente material puede ser usado directamente como abono para los cafetos en el almácigo o en campo definitivo. También puede ser objeto de un proceso de secado para eliminar el exceso de humedad y tamizarlo, ensacarlo y almacenarlo. Luego puede ser usado o comercializarse

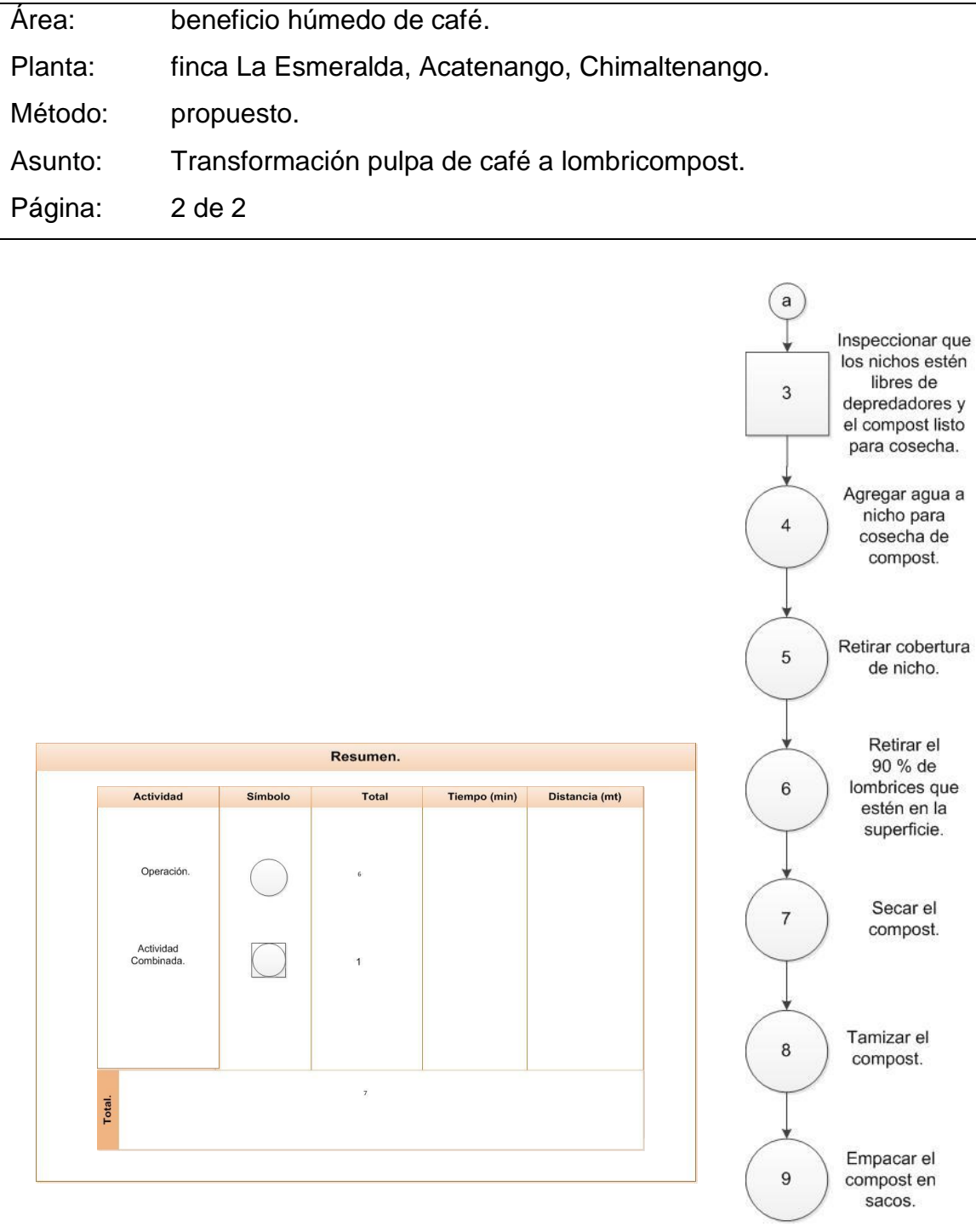
Es importante destacar que toda la materia prima que se les proporciona a las lombrices, proviene de la pulpa del café, esto garantiza obtener un abono 100 % orgánico, por lo tanto, está autorizado su uso para agricultura orgánica.

A continuación, en la figura 39 se presenta el diagrama de proceso para la elaboración de lombricompost.

Figura 46. **Diagrama de proceso para el compostaje (lombricompost) de pulpa de café**



Continuación de la figura 46.



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

### 4.3. Aguas residuales

Es el agua resultante del proceso, contiene una alta concentración de carga orgánica formada por el mucílago del fruto del café y algunas trazas de pulpa.

La contaminación por aguas residuales del beneficiado húmedo depende de la cantidad de café procesado (carga contaminante global) y de la concentración de materia orgánica de las mismas. Por otro lado, esta contaminación no depende de la cantidad de agua utilizada por quintal de café procesado. Por las características de las operaciones y los materiales usados en el beneficiado de café, las aguas residuales tienen una alta carga orgánica que provoca una alta demanda de oxígeno, diferentes tipos de sólidos y un pH con características acidas ( $\text{pH} < 7$ ).

Debido a las características usuales de las aguas residuales generadas en los beneficios húmedos, se recomienda aplicar un tratamiento físico y químico a las aguas residuales:

- Tratamiento físico: incluye el uso de tanque recolector decantador y filtros.
  - Floculación, decantación
    - Se requiere de dos o más pilas colocadas en serie o paralelas, con un volumen de agua acorde al que se utiliza en una jornada del beneficio. En estas pilas el agua tendrá un tiempo de resistencia hídrica (TRH) de 24 a 48 horas en total, es decir, de 12 a 24 horas en cada una.

- El propósito es que se obtenga la máxima floculación-decantación permitiendo, de esta manera, la recuperación de los lodos y la separación del agua clarificada.
  - Las pilas tendrán en el piso una pendiente del 10 a 12 %, para dar efecto de esorrentía y, así vaciar los lodos a una pila específica y aledaña para recuperarlos. Cada una contará con dos tipos de drenajes. Uno de ellos para drenar los lodos, con una salida de 6 pulgadas de diámetro y el otro, que contará con un falso codo, con un diámetro de 3 a 4 pulgadas y servirá para trasladar las aguas clarificadas hacia el tanque situado a un plano más bajo.
  - La esperanza de eficiencia de los tamices y de estas pilas será la de eliminar del 50 al 65 % de los sólidos suspendidos y del 45 al 50 % de demanda química de oxígeno (D.Q.O.).
- Tratamiento químico: aplicar una solución de carbonato de calcio para la neutralización de las aguas residuales.

#### **4.3.1. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de aguas residuales del beneficiado de café implica, como primera condición la recirculación del agua utilizada en el beneficio húmedo.

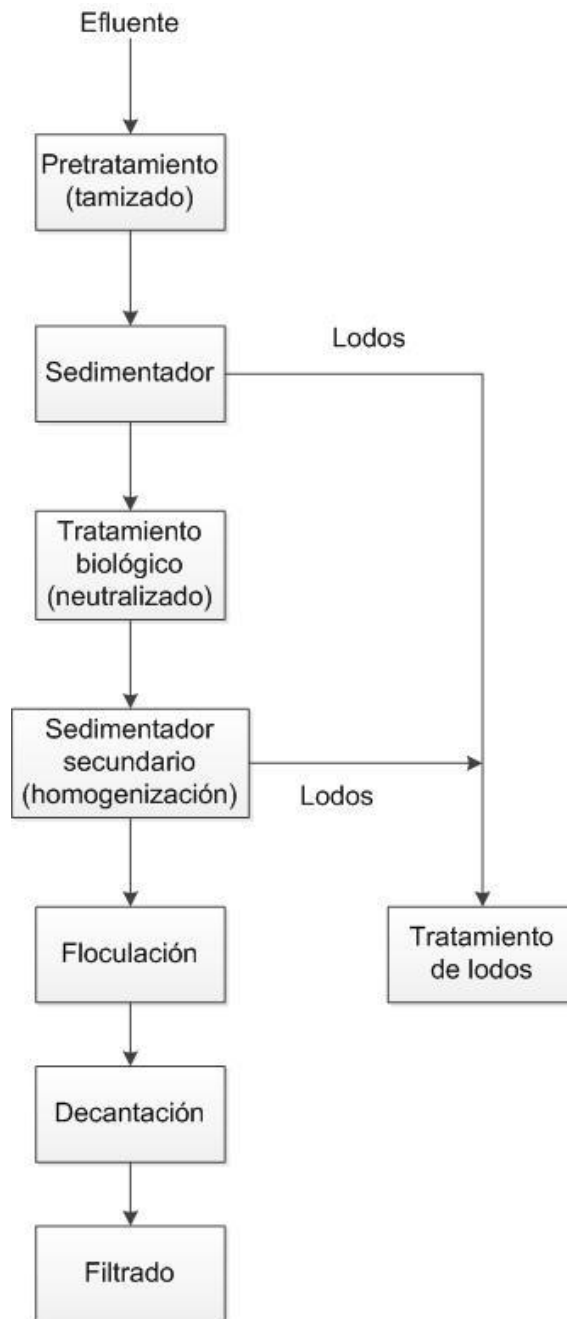
Posteriormente le siguen los siguientes pasos: tamizado, neutralización, homogenización, floculación, decantación y filtrado.

Tratamiento primario, tamizado: consiste en una cámara para atrapar y eliminar físicamente las partículas gruesas como trazas de pulpa y otros, por medio de tamices con orificios de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$  y  $\frac{1}{16}$  de pulgada. Los tamices pueden ser de 0,20 X 0,47m insertados en una hendidura con una inclinación de 60°. El piso de la cámara tendrá una pendiente inversa al flujo de 3 % para que el agua pierda velocidad e incremente la eficiencia de atrape. Luego el agua se conduce a un homogeneizador.

Tratamiento secundario, Reducción de la acidez: se agrega una solución de 2% de hidróxido de calcio (cal) dependiendo de la cantidad de agua residual disponible (3 a 6 gr/Lt). Con el fin de elevar el pH. Al mismo tiempo se genera el efecto de la floculación y decantación. Decantación: consiste en dos o más pilas para que se realice la floculación. El tiempo de residencia hídrica será de 24 a 48 horas. El piso tiene una pendiente de 15 % para que el agua pase por escorrentía. La expectativa de eficiencia en la reducción de carga orgánica de estas pilas será eliminar entre el 50 a 65 % de los sólidos suspendidos y 45 a 50 % de DQO, (Anacafé). Drenaje con golpeteo para dar aireación: consiste en un canal que conduce al agua clarificada a las fosas de infiltración. El canal cuenta con topes formados con piedra pomes para provocar que el agua golpee y así darle aireación, (Anacafé).

