

UNIVERSIDAD DON BOSCO



**"APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE PRODUCCIONES  
LIMPIAS EN EL BENEFICIADO DE CAFÉ"**

Trabajo de Graduación Preparado para la  
Facultad de Ingeniería

Para Optar al Grado de:  
**INGENIERO MECÁNICO**



Presentado por:

Oscar Mateo Castaneda Hernández  
Diego Manuel Troya Platero

Abril de 2000

Soyapango, El Salvador, Centro América

**UNIVERSIDAD DON BOSCO**



**RECTOR**

**ING. FEDERICO HUGUET RIVERA**

**SECRETARIO GENERAL**

**PBRO. PEDRO JOSÉ GARCIA CASTRO**

**DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ING. CARLOS GUILLERMO BRAN**

**ASEOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**ING. RICARDO ANTONIO SILIEZAR SALINAS**

**JURADO EXAMINADOR**

**ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

**ING. DAVID ERNESTO ZOMETA**

UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

JURADO EVALUADOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

"APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE PRODUCCIONES LIMPIAS EN EL  
BENEFICIADO DE CAFÉ"



ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN

JURADO



ING. DAVID ERNESTO ZOMETA

JURADO



ING. RICARDO ANTONIO SILIEZAR

ASESOR

## **DEDICATORIA GRUPAL**

Dedicamos el trabajo a:

Nuestro Señor Todopoderoso, por darnos la sabiduría de asimilar los conocimientos brindados.

A nuestro asesor Ing. Ricardo Siliezar, por haber confiado en nosotros para salir adelante siempre.

A los Catedráticos que compartieron con nosotros sus conocimientos para poder desenvolvemos en la vida como verdaderos profesionales.

A nuestros compañeros de estudio David, Mario, Tulio, Luis, Santamaría, Alex, por compartir alegrías y tristezas a lo largo de los años de estudio y apoyarnos en el momento preciso para no desmayar por las desavenencias que se presentaron en el camino.

OSCAR MATEO

DIEGO MANUEL

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico:

A Dios todopoderoso y la Santísima Virgen Maria, por haberme dado salud y sabiduría para alcanzar esta meta.

A mis padres Ana Julia y Juan Francisco, por su amor, sus oraciones, sus consejos, por compartir alegrías y preocupaciones durante toda mi formación profesional.

A mis hermanos Juan Miguel, Carlos Roberto, Ana Esmerada y Teresa del Carmen, por su incondicional apoyo a lo largo de mis estudios universitarios, por ser siempre fuente de motivación a seguir adelante en los momentos difíciles en que desmayé.

A mis tíos Maria Inés y Manuel Reyes, por su incondicionalmente apoyo, su amor, sus oraciones y sus consejos siempre que los necesité.

A Don Humberto Villalta y niña Delma Castro, por creer siempre en mi, por esas palabras de motivación y confianza depositada desde el momento que empecé mis estudios universitarios, por brindarme su apoyo incondicionalmente a lo largo de toda la carrera.

A mi amigo y compañero de tesis Diego Manuel, por haber soportado mis bromas, por los momentos de alegría y preocupaciones vividos en el largo camino de la formación profesional.

A mis amigos y personas, que de una u otra forma contribuyeron a que culminara con éxito mi carrera.

OSCAR MATEO

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de graduación lo dedico a:

A Dios Todopoderoso y a la santísima Virgen Maria, por haberme dado fuerzas, entendimiento y salud para llegar a la meta trazada desde pequeño.

A mis padres Diego y Ana Elizabeth, por brindarme una formación de principios morales sólidos, amor, e incondicionalmente su apoyo moral y emocional en los momentos difíciles y de alegría como este.

A mi esposa Roxana Patricia, por darme su amor a pesar de las dificultades afrontadas a lo largo de este camino y su apoyo constante.

A mis hijos Diego Enrique y Manuel Alejandro, por ser los hijos más maravillosos del mundo, y mi fuente de vida e inspiración para lograr llegar a la meta y por quienes lucharé por siempre.