A continuación, en la figura 45 se presente el diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales para el proceso de beneficiado húmedo de café:

Figura 47. **Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas residuales**

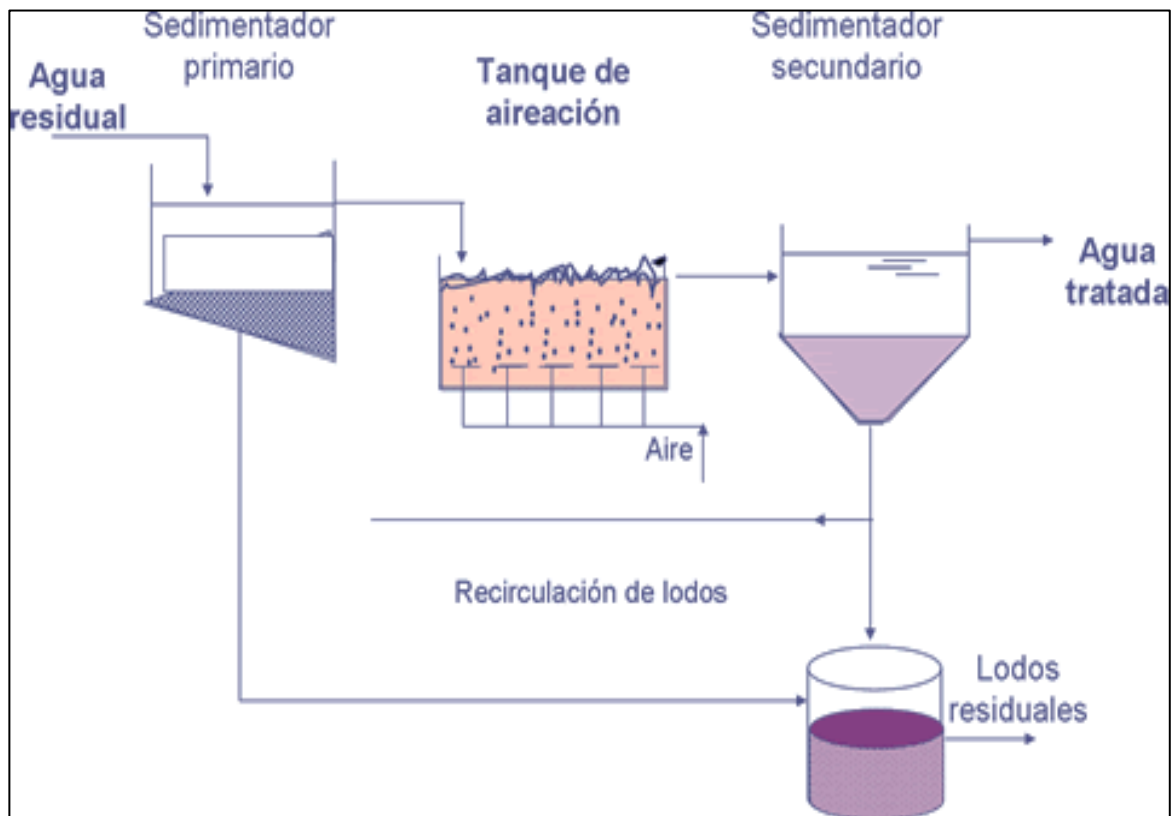


Fuente: elaboración propia. empleando programa Microsoft Visio 2010.



Fosas de infiltración: el tiempo de residencia hídrica es toda la época posterior a la finalización de la temporada del beneficiado. La pulpa es transportada hidráulicamente hacia fosas de infiltración, en donde puede separarse el agua que sirve como vehículo de la pulpa y verterla hacia zanjones naturales, dentro de las fincas. El caso extremo a evitar, es que ambos subproductos vayan directamente hacia el cuerpo receptor. El agua proveniente del proceso de lavado y clasificación es generalmente canalizada con el agua de despulpado. En el caso de los beneficios tradicionales la carga contaminante se reduce por dilución, debido a los altos volúmenes de agua utilizada en el proceso.

Figura 48. Diagrama de tratamiento de agua residual



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2014.

En la figura 46 se presenta el proceso de recepción de agua residual para ser tratada, la cual ingresa por el sedimentador primario, luego un tanque de aireación, para terminar en la disposición de lodos por gravedad.

#### **4.3.2. Reutilización del agua residual para riego**

El uso de aguas residuales en agricultura constituye una de las herramientas más valiosas que tienen los países en vías de desarrollo para controlar la contaminación y hacer frente al reto que constituye incrementar la producción agrícola con un recurso hídrico escaso.

Las aguas residuales constituyen un problema sanitario, pero a su vez un recurso muy apreciado para el riego y la piscicultura; de gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados. Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos, estos nutrientes se conservan en el protoplasma de las algas al tratar las aguas residuales en lagunas de estabilización.

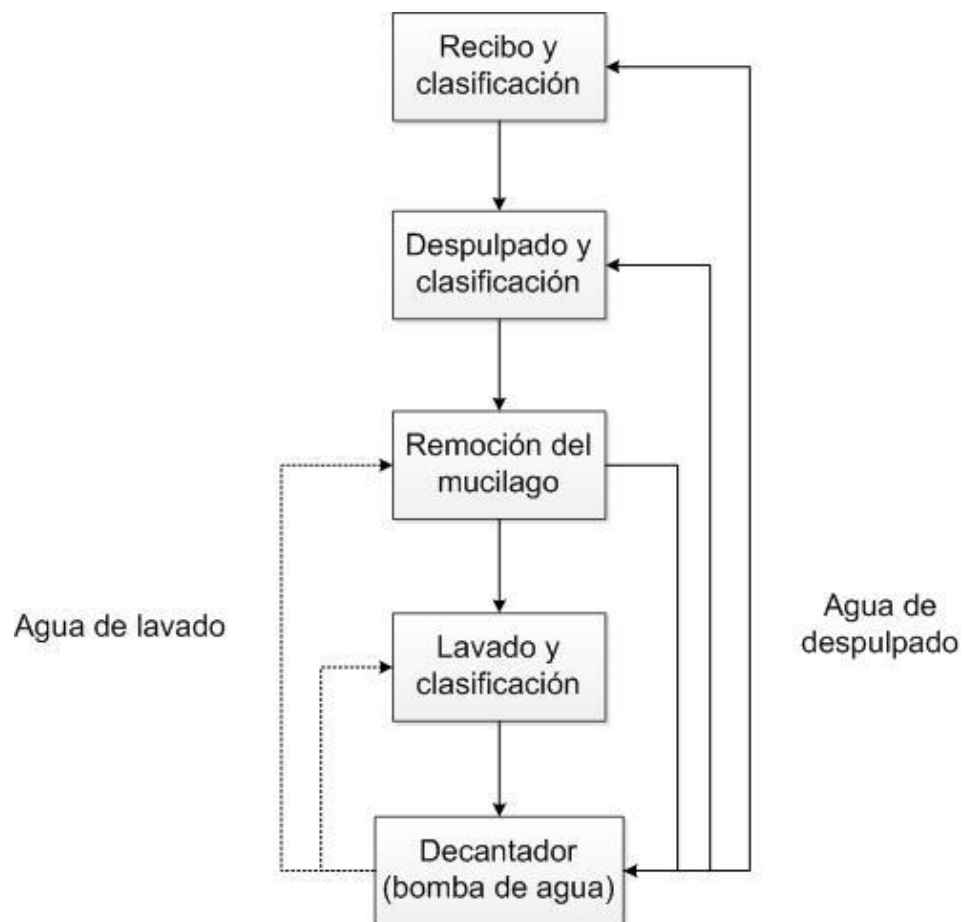
Los tóxicos y microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden causar efectos nocivos a la salud y a los cultivos, si no se utilizan el tratamiento y el manejo adecuados. Algunas sustancias presentes en las aguas residuales pueden resultar perjudiciales a los suelos, si no se toman las medidas correctivas apropiadas.

La aplicación de aguas residuales, crudas o previamente tratadas, al suelo, campos de cultivo, o estanques de piscicultura constituye en sí un tratamiento adicional que mejora la calidad de las mismas.

### 4.3.3. Recirculación de agua en los sistemas del proceso

La recirculación del agua consiste en retornar el agua de proceso de despulpado y lavado, se hace utilizando una bomba centrífuga de caudal y un tanque de concreto de bajo volumen que debe construirse en la parte más baja del beneficio, conocido como tanque recolector decantador, al cual debe llegar por gravedad toda el agua de despulpado y lavado.

Figura 49. **Diagrama de flujo de agua en un sistema de recirculación de agua a circuito cerrado en las etapas del proceso de beneficiado de café**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

- Las principales ventajas de la recirculación del agua son:
  - Reduce el volumen de agua.
  - Disminuye el uso de agua limpia.
  - Acelera el proceso de fermentación.
  - No altera la calidad del grano.

#### **4.4. Diseño de la obra física para el tratamiento de residuos sólidos**

Considerar un área mínima de 70 m<sup>2</sup>, el cual llene todos los requisitos, para que las respectivas autoridades autoricen la construcción; Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como la municipalidad del lugar.

- Diseño del reactor neutralizador (TR): tiene una capacidad de 17 376 m<sup>3</sup>, para un lote de 10 m<sup>3</sup> del ácido residual más 5 m<sup>3</sup> de la lechada de cal y 0,5 m<sup>3</sup> de coagulante floculante, más un 12 % de seguridad del volumen de su capacidad, para hacer un total en volumen requerido de 17,36 m<sup>3</sup>. De concreto armado tipo cisterna enterrado, abierto a la atmósfera. Esta es ejecutada por un Ingeniero civil, con la supervisión del ingeniero químico quien es el diseñador.
- Diseño tanque coagulante-floculante (TCF): el tanque con una capacidad de 0,90 m<sup>3</sup>, con una base cónica, de lámina negra 1/8 de pulgada, abierta a la atmósfera, a 0,75 m sobre el nivel del suelo, obra ejecutada por un ingeniero mecánico, con la supervisión del ingeniero químico diseñador.
- Diseño tanque de lechada (TL): su capacidad es de 2,50 m<sup>3</sup>, de lámina negra de 1/8 de pulgada, abierta a la atmósfera, a 0,75 m sobre el nivel

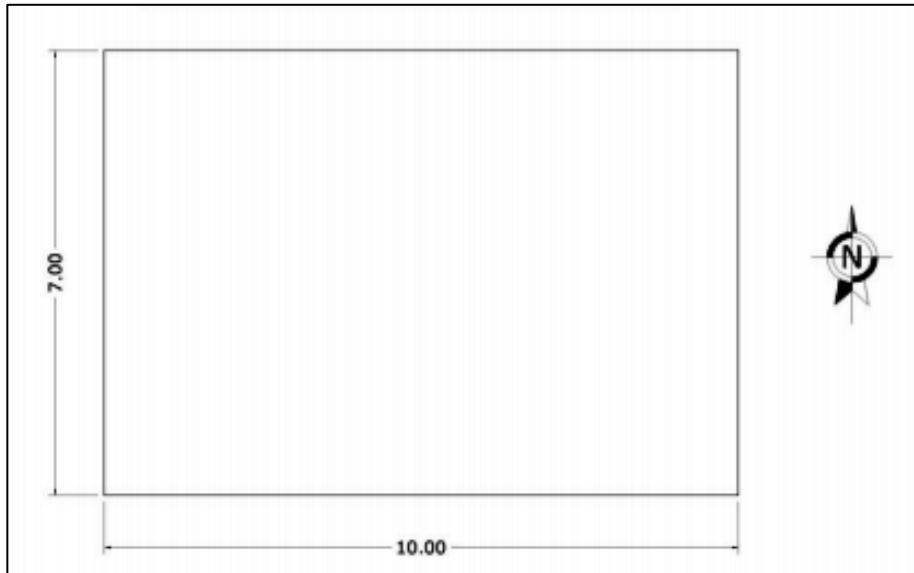
del suelo, con una base cónica, obra del ingeniero mecánico, supervisado por ingeniero químico diseñador.

- Diseño tanque de sedimentación (TS): una capacidad de  $12,0 \text{ m}^3$ , el sedimentador completamente cerrado, de lámina negra de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, a 1,50 m sobre el nivel del suelo, arriba del reactor neutralizador (TR), obra de ingeniería mecánica, supervisado por el ingeniero químico diseñador.
- Diseño filtro de arena (FA): con una capacidad de mínima de  $10,0 \text{ m}^3$ , más un 10 % de su capacidad, para un total de  $11 \text{ m}^3$ , como filtro utiliza una capa de grava o pedrín de  $\frac{1}{2}$  o una pulgada de diámetro y arena, se recolecta el líquido por medio de tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro perforados manualmente, obra ejecutada por un ingeniero civil y por un ingeniero mecánico, y supervisado por el ingeniero químico diseñador.
- Diseño tanque de agua (TA): con un volumen de  $12,0 \text{ m}^3$ , de concreto armado tipo cisterna, completamente cerrado enterrado del nivel del suelo hacia abajo, obra civil, supervisado por ingeniero químico diseñador.

#### **4.5. Área y diseño de la obra física para el tratamiento de aguas residuales y sólidos**

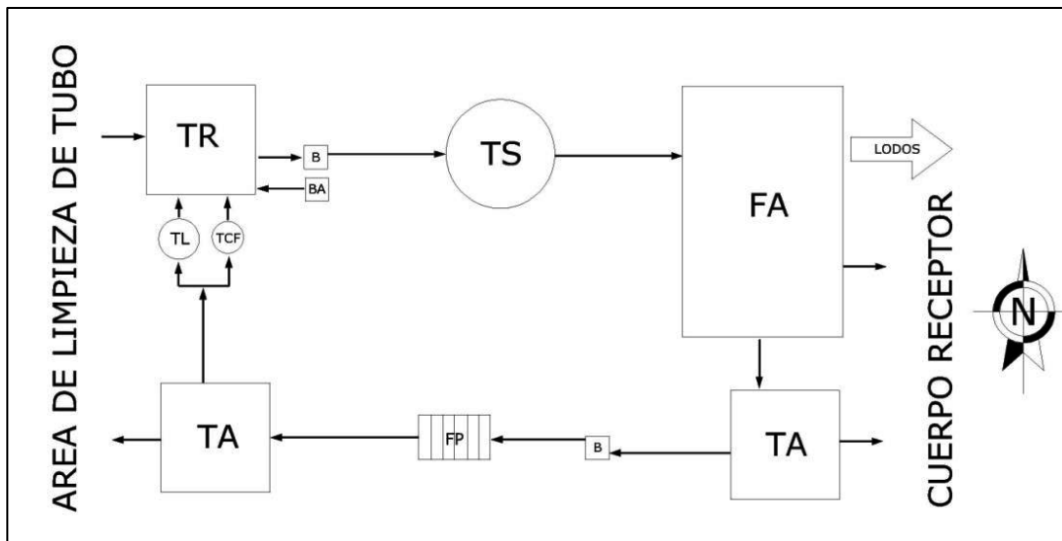
A continuación, en las siguientes figuras se presenta el área de diseño de la obra física para el tratamiento de aguas residuales y sólidos.

Figura 50. **Plano del terreno**



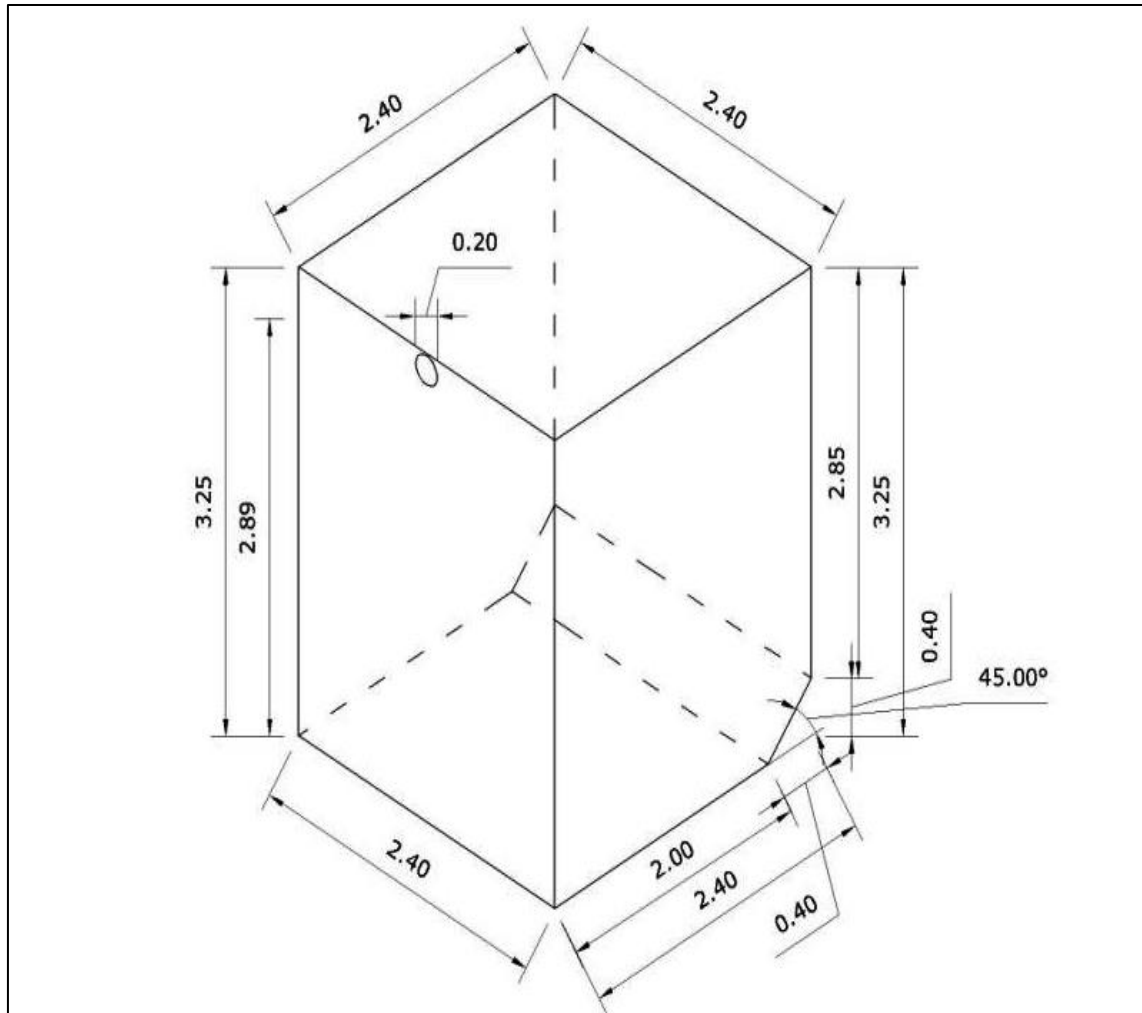
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2014.

Figura 51. **Vista planta tratamiento de aguas residuales y sólidos**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2014.

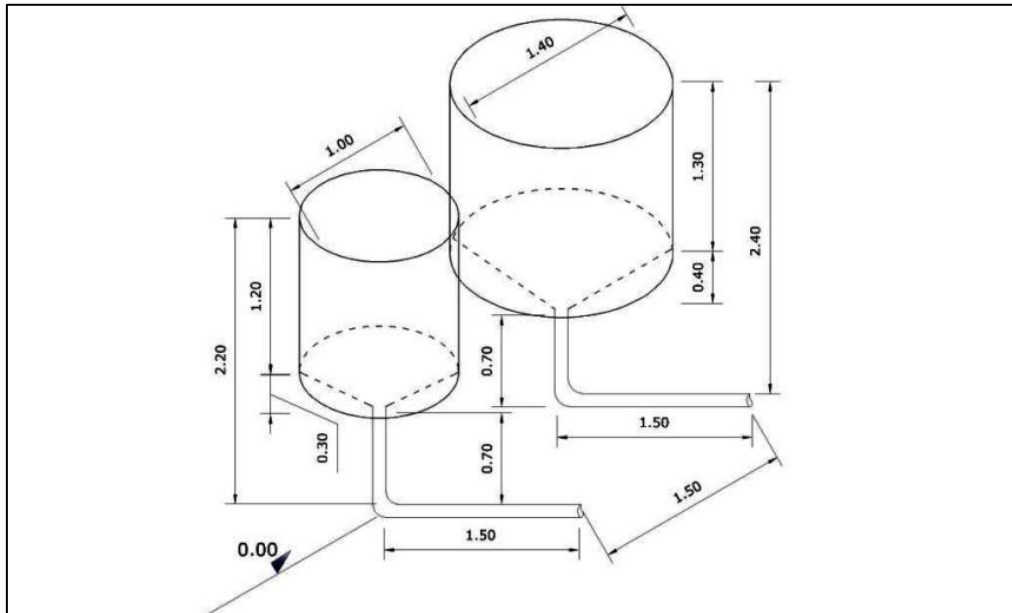
Figura 52. Diseño de tanque reactor



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2014.

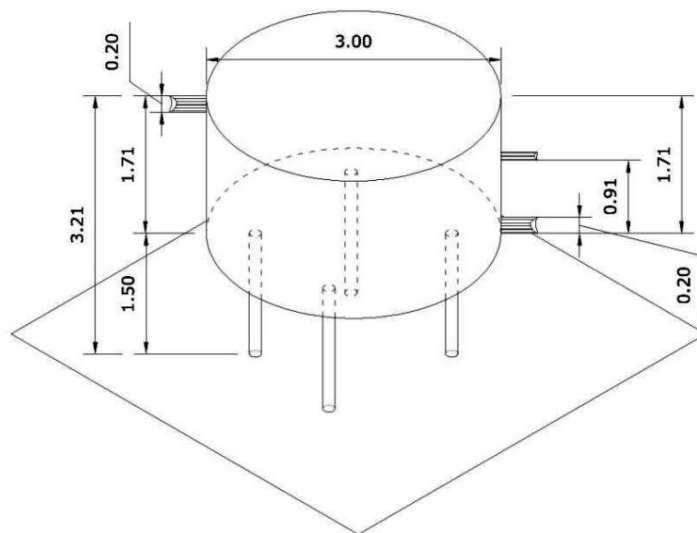
En el reactor se presenta la parte más importante de la planta, ya que se realiza la neutralización del ácido, la coagulación-floculación y la oxidación del hierro

Figura 53. **Diseño tanque coagulante-floculante y lechada (TCF Y TL)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2014.