A mi hermana, Ana Elizabeth, por su amor y apoyo en todo momento.

A mi compañero de tesis Mateo, por aguantar todas la bromas y locuras, durante el largo camino de la formación profesional.

A mis familiares, amigos y demás personas que de alguna u otra forma contribuyeron a que lograra coronar con éxito mi carrera universitaria.

**DIEGO MANUEL**

# INDICE

## INTRODUCCIÓN

## OBJETIVOS

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN A LA ECOEFICIENCIA Y PRODUCCION LIMPIA.

1.1. PRODUCCIÓN LIMPIA.....	1
1.1.1. DEFINICIÓN DE PRODUCCIÓN LIMPIA.....	4
1.2. ECOEFICIENCIA.....	8
1.2.1. DEFINICIÓN DE ECOEFICIENCIA.....	8
1.2.2. DESARROLLO SOSTENIBLE.....	9

## CAPITULO II

### BENEFICIADO DE CAFÉ EN EL SALVADOR.

2.1. GENERALIDADES DEL FRUTO DEL CAFÉ.....	10
2.2. ANTECEDENTES DE BENEFICIADO DE CAFÉ EN EL SALVADOR...12	
2.2.1. INTRODUCCIÓN DE CAFÉ A EL SALVADOR.....	12
2.2.2. HISTORIA DEL BENEFICIADO EN EL SALVADOR.....	13
2.3. TIPOS DE PROCESOS DEL CAFÉ.....	14
2.3.1. BENEFICIADO DEL CAFÉ VIA SECA.....	14
2.3.2. BENEFICIADO VIA HUMEDA.....	15
2.4. PROCESO ACTUAL DE LA TRANSFORMACIÓN DEL CAFÉ EN EL SALVADOR.....	16
2.4.1. PESADO Y VACIADO.....	16

2.4.2.	CORRETEO, CLASIFICADO Y DESPULPADO DEL CAFÉ DE PRIMERA.....	17
2.4.3.	CRIBADO, DESPULPE DE SEGUNDA Y TRANSPORTE DE PULPA.....	19
2.4.4.	FERMENTACIÓN Y LAVADO.....	21
2.5.	CIRCUITOS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA.....	23
2.5.1.	CIRCUITO CERRADO.....	23
2.5.2.	CIRCUITO ABIERTO.....	26

### **CAPITULO III**

#### RESIDUOS Y CONTAMINACIÓN DEL BENEFICIADO DE CAFÉ.

3.1.	GENERALIDADES.....	28
3.2.	ORIGEN Y TIPO DE LA CONTAMINACIÓN.....	29
3.3.	DESECHOS SÓLIDOS.....	30
3.3.1.1.	PULPA.....	30
3.3.1.1.1.	USO ACTUAL Y POTENCIAL.....	31
3.3.1.1.2.	LA CASCARILLA.....	32
3.3.2.	DESECHOS LIQUIDOS.....	33
3.3	ETAPAS DE LA CONTAMINACIÓN.....	35
3.3.1	RECEPCION Y CLASIFICACION.....	37
3.3.2	DESPULPADO.....	37
3.3.3	ELIMINACION DEL MUCÍLAGO (LAVADO).....	38
3.4.	CUANTIFIACION DE DESCARGA DE RESIDUOS.....	39
3.4.1.	CANTIDAD DE AGUA UTILIZADA.....	39
3.4.2.	CANTIDAD DE MATERIA ORGANICA.....	42
3.4.3.	CANTIDAD DE SUBPRODUCTO TOTAL.....	44
3.4.	DIAGNOSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL BENEFICIO.....	46