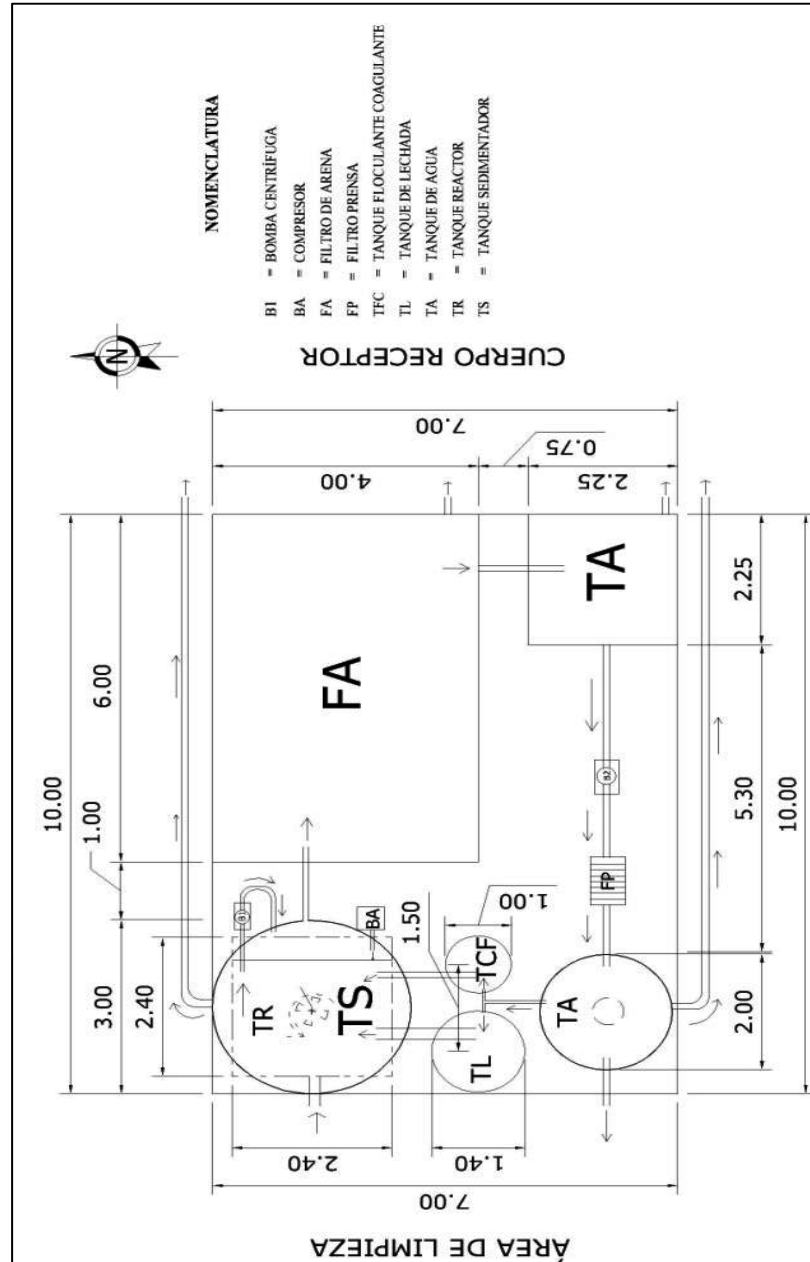
Figura 54. **Tanque de sedimentación**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD 2014.



Figura 55. Vista en planta



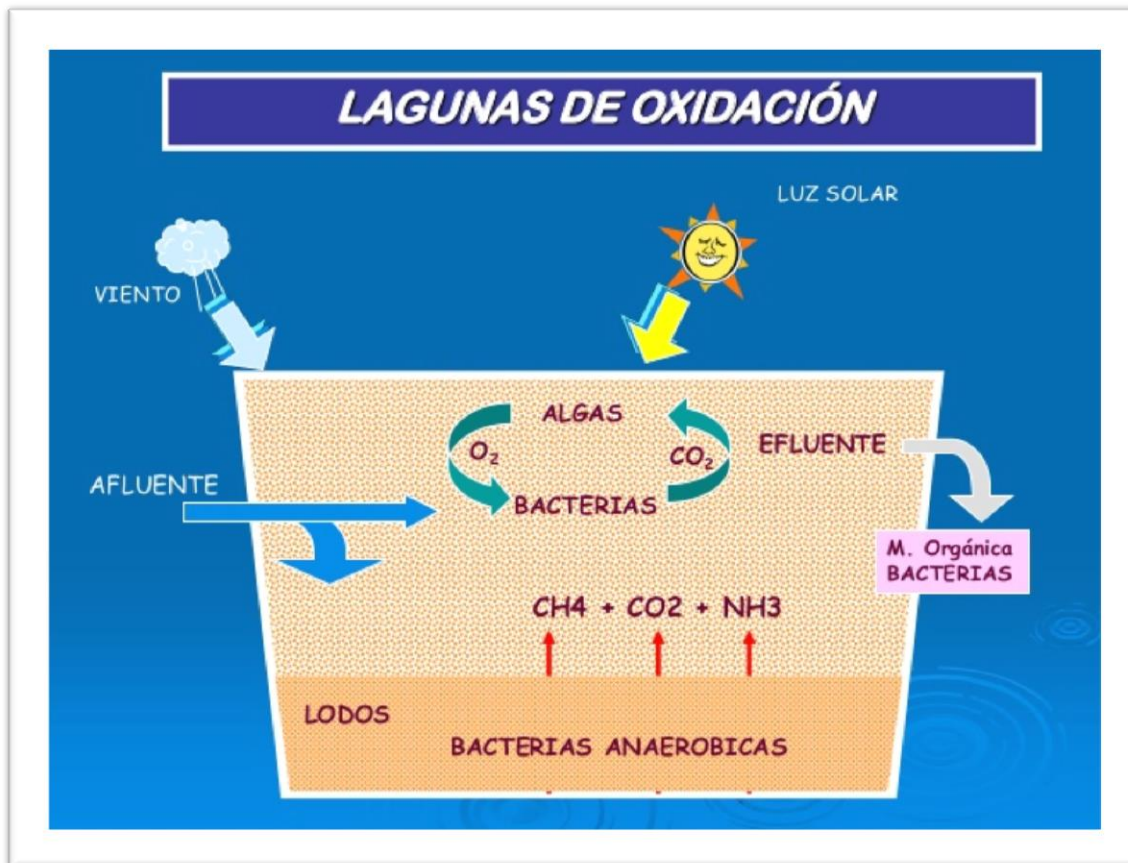
Fuente: elaboración propia. empleando programa AutoCAD 2014.

Como se observa en la figura 53, se presentan la vista en planta de la ubicación de cada uno de los tanques para la planta de tratamiento.

#### 4.5.1. Lagunas de oxidación

Estas lagunas utilizan microorganismos aerobios para la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Como ventajas se tienen la facilidad de operación y mantenimiento y los bajos costos de operación ya que no requieren energía y su baja producción de lodos. Como desventajas pueden citarse que necesitan de grandes áreas para el tratamiento y que se pueden generar procesos de eutrofización.

Figura 56. Laguna de oxidación



Fuente: BLANCO LONDOÑO, Sergio. *Sistemas de tratamiento de aguas residuales*. p. 43.

#### **4.5.2. Lagunas para lodos**

El propósito de esta laguna es recopilar todos los lodos, arearlos o bien llevarlos hasta ser desecados, para que posteriormente utilizarlos como abono orgánico conjuntamente con la pulpa, como compost. La capacidad de la laguna será del 30 al 40 % del total del volumen del agua utilizada en la temporada.

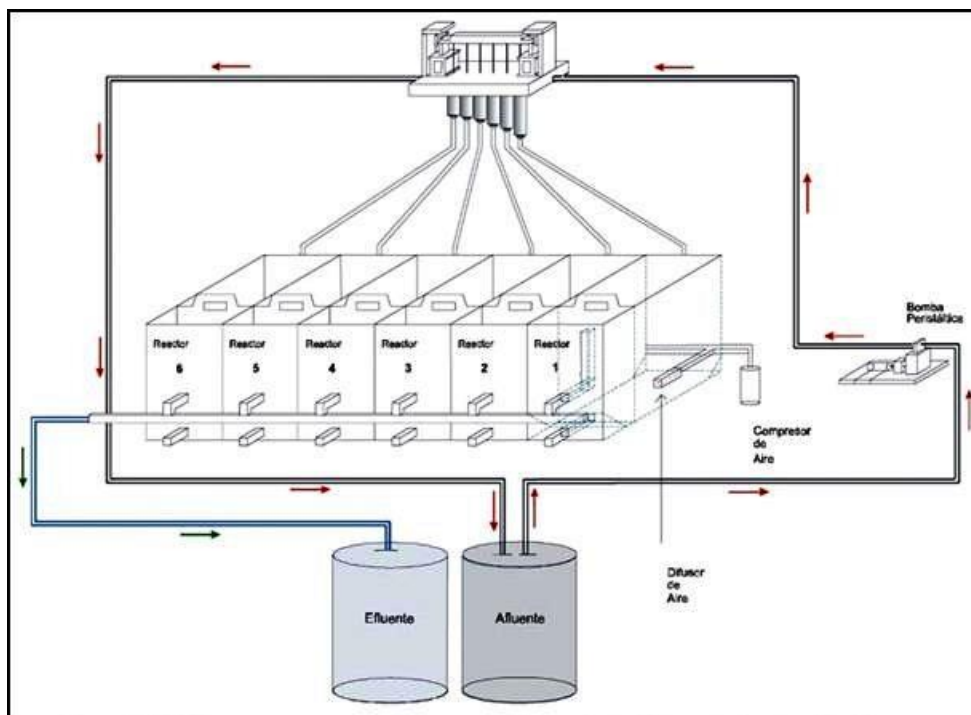
Desde el punto de vista biotecnológico, una planta de lodos activados es un bioproceso de funcionamiento continuo, en donde el tratamiento biológico de aguas residuales para su depuración es realizado por un reactor biológico o biorreactor, mediante un proceso de cultivo continuo de fangos activados, que se realiza por medio de un cultivo bacteriano aerobio mixto de microorganismos en suspensión: bacterias filamentosas y formadoras de flóculos; cuyo accionar causa la oxidación de la materia orgánica en suspensión.

El contenido del reactor se conoce con el nombre de líquido mezcla. El ambiente aerobio se consigue mediante la aireación o difusión forzada de aire dentro del medio fluido, por el uso de difusores de aire que, a su vez, permiten mantener el líquido mezcla perfectamente agitado y en movimiento continuo (estado de mezcla completa). Debe pasar un periodo de tiempo determinado, llamado tiempo de retención, para que, la mezcla de células nuevas con células viejas, conduzca a la oxidación completa de la materia orgánica. De ahí, parte del líquido mezcla es pasado desde la parte superior del tanque, hasta un tanque de sedimentación para la separación del agua residual tratada. Este proceso es llamado clarificación del agua. Otra parte del líquido mezcla, es pasado desde la parte baja del tanque (que contiene las células sedimentadas) y se recircula para mantener en el biorreactor, una concentración de células equilibrada. Finalmente, la otra parte se purga del sistema (fango en exceso) hacia otro proceso en donde son tratados los fangos. Las bacterias

filamentosas y las formadoras de flocúlos son los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica del afluente.

El agua procedente del tratamiento primario, al tanque de aireación, en donde es mezclada con el aire disuelto que sale por los difusores. El suministro de aire a lo largo de toda la longitud del tanque debe ser uniforme para lograr una mezcla completa. Durante el periodo de aireación se produce la absorción, floculación y oxidación de la materia orgánica en suspensión. Los sólidos del fango activado se separan en un decantador secundario. Este proceso necesita de una carga orgánica reducida y un largo periodo de aireación.

Figura 57. **Proceso de una laguna de lodos**



Fuente: ACUÑA TORRES Reinhardt. *Como funciona una planta de lodos activados*,  
[www.bioreactorcrc.wordpress.com/2008/04/30/como-funciona-una-planta-de-lodos-activados](http://www.bioreactorcrc.wordpress.com/2008/04/30/como-funciona-una-planta-de-lodos-activados).

Consulta: 2 de enero de 2011.

## **4.6. Elementos asociados a la implementación**

Existen diferentes elementos asociados a la implementación de un proceso de manejo de residuos sólidos y líquidos, los cuales se describen a continuación.

### **4.6.1. Capacitación**

La capacitación permanente de los operadores en los temas técnicos de los procesos es fundamental, así como la seguridad y salud ocupacional.

Es una vía para optimizar el consumo de materias primas y reducir la cantidad de desperdicios, residuos y accidentes laborales.

La aplicación del mantenimiento preventivo y del control continuo de desempeño debe ser implementado. Se recomienda enfatizar en los temas técnicos, la importancia del manejo adecuado del equipo e instalaciones; la aplicación del mantenimiento preventivo a los mismos y la aplicación de un control continuo de desempeño de actividades. En otro sentido, la actividad de corte en el campo tiene un impacto en la calidad de procesamiento del café, desde el punto de vista del tipo de fruto que se corta y se lleva al beneficio. Es necesario capacitar y concienciar a los trabajadores de corte para que realicen esta actividad de manera de llevar al proceso solo café con las características adecuadas para su beneficiado. Dentro de este proyecto hay que realizar sesiones de entrenamiento en asuntos técnicos de la planta, seguridad y ambientales para todos los trabajadores, previo al inicio de las labores, abordando los siguientes puntos:

- Características fisiográficas del área.

- Normas ISO 14000.
- Políticas de seguridad, salud y ambiente del beneficio de café.  
Prohibiciones acerca de la caza, colección y/o consumo de especies de flora y fauna, catalogadas como vulnerables.
- Procedimientos para la gestión de desechos.
- Uso y manejo de extintores
- Cuidados de la salud, ergonomía en el trabajo, seguridad en el manejo de productos químicos, combustibles, seguridad en el manejo de restricciones y procedimientos para las operaciones.
- Manejo defensivo, equipo de protección personal, trabajo en alturas, seguridad en taludes, mantenimiento de las instalaciones, identificación de riesgos laborales, accidentes en el trabajo, medidas de seguridad y contingencia ante emergencias.

#### **4.6.2. Mantenimiento de equipo e instalaciones**

El mantenimiento preventivo de los equipos logra evitar problemas de funcionamiento y eficiencia en las operaciones. Se describen a continuación las recomendaciones para el buen uso de las instalaciones del beneficio:

- Despulpadores y equipo de clasificación
  - Graduar los despulpadores por lo menos 3 a 4 veces durante la cosecha, debido al comportamiento del tamaño del grano.
  - No sobre alimentar los despulpadores y la criba de clasificación.

- Colocar rejillas para evitar el paso de material indeseable al despulpador, como piedras, madera, hojas, entre otros, esto evitará el daño de la camisa de despulpado.
- Tomar en cuenta la abertura de la cámara de pulpa para que su descarga sea eficiente, ya que evitará el traslado de la pulpa al círculo de café despulpado. La cámara de pulpa debe tener el doble de abertura que la cámara de despulpado.
- Al finalizar la cosecha se recomienda revisar toda la canalera para detectar reparaciones necesarias y pintarla con material anticorrosivo.

Es importante llevar un control de las actividades de mantenimiento realizadas, esto con el objetivo de tener a mano la información de las condiciones en que se encuentra el equipo y tener un parámetro para tomar decisiones respecto a las actividades a realizar en esta área

#### **4.6.2.1. Tratamiento de residuos sólidos**

La cal aumenta el pH y forma sales cálcicas con los compuestos orgánicos, también favorece la precipitación de otros compuestos en suspensión. Al tratamiento químico le siguen las pilas de floculación-decantación para separar la materia orgánica (en forma de lodos y espuma) del agua clarificada. Según su carga orgánica residual se dispone del agua o se pasa a otro proceso de purificación. El tratamiento químico, que puede ser una solución eficiente y relativamente poco costosa, se tiene que integrar adecuadamente en la cadena de control de contaminación.

#### **4.6.2.2. Tratamiento de aguas residuales para su reutilización**

El sistema de un tanque receptor es un proceso tradicional del beneficiado húmedo del café, se utilizarán altos volúmenes de agua por unidad de producto, se estima que estos utilizan de 2 000 a 3 000 litros para procesar un quintal de café pergamino seco (80 libras de café oro); esta agua si no es controlada llega a fuentes de agua impactando negativamente en la naturaleza innata de ella.

Con el método del reciclado en el proceso semitecnificado se reduce la utilización del agua hasta en un 50 % y en los tecnificados hasta el 90 por ciento. Esto genera un agua altamente cargada de sólidos orgánicos, que provoca alteraciones negativas en fuentes de agua si se descargan directamente, pero permite tratar bajos volúmenes de agua y a un menor costo.

El tanque receptor será el lugar de acopio donde se depositará el agua residual luego de haber sido recirculada las veces necesarias, y el volumen de este es el doble de la capacidad que maneja el beneficio en un día. La finalidad de este receptáculo es almacenar el agua residual, por lo menos dos días para no interrumpir el proceso del beneficiado, esto para atenuar la escasez si hubiera una emergencia en cualquier etapa del beneficiado. También es la primera fase de floculación decantación y extracción de los lodos sin efectuar la neutralización que consiste en la aplicación del hidróxido de calcio que se explicará adelante.

- Tamizado del flujo, neutralización y homogenización: esto consiste en una cámara para atrapar y eliminar físicamente las partículas gruesas,



como trazas de pulpa (hilachas) y otros, por medio de tamices (cedazos) con orificios de, 1/4 y 1/8 de pulgada, colocados en marcos de metal para su duración; que pueden ser de las siguientes dimensiones; 0,44 de ancho por 0,70 m de alto e insertados en una hendidura con una inclinación de 60°.

La cámara puede tener las siguientes medidas: 1 metro o más de largo por 0,40 de ancho por 1,70 m de alto, el piso con una pendiente inversa al flujo del 3% para que el agua pierda velocidad y de esta manera se incremente su eficiencia de atrape. Luego de los tamices, el agua es conducida a un tanque de forma cilíndrica denominado el homogenizador, donde se adiciona por chorro, una solución con cal hidratada (hidróxido de calcio).

- Pilas de floculación-decantación: estas pueden ser construidas en dos sistemas: secuenciales o en paralelo, se elige dependiendo del área, forma y pendiente del terreno. Ambos sistemas serán dos o más pilas para que se realice la floculación-decantación con un volumen igual de agua que se maneja a diario en el proceso del beneficiado, contemplando que la altura no sea mayor de 1,5 metros.

En ellas, el agua tendrá un tiempo de residencia hídrica (TRH) de 24 a 48 horas (mejor si es más). En la primera tendrá un tiempo de residencia hídrica de 24 a 36 horas, en la segunda pila, también de 24 a 36 horas, y así sucesivamente.

El piso tendrá una pendiente de 10 a 15 % para dar efecto de escorrentía y así vaciar por gravedad el agua clarificada y lodos; cada una contará con dos tipos de drenajes. Uno de ellos para drenar los lodos,

con una salida de 6 pulgadas de diámetro, que se ponen al fondo de la pila; y el otro, el de agua clarificada, que contará con un falso codo, con un diámetro de 3 a 4 pulgadas, colocado a un costado a favor de la pendiente para drenar hacia el tanque situado a un plano más bajo, si el sistema es en serie; y si es en paralelo, drenan a filtro de piedrín y grava.

La expectativa de eficiencia en la reducción de la carga orgánica de estas pilas depuradoras será eliminar del 50 al 65 % de los sólidos suspendidos y del 45 al 50 % de DQO.

#### **4.6.2.3. Sistema de recirculación de agua en los sistemas del proceso**

El sistema de recirculación de agua tiene como fin aprovechar las aguas que se utilizan en el proceso de lavado de café.

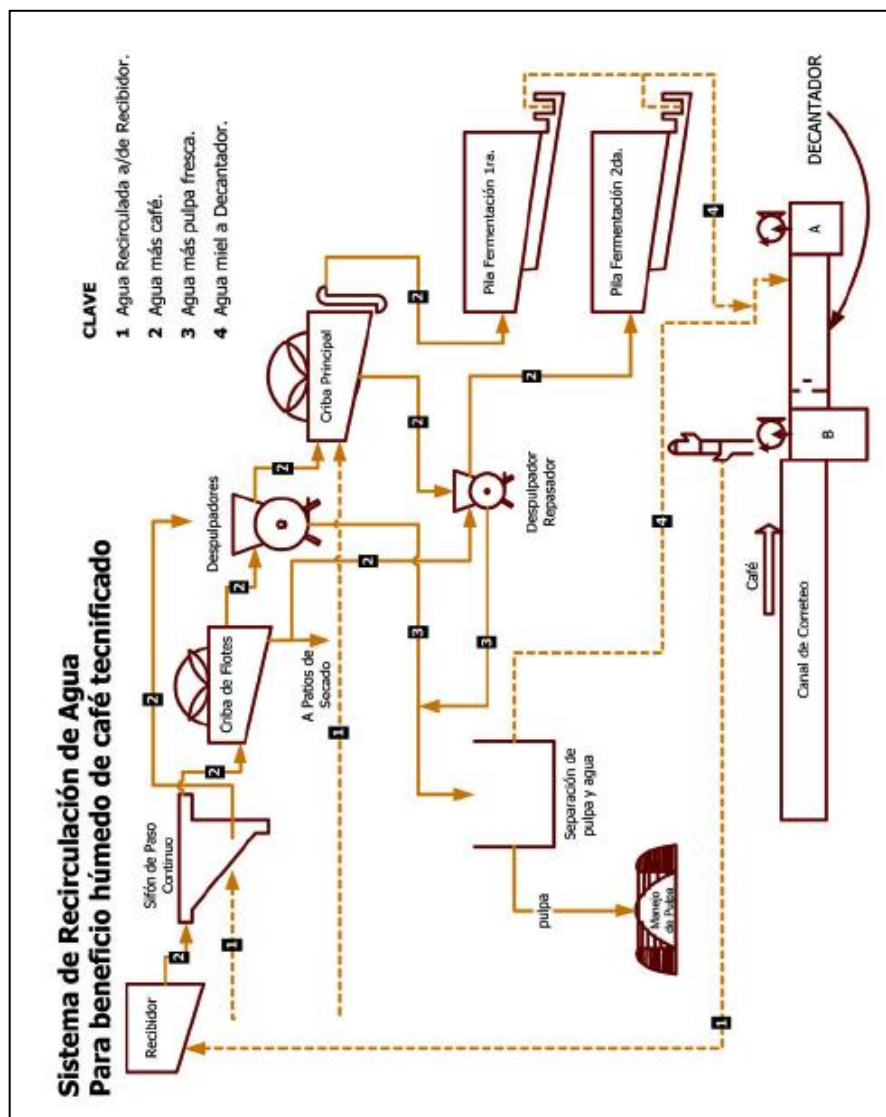
En el proceso de beneficio húmedo existen diferentes operaciones técnicas para minimizar el uso de agua. Básicamente las aguas que pueden ser reusadas son las de despulpado, lavado y clasificación. El reuso de las aguas de despulpado, lavado y clasificación se basan en la implementación de un sistema de recirculación, el cual interconecta las operaciones donde se consume agua en el beneficio.

El sistema recomendado básicamente incluye: tanque recolector decantador, árbol de distribución de agua, equipo de bombeo de impulsor abierto y tubería para los circuitos definidos.

Uno de los componentes más importantes del sistema de recirculación es el tanque recolector decantador, que tiene como objetivos: contar con un punto

central para la recepción de las aguas de procesos a recircular. Realizar un tratamiento físico de las aguas del proceso. Captación de sólidos sedimentales que están contenidos en las aguas de proceso.

Figura 58. **Sistema de recirculación de agua en los sistemas del proceso**



fuelle: *Manual de buenas prácticas operativas de producción más limpias en el sector de beneficio de café.* p. 39.



## **5. MEJORA CONTINUA**

### **5.1. Resultados obtenidos**

Se describen los resultados obtenidos luego del análisis de la situación actual de la empresa y el desarrollo de la propuesta.

#### **5.1.1. Compromiso de la administración**

El compromiso de la empresa es orientar al personal del Departamento de Producción, para lograr una mejora continua, realizando actividades para detectar errores, poniendo en práctica técnicas administrativas que faciliten la ejecución de las distintas actividades operativas de manera eficiente, evitando duplicidad de funciones y pérdida de tiempo.

Se realizarán técnicas de control de calidad en los procesos de producción, para lo cual se emplearán indicadores para medir la calidad del producto, rangos de humedad para almacenamiento, calidad del grano y herramientas de control de calidad administrativas como los círculos de calidad.

Los objetivos de la administración se mencionan a continuación:

- Analizar el programa de sensibilización en los trabajadores, midiendo el desempeño de estos mediante evaluaciones periódicas cuando se crea necesario (ver capítulo 3).

- Propiciar un ambiente de colaboración y apoyo recíproco a favor de un mejoramiento de los procesos operativos de la empresa (finca La Esmeralda).
- Fortalecer el liderazgo de las entidades responsables de la empresa (Gerencia y jefes de área). Definiendo por escrito un procedimiento que describa cómo se deberán realizar las tareas definidas anteriormente.
- Concientizar a todo el personal operativo, sobre la necesidad de desarrollar acciones para mejorar la calidad, para lo cual se deberá contar con personal permanente además de un plan de capacitación constante para las diferentes etapas del proceso.
- Propiciar el talento de los trabajadores para el mejoramiento continuo de la producción.

### **5.1.2. Compromiso del personal**

Se conformará un círculo de calidad integrado por 5 empleados del área de Producción y su coordinador y se reunirán regularmente para estudiar técnicas de mejoramiento de control de calidad, de productividad y de manejo de residuos, con el fin de aplicarlas en la identificación y solución de dificultades relacionadas con problemas vinculados a sus trabajos.

Las funciones del círculo de calidad serán las siguientes:

- Identificar y solucionar problemas relacionados con sus labores cotidianas, en el proceso de transformación del grano de café.

- Mejorar la calidad a través de crear conciencia en los empleados, del trabajo bien hecho y la necesidad de mejorar continuamente los procesos y acciones.
- Generar un mejor entorno laboral, propiciando espacios de participación diálogo, en los cuales el trabajador deberá participar en la toma de decisiones y proponer soluciones.
- Reducir los conflictos en el ambiente de trabajo.

#### **5.1.2.1. Mejora en el manejo de residuos**

Con el sistema de manejo de residuos, la orientación de la empresa deberá ser la de evitar y minimizar la generación de estos, con el fin de lograr mejor aprovechamiento cuando esto sea técnica y ambientalmente viable.

En el caso del manejo de efluentes, se preñerá la reducción del volumen mediante el reúso o recirculación de estos de ciertas partes del proceso, se evaluará la eficiencia de este método midiendo la reducción en el volumen de agua residual a disponer para su tratamiento.

Como se mencionó anteriormente, en el proceso de beneficiado húmedo de café el principal residuo sólido es la pulpa del fruto y lodos (al momento de tener implementado un sistema de recirculación de agua por la actividad del tanque recolector decantador), respecto al almacenamiento temporal que se le dará a cada uno de estos, se deberá establecer un área con capacidad suficiente donde se puedan ubicar y realizar los procesos de tratamiento y composteo necesarios (véase capítulo 4), durante el mismo ciclo productivo de cosecha y beneficiado del fruto, se verificará cada 3 semanas la calidad del compost (humedad, estado de descomposición, temperatura, olor, presencia de

insectos, otros), con el fin de establecer si es posible el traslado de estos a las pilas de lóbricomposteo, las cuales después de 3 meses se deberá de verificar si existe la presencia de un líquido negro pegajoso que debe ser recogido para su posible comercialización, ya que este tiene un gran valor como restaurador de suelos.

Es un café protegido bajo una denominación de origen, por lo que se tendrá que cumplir ciertos requerimientos para el manejo de los residuos generados en el proceso de transformación del fruto.

Es necesario contar con un plan para tratamiento y disposición adecuada, además se necesitará un área con capacidad suficiente para el manejo y depósito de los residuos que se generan durante el proceso (ver capítulo 4).

Se tendrá que realizar una evacuación diaria de los residuos del proceso fuera de las instalaciones del beneficio; se evaluará la mejora en el manejo de residuos con la reducción del volumen a disponer de estos, para su posterior tratamiento durante el mismo ciclo productivo de la cosecha y el proceso de beneficiado húmedo.

Se tendrá que realizar una verificación y evaluación del área de almacenamiento y tratamiento de residuos la cual tendrá que cumplir con los requerimientos siguientes:

- El área de almacenamiento y tratamiento tendrá que ser de fácil acceso y limpieza, además tendrá que contar con sistemas cercanos de agua y drenaje.



- La construcción deberá evitar el acceso y proliferación de insectos, roedores, entre otros, y estar protegida de las lluvias.
- La empresa deberá velar para que la ubicación del sitio no cause molestias a la comunidad (ver capítulo 4).
- Para el control de plagas se realizará aseo, fumigación y desinfección con la regularidad conforme los requisitos y normas establecidas.
- Contar con una báscula para un registro del control de la generación de residuos, además el área para almacenar debe de estar debidamente señalizado.

## **5.2. Mejora en el beneficio húmedo de café**

Para tener una mejora en las actividades de operación, hay que tomar en cuenta las evaluaciones periódicas del control de residuos, control de operaciones y planes de trabajo para cosechas posteriores.

### **5.2.1. Evaluaciones periódicas del control de residuos**

Los lugares estratégicos que se han elegido para controlar el procesamiento del café y poder definir con mayor precisión los puntos donde se genera mayor cantidad de residuos, así como también las posibles causas de baja calidad del producto, desde que se adquiere la materia prima hasta obtener el producto terminado, son los siguientes:

- Pesado (báscula): aquí es donde se recibe la materia prima para revisar las condiciones en que llega al beneficio, cuando el café entre a las

instalaciones del beneficio se deberá evaluar la calidad de la siguiente manera.

- Se tomará una muestra para el análisis de la forma siguiente:
  - De cada 10 sacos de café maduro que ingresen al beneficio seleccionar dos de ellos de forma aleatoria simple.
  - Se arrojará el café de estos sacos sobre una carpeta para extraer granos verdes y secos, hojarasca, palos, piedras del café maduro y luego pesar por separado cada uno de estos.
  - Por último, registrar los datos en el formato que se presenta a continuación:

Tabla XVII. **Formato para recolección de información, área pesado (báscula), ingreso de producto a beneficio húmedo**

<b>Nombre del recolector:</b> _____						
<b>Día:</b> _____			<b>Hora:</b> _____			
Núm.	Definición	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	Café verde					
2	Café seco					
3	Hojarasca					
4	Palos					
5	Piedras					
6	Fruto dañado					
7	Color fruto					
8	Tamaño fruto					

## Continuación de la tabla XVII.

Procedimiento para la anotación de anotación en el formato:

- Pesar el café verde y anotar el resultado en la casilla 1 de la columna 1 en kilogramos.
- Pesar el café seco y anotar en la casilla 2 de la columna 1 en kilogramos.
- Pesar las hojas y anotar en la casilla 3 de la columna 1 en kilogramos.
- Pesar los palos y anotar los resultados en la casilla 4 de la columna 1 en kilogramos.
- Pesar las piedras y anotar los resultados en la casilla 5 de la columna 1 en kilogramos.
- Pesar el café dañado y anotar en la casilla 6 de la columna 1 en kilogramos.

Fuente: elaboración propia.

- Pulperos: es donde se da la reparación de la pulpa del grano, se tendrán que evaluar si las máquinas están en buenas condiciones y bien ajustadas (ver capítulo 3), para obtener un grano entero y libre de pulpa, el procedimiento para evaluar la calidad en esta etapa del proceso es la siguiente:
  - Cada 30 minutos se tomará una muestra de 2 kilogramos para determinar la condición física en la que se encuentra el grano y se eliminará el grano que no haya sido despulpado.
  - Revisar la pulpa para determinar la cantidad de granos buenos que se han pasado en la pulpa.
  - Luego de esto se deberá registrar los datos obtenidos en el formato que se muestra en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Formato para recolección de información, área pulperos, el fruto de café es separado de su cáscara**

Día: \_\_\_\_\_

Hora: \_\_\_\_\_

Núm.	Definición	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	Grano con cáscara					
2	Granos quebrados					
3	Granos pelados					
4	Granos encontrados en la pulpa					
5	Granos buenos					
6	Granos molidos					

Procedimiento para la anotación de la información en formato:

- Contar los granos que no hayan sido despulpados y anotar el resultado en la casilla 1 de la columna 1, en kilogramos.
- Contar los granos que hayan sido quebrados y anotar el resultado en la casilla 2 de la columna 1, en kilogramos.
- Contar los granos pelados y anotar el resultado en la casilla 3 de la columna 1, en kilogramos.
- Contar los granos encontrados en la pulpa y anotar el resultado en la casilla 4 de la columna 1, en kilogramos.

Fuente: elaboración propia.

- Pilas de fermentación: es el proceso mediante el cual se separa el mucílago del café, dejando reposar el café cierto tiempo para luego desprender el resto del mucílago por medio del agua limpia para evitar contaminar el producto. Para el análisis del producto en esta etapa del proceso se realizará el procedimiento siguiente:
  - Depositar el grano en las pilas especiales para este proceso, y cada 30 minutos inspeccionar en forma visual con la ayuda de algún objeto, como una vara o un palo para remover el grano si este tiene el punto de fermento.
  - Luego de observar que el grano ya está en su punto se lavará para desprender el mucílago, para luego trasladarlo a los patios de secado.
  - Luego de esto registrar los datos obtenidos en el formato que se muestra en la tabla XIX.

Tabla XIX. **Formato para recolección de información, pilas de fermentación**

<b>Día:</b> _____						
<b>Hora:</b> _____						
Núm.	Definición	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	Desprender mucilago					
2	Cantidad de pulpa con los granos					

Continuación de la tabla XIX.

3	Granos flotantes					
4	Granos pesados					
5	Granos enteros					

Procedimiento para la anotación de la información en formato.

- Probar el café si ya no tiene mucílago, el resultado anotarlo en la casilla 1 de la columna 1.
- Pesar la pulpa que se ha encontrado con el café lavado y el resultado anotarlo en la casilla 2 de la columna 1.
- Pesar los granos flotantes y el resultado anotarlo en la casilla 3 de la casilla 1.
- Pesar los granos enteros y el resultado anotarlo en la 4 de la columna 1.

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.2. Control de operaciones

Determinar el estado en que se realiza el proceso y evaluar aspectos como:

- Tipo de residuos que se separan.
- Existencia y cantidad de recipientes utilizados (capacidad, código de colores, entre otros).
- Calidad de la separación.

Además de esto, se deberán identificar las dificultades que se presentan en el proceso de separación de los residuos para establecer alternativas de solución que deben estar incluidas en el manejo de estos. Será necesario

determinar si se separan o no los residuos considerados peligrosos y qué se hará con ellos.

Para evaluar la caracterización física de residuos se necesitará tomar en cuenta aspectos como:

- Corroborar la disponibilidad de las personas participantes en la caracterización.
- Verificar que los recursos físicos necesarios para desarrollar la actividad estén organizados.
- Verificar que todo está preparado para la caracterización.
- Chequear que la recolección de las muestras se realice en las áreas de generación y que estén debidamente rotuladas.
- Pesar la muestra que se recolectó en cada área de generación.
- En el caso de que el peso de la muestra sea mayor de 200 kg se deberá realizar homogenización y cuarteo de los residuos hasta obtener el 10 % aproximadamente. Esta cantidad es la que se tendrá que caracterizar.
- Si, por el contrario, el peso de la muestra es menor de 200 kg se efectuará la caracterización del total de los residuos.
- Chequear si el lugar de trabajo está ordenado y con recipientes para depositar cada tipo de residuo.

- Verificar el peso de los recipientes vacíos antes de introducirles el material y anotar este dato.
- Por último, registrar en un formato apropiado el peso de cada material clasificado.

### **5.2.3. Planes de trabajo para cosechas posteriores**

La calidad del café está condicionada por diferentes factores. Las buenas prácticas en el corte, beneficiado húmedo y secado son esenciales para asegurarla, desde el principio hasta el final. En ese sentido, el proceso de beneficiado húmedo de café conservará la calidad del fruto que viene del campo y, por lo tanto, se hará necesario identificar puntos de inspección estratégicos para controlar el procesamiento de este en el beneficio y definir con mayor precisión las causas de la baja calidad del producto, desde que se adquiere la materia prima (café maduro) hasta obtener el producto terminado.

#### Puntos de inspección de control de calidad

- Báscula en el momento que se recibe el café en el beneficio.
- En los pulperos donde el café es separado de la cáscara.
- En las pilas de fermentación donde permanece en reposo el café despulpado por un lapso.
- En los patios donde se seca el café para darle a las partidas el grosor necesario de 5 cms.

Referente a los puntos a, b y c se mencionó anteriormente el procedimiento para la evaluación y control de estos, quedando pendiente la etapa de secado del grano.



Secado de grano: es una de las etapas determinantes en la calidad y los costos de producción en el proceso de beneficiado húmedo de café. Representa entre el 45 y el 60 % de los costos de procesamiento, lo cual constituye un indicativo de la importancia de evaluar alternativas técnica y económicamente viables para realizar un secado eficiente, que permita mantener la calidad intrínseca del grano y un mayor impacto en la reducción de los costos de producción.

El proceso de secado de café es más complicado que el de cualquier otro grano, ya que después de lavado contiene alrededor de 55 % de humedad, puede ocurrir volatilización de componentes aromáticos, si se emplean altas temperaturas. Para ser almacenado, se tendrá que verificar si el grano de café contiene entre el 10 y el 12 % de humedad.

El diseño del espacio físico para el secado de café dependerá de varios factores: espacio físico, acceso, la pendiente o desnivel del terreno, ubicación respecto a la carrera del sol, disponibilidad económica, entre otros.

Es un café con denominación de origen, por lo tanto, se tendrá que chequear que su secado sea estrictamente al sol.

Los aspectos a evaluar en el patio de secado son los siguientes:

- Chequear que no existan grietas y descamamientos en la superficie de los patios de secado antes de la cosecha.
- Controlar que el tiempo total de secado de café nunca sea menor de 24 horas, puesto que la calidad del café resultará afectada en mayor o menor grado.

- El café deberá ser trasladado en carretillas al patio de secado.
- Verificar que el café sea regado con pala de madera especial para esto y que tenga un espesor máximo de 5 cm en el patio.
- Comprobar si el grano tiene el grado de humedad requerido para su almacenamiento con un téster.
- Revisar que el grano sea recogido con pala de madera especial para esto y deberá ser depositado en costales de fibra natural adecuados para su almacenamiento.
- El grano deberá ser estibado y debidamente identificado con viñetas en la bodega especial para esto.
- Registrar en el formato presentado en la tabla XX.

Tabla XX. **Formato para recolección de información, patios de secado**

<b>Día:</b> _____						
<b>Hora:</b> _____						
<b>Núm.</b>	<b>Definición</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>	<b>Lote 4</b>	<b>Lote 5</b>
1	Regar café					
2	Dar espesor de 5cm					

Continuación de la tabla XX.

3	Comprobar humedad de café					
4	Recoger café					
5	Depositar café en costales					
6	Estibar en bodega					
7	Poner viñeta					

Procedimiento para la anotación de la información en formato.

- Anotar el número de sacos de café regado en la casilla 1 de la columna 1.
- Medir el grosor de la partida del café en la casilla 2 de la columna 1.
- Comprobar el grado de humedad y anotarlo en la casilla 3 de la columna 1.
- Recoger y depositar en costales y anotar el número de sacos en la casilla 4 y 5 de la columna 1.
- Anotar el número de sacos, trasladarlo en la casilla 6 de la columna 1.
- Anotar las especificaciones en viñetas en la casilla 7 de la columna 1.

Fuente: elaboración propia.

En relación a la estructura se podrá contemplar que esta sea del tipo cerrada, construida con diferentes materiales como madera, concreto, *block*, nailon con protección ultravioleta UV, lámina de policarbonato transparente, entre otros; esto permitirá controlar de mejor manera la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el proceso de secado, aprovechando el efecto producido por la radiación solar.

Los aspectos a evaluar en este tipo de estructura serán los siguientes:

- Una altura máxima del techo en las partes laterales de 2,5 metros con el fin de no afectar el ingreso de personas, desnivel del techo de 25 %, con entradas de aire en la parte baja lateral de 0,40 metros del piso hacia arriba, cortina de nailon para abrir o cerrar y protección con cedazo metálico, además chequear si existe salida de aire caliente en la capota entre 0,40 y 0,50 metros.

El tiempo de secado será variable dependiendo de las condiciones climáticas del lugar y el manejo, puede ser de 5 a 14 días.

### **5.3. Beneficio/costo**

En la empresa productora de café, los residuos constituyen una fuente de problemas ambientales. Por ese motivo se ha tratado de definir ciertos lineamientos para el manejo eficiente de estos, la evaluación en el proceso fue dirigida, principalmente al consumo de agua y el manejo adecuado de desechos. A partir de esta evaluación se generaron lineamientos para el reciclaje de desechos sólidos y el reúso de los efluentes del proceso.

Con establecer un programa de composteo y lombricultura se espera conseguir una reducción de un 90 % en la contaminación causada al medio ambiente, en la emisión de malos olores, proliferación de insectos, además se podrá obtener un ahorro del 20 % aproximado con la producción de abono orgánico de calidad excelente que se podrá comercializar y utilizar en el proceso productivo de la empresa; esto con un costo total aproximado del 10 % del total del proceso productivo de la empresa y un retorno de 1,5 años aproximadamente.

Con la implementación del método de recirculación de aguas de lavado y despulpado, se pretenderá optimizar el consumo de agua en el proceso reduciendo el consumo del volumen total de agua fresca obteniendo un ahorro del 70 % y se podrá mejorar el manejo de las microcuencas de agua con que cuenta la empresa obteniendo un ahorro del en un 30 % aproximado; esto con una inversión aproximada del 20 % del costo total del proceso productivo de la empresa y un retorno igual a 1,5 años.

Analizando lo anterior, se observa que los beneficios superan a los costos y definir nuestro  $B/C > 0$  por lo tanto se puede llegar a la conclusión que la implementación de la propuesta puede ser técnicamente factible para la empresa.

### **5.3.1. Aplicación del sistema en otros beneficios**

Como se expuso con anterioridad, se presentaron lineamientos para la optimización de la eficiencia en las operaciones de beneficio húmedo, el uso adecuado de insumos, la reducción de residuos y el manejo adecuado de estos.

A continuación, se presentan algunos lineamientos referentes al mantenimiento de la calidad y para la optimización de las operaciones que pueden ser aplicados en los beneficios de la región.

- Aspectos generales a evaluar:
  - El café recolectado durante el día, deberá ser procesado (despulpado) el mismo día y las pilas de fermentación tendrán que tener la capacidad necesaria para la producción del día.

- El café deberá lavarse con agua limpia y ser escurrido adecuadamente en un máximo de 5 horas, cuando alcance su punto de fermento.
- El café con denominación de origen tendrá que ser estrictamente secado al sol, en patios especiales para esto.
- El mantenimiento de la calidad dependerá del control, la eficiencia y administración en el beneficiado.
- Aspectos a evaluar en el manejo de agua
  - Implementar sistemas de recirculación de agua y chequear que los depósitos del sistema estén llenos, puesto que el equipo de bombeo no debe trabajar en seco.
  - El falso codo del sifón deberá ser colocado a 45 grados al inicio de la operación y el codo de la criba (salida de café despulpado de primera) tendrá que permanecer a la misma altura con la salida del grano de mala calidad.
  - Verificar que las llaves de paso del recibidor estén abiertas una a una hasta sacar el café que maneja cada llave.
  - Evaluar que el rendimiento del despulpador esté de acuerdo con la abertura de la llave de paso del recibidor.

- Verificar que, al inicio del despulpado, la compuerta que conduce el agua de despulpado de las pilas de fermento hacia el tanque decantador esté abierta.
- Verificar que estén apagadas las bombas y maquinaria al finalizar el proceso.
- Desfogar el efluente del proceso hacia planta de tratamiento.
- Chequear que se retiren los desechos sólidos del proceso para luego verterlos en el área dispuesta para su tratamiento.
- Verificar que la limpieza del beneficio se realice con agua limpia.
- Revisar que el drenaje de las pilas de fermento sea eficiente.
- Debido a las características de los efluentes del proceso, será necesario aplicar un tratamiento físico y químico a las aguas residuales, el cual deberá contener lo siguiente:
  - Tratamiento físico: incluye el uso de un tanque recolector decantador y filtros.
  - Tratamiento químico: incluye la aplicación de neutralizadores como el carbonato de calcio.
- Aspectos a evaluar en el almacenamiento

- El ambiente de la bodega tiene que ser fresco, a una temperatura de 20 grados centígrados y humedad relativa del 60 %.
- El piso de la bodega de almacenamiento deberá ser de madera o utilizar tarimas de madera con el fin de proteger de la humedad del piso al producto.
- El café deberá ocupar 2/3 del área disponible con el fin de obtener un flujo óptimo de aire y el movimiento en la bodega.

### **5.3.2. Optimizar el consumo de agua**

Se optimizará el consumo de agua con el lavado mecánico del café con bombas de impulsor abierto, combinando con una clasificación en canales rectos con una pendiente uniforme de 75 grados, con esto se tratará de dar al canal un flujo laminar constante que permitirá la clasificación del café recién lavado. La economía de agua en esta operación complementará la eficacia del sistema de recirculación de agua que deberá usarse en las operaciones de beneficiado húmedo.

Toda el agua utilizada en los procesos de clasificación y lavado retornará al tanque recolector-decantador, el cual deberá estar construido en la parte más baja del beneficio. Estos tanques tendrán que disponer de un diseño que permita manejar dos niveles de agua, para satisfacer el requerimiento de agua necesaria para el inicio, intermedio y final del proceso (ver capítulo 4).



### **5.3.3. Manejo adecuado de las microcuencas de agua**

El agua es de todos y su valor es incalculable, dependiendo de las circunstancias, pero también es de toda la obligación de cuidarla y hacer un uso apropiado de ella. Llevar el agua hasta los lugares donde se necesita tiene costos, al igual que mantener las estructuras y obras para su protección.

Se tendrá que tomar a la microcuenca como un medio de ejecución de procesos, es importante que la empresa tome las decisiones respecto a esta, todo lo que se planifica a nivel de la microcuenca necesitará estar coordinado con lo que planifique el productor, a nivel de su área de producción.

A nivel operativo, la utilización de las microcuencas será para desarrollar procesos que lleven a una agricultura más sostenible con el fin de obtener resultados en un corto tiempo.

Los aspectos a evaluar en el manejo adecuado de microcuencas son los siguientes:

- Controlar el riego de cultivos, en los meses secos.
- Verificar que exista mayor presencia de personas propietarias que arrendatarias, puesto que ello dificulta la inversión en prácticas de mejoramiento ambiental.
- Corroborar la presencia de un nivel organizativo para la producción y comercialización de productos que utilicen la microcuenca para su producción y que esté orientada al mercado.

#### **5.3.4. Optimización en el manejo de desechos sólidos**

Convertir un residuo en un producto comercial requiere un arduo trabajo; la utilización de los residuos del café está determinada por una serie de factores, tales como: las cantidades producidas, el almacenamiento, la preservación, la importancia comercial, entre otras.

Los sólidos de la pulpa del café son una buena fuente de humus y de suelo de carbono orgánico.

La pulpa del café se deberá poner en un cúmulo y dejar madurar durante 6 meses aproximadamente hasta que reduzca su volumen y se genere una liberación masiva de líquido negro pegajoso que contiene la mayoría de los nutrientes, no permitir que este líquido se elimine, ya que este se podrá comercializar y ser una posible fuente adicional de ingresos, al venderse como un insumo de nutrición vegetal orgánico de alto valor y disuasivo de plagas.

El agua drenada del extracto del café maduro o cereza puede ser una fuente potencial de producción de biogás. El extracto que ha sido recogido y almacenado será un hervidero de microorganismos; la adecuada fermentación reduce el pH, y el proceso de neutralización da lugar a que surja CO<sub>2</sub> (principalmente sales de acetato y un aumento del pH de 3,8 a 6,1), formada de tal manera que hará que salgan a la superficie más sólidos, principalmente taninos y polifénicos de color oscuro.

La evolución del CO<sub>2</sub> llegada a este punto hará posible la producción posterior de un biogás de metano altamente enriquecido que tiene únicamente la mitad del nivel habitual de CO<sub>2</sub> inerte. La clara solución de acetato tendrá que pasarse entonces, por un digestor para hacer biogás, o se puede verter

gota a gota sobre un lienzo tirante, como en el proceso aeróbico de *Fungal Gulp* (trago fungal), para hacer proteína monocelular para alimento animal. La mejor manera de usar el biogás que se produce es haciendo funcionar con él un motor para generar electricidad.

### **5.3.5. Reducción de fuentes de contaminación causadas al medio ambiente**

El desempeño ambiental de una empresa dependerá de factores como: el manejo de materias primas, forma de trabajar del personal, tecnología utilizada, el manejo de residuos, entre otros.

Confirmando las mejores prácticas utilizadas y un mantenimiento apropiado se podrán producir beneficios significativos a un bajo costo. El control de los procesos será un punto importante, ya que se podrá generar una mayor eficiencia y minimizar las razones de generación de desechos.

Promoviendo los cambios en la tecnología, reemplazo de esta, cambios en la secuencia de los procesos o simplificación de procedimientos también, podrá ser una fuente de minimización de desechos durante la producción.

Por las características del proceso de beneficiado húmedo de café, en el área de residuos sólidos no se podrá aplicar el concepto de reducción en la fuente, debido a que la pulpa del café es parte del fruto como tal, por lo que su reducción sería imposible.

Una forma de reducción de fuentes de contaminación causadas al medio ambiente deberá ser la transformación de los residuos de café en materiales que puedan ser reutilizados o reciclados para otras aplicaciones o productos; se

podría evaluar la explotación económica de estos al disponer de ellos en grandes cantidades, en forma concentrada y prácticamente puros.

De los residuos industriales del café que podrían obtenerse en distintos estados de pureza, están los siguientes:

- Pectinas sin refinar: pueden estar en forma de gel soluble termorreversible.
- Azúcares naturales del fruto del café: procedentes principalmente del agua del despulpe reciclada, son en su mayor parte monosacáridos, glucosa, galactosa, ramnosa y arabinosa, podrían comercializarse como una novedad para el consumidor de café más refinado.
- Compuestos antioxidantes y flavonoides: estos son principalmente los compuestos de antocianina y polifenólicos, tales como los ácidos clorogénicos y, por supuesto, cafeína. Estas sustancias podrían combinarse de varias maneras para hacer una serie de aditivos de los alimentos que podrían tener interés para la industria de alimentos saludables.
- Proantocianinas incoloras: podrían usarse como recurso básico para la fabricación de otros alimentos o para la síntesis de otras sustancias químicas.

## CONCLUSIONES

1. La industria cafetalera representa para la región de Acatenango, Chimaltenango, una actividad económica y socialmente importante, el impacto ambiental consecuente de sus procesos tiene efectos negativos en el área, por lo tanto, la implementación de la propuesta de los lineamientos para el manejo eficiente de residuos generados en el proceso de beneficiado húmedo de café con el fin de mitigar estos efectos negativos, es técnica, económica y socialmente factible.
2. La estrategia de producción más limpia es una herramienta de utilidad que integra medidas preventivas y de mitigación, con la cual se logró orientar las estrategias para el manejo eficiente de residuos generados durante el proceso y mitigar, en cierta medida, el impacto negativo al medio ambiente ocasionados por estos.
3. Aplicando el compostaje como tecnología apropiada para el buen manejo de residuos sólidos, se logró mitigar el impacto ambiental negativo asociado a estos y disminuir los costos de producción.
4. Hubo una mejor eficiencia del uso de agua en el proceso, mediante la propuesta de su recirculación en el beneficio húmedo de café, logrando reducir costos de manejo y tratamiento posterior de efluentes minimizando su volumen.

5. Mediante la promoción de la capacitación de la fuerza laboral, se logró obtener nuevas herramientas para el manejo eficiente de los residuos generados en esta actividad, logrando un compromiso mediante el monitoreo continuo y con esto garantizar el mantenimiento de la calidad durante el proceso, además de optimizar las líneas de producción.

## RECOMENDACIONES

1. Como primer paso para una estrategia eficiente en el manejo de residuos generados en el proceso de beneficiado húmedo de café, es necesario implementar herramientas de buenas prácticas de producción más limpia, esto se logra con la capacitación continua. Enfocándose, principalmente, en la sensibilización, organización y formulación de la política. De esta manera se garantizaría la conservación de los recursos naturales de la región.
2. Llevar a cabo adecuadamente los lineamientos descritos en este documento. En el momento de iniciar las operaciones en el beneficio húmedo, utilizar los formatos de recolección de información, efectuar los procesos descritos y darles seguimiento para verificar su cumplimiento. Al aplicar estas acciones se obtendrá una evaluación certera sobre las mejoras ambientales y productivas del proceso.
3. Reforzar este documento con programas de certificación como, el *Manual de requerimientos mínimos para el beneficiado de café protegido bajo una denominación de origen* y certificados de calidad de Anacafé, que promueven la sostenibilidad de la actividad cafetalera dentro del territorio.
4. Para que el proceso de producción de café sea sostenible en la región de estudio, se requiere del desarrollo de una estrategia que identifique programas, proyectos y metas a corto, mediano y largo plazo; con un sistema de seguimiento y evaluación, además de gestionar cuatro

aspectos: balance de materia prima, eficiencia de energía, eficiencia del agua y la correcta disposición de residuos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACEDO SÁNCHEZ, José. *Instrumentación y control avanzado de procesos*. Madrid, España: Ediciones Díaz Santos, 2006. 626 p.
2. Asociación Nacional del Café. *Beneficiado húmedo de café*. [en línea]. <[www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura\\_BeneficiadoHumedo](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura_BeneficiadoHumedo)>. [Consulta: 28 de septiembre de 2005].
3. \_\_\_\_\_. *Manual de control de calidad del café*. [en línea]. <[www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura\\_ControlCalidad](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura_ControlCalidad)>. [Consulta: 20 de enero de 2000].
4. \_\_\_\_\_. *Manual de manejo de subproductos del café*. [en línea]. <[www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura\\_ManejoSubproductos](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura_ManejoSubproductos)>. [Consulta: 28 de septiembre de 2005].
5. \_\_\_\_\_. *Historia del café en Guatemala*. [en línea]. <[www.anacafe.org/glifos/index.php?title=10CON:Historia\\_del\\_Cafe](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=10CON:Historia_del_Cafe)>. [Consulta: 1 de marzo 2008].
6. ARELLANO, Jaime; GUZMÁN, Javier. *Ingeniería ambiental*. México: Alfaomega, Grupo Editor, 2011. 184 p.
7. Centro Guatemalteco de Producción más Limpia. *Manual de buenas prácticas operativas de producción más limpia en el sector de beneficiado de café*. Guatemala: PROARCA/SIGMA, 2001. 40 p.

8. COFENAC. *Informe técnico: influencia de métodos de beneficiado sobre la calidad organoléptica del café*. Portoviejo, 2010. 26 p.
9. ERAZO PARGA, Manuel; CÁRDENAS ROMERO, Rocío. *Ecología: impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones, 2013. 248 p.
10. Guatemala. Presidencia de la República. *Política nacional para el manejo integral de los residuos y desechos sólidos. Acuerdo Gubernativo número 111-2005*, 2005. 28 p.
11. MENCHÚ, J.F. *Manual práctico de beneficiado de café*. Guatemala. 1973, boletín técnico núm. 13.
12. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Política Nacional de Producción más Limpia - Acuerdo Gubernativo número 258-2010*. Guatemala: MARN-USAID-CCAD, 2010. 52 p.
13. \_\_\_\_\_. *Reglamento de descarga y reuso de aguas residuales y la disposición de lodo. Acuerdo Gubernativo 236-2006*. Guatemala: MARN, 2006. 24 p.
14. NORMAN, Gaither; GREG, Frazier. *Administración de producción y operaciones*. América Latina: International Thomson Editores, 2000. 669 p.
15. NIEBEL, Benjamín; FREIVALDS Andris. *Ingeniería industrial, métodos estándares y diseño del trabajo*. México: Alfa omega, 2004. 745 p.

16. Organización Internacional de Normalización. *Norma internacional ISO 14001* - Traducción certificada. Ginebra, Suiza: ISO, 2010. 36 p.
17. Promecafé. *Requerimientos mínimos para el beneficiado de café protegido bajo una indicación geográfica o denominación de origen*. Guatemala, 2010. 26 p.
18. WINTGENS, Jean N. *Conferencia presentada en el XV simposio Latinoamericano de cafecultura, Xalapa, Veracruz, México, Guatemala: Consejo mexicano del café, 1992. 33 p.*