## **CAPITULO IV**

### PROPUESTA DE SOLUCIONES

4.1. ETAPAS EN QUE SE MEJORARA EL PROCESO.....	54
4.1.1. CLASIFICACION.....	54
4.1.2. DESPULPADO DE CAFÉ UVA.....	54
4.1.3. CRIBADO.....	59
4.2. TRATAMIENTO DE LA PULPA.....	59
4.2.1. ALMACENAMIENTO SENCILLO.....	61
4.2.2. PRENSADO DE LA PULPA.....	62
4.2.3. UTILIZACIÓN DE LA PULPA COMO COMBUSTIBLE.....	64
4.2.3.1. POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA PULPA.....	64

## **CAPITULO V**

### SELECCIÓN DE TRANSPORTADOR HELICOPIDAL PARA CAFÉ UVA

5.1. INTRODUCCIÓN.....	66
5.2. JUSTIFICACIÓN.....	68
5.3. SELECCIÓN DE LOS TRANSPORTADORES HELICOIDALES.....	69
5.3.1. SELECCIÓN DE LOS TRANSPORTADORES DE CAFÉ UVA.....	69
5.3.1.1. SELECCIÓN DEL MOTOR.....	76
5.3.2. SELECCIÓN DEL TORNILLO HELICOIDAL DE LA PULPA.....	80
5.3.2.1. SELECCIÓN DEL MOTOR.....	83
5.4. COSTO DE MATERIAL DE LOS TORNILLOS.....	86
5.4.1. CALCULO DE COSTOS DEL TRASPORTADOR HELICOIDAL PARA CAFÉ UVA.....	86
5.4.2. CALCULO DE COSTOS DE TRANSPORTADOR DE PULPA.....	90
6.0. CONCLUSIONES.....	93

7.0. RECOMENDACIONES.....	95
GLOSARIO DE TERMINOS.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	101
ANEXO I.....	103
ANEXO II.....	108
ANEXO III.....	114
ANEXO IV.....	122

## INTRODUCCION

La caficultura en El Salvador quedó consolidada como una actividad agrícola importante en la penúltima década del siglo XIX. En esta época el beneficiado de café, se encontraba en un estado rudimentario, aunque rápidamente se estaba adquiriendo experiencia en la producción del **"café lavado"**, a pesar de las limitaciones tecnológicas. Sin embargo para la generación siguiente, el beneficiado había adquirido una escala industrial y para 1911 existía un mercado bien establecido de maquinaria para beneficios de café. Actualmente el sector agroindustrial del café es muy importante para la economía salvadoreña convirtiendo al café como producto numero uno de exportación.

Pero el procesamiento de este; trae consigo el problema de contaminación, debido a que los desechos que resultan de la transformación son difíciles de eliminar. La importancia de este rubro lleva a formularnos la pregunta ¿Cuanto tiempo más se podrá producir café para la exportación?.

Esta pregunta es difícil de responder, si las autoridades competentes y las agroindustrias de transformación del grano de café no

toman cartas en el asunto para minimizar el impacto ambiental que se produce, debido al tipo de proceso utilizado, ya que, en los países industrializados se tiene la tendencia a no aceptar productos de otros países en los que su procesamiento contamine el medio ambiente.

En vista de las exigencias el estudio que se realizará esta basado en la aplicación de la teoría de producciones más limpias con el objeto de la búsqueda de alternativas que permitan disminuir la contaminación que actualmente se tiene.

Por tanto se efectúa una descripción del proceso (vía húmeda), necesaria para identificar los sectores específicos y conocer el grado de contaminación que estos originan.

Las alternativas que permiten tener una disminución de contaminantes y a la vez un aprovechamiento de los desechos sólidos (cascarilla y pulpa), son las propuestas de mejoramiento en el transporte del café (realizarlo sin necesidad de agua en las etapas críticas), la utilización de la pulpa y cascarilla como combustible.

# **OBJETIVOS**

## **I OBJETIVO GENERAL**

Aplicación de la teoría de producciones limpias en el beneficiado de café.

## **II OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Verificar cuales son las condiciones del procesamiento actual del beneficiado de café en la agroindustria seleccionada.
- Reducir la cantidad de materia orgánica presente en la aguas residuales por medio de mecanismos en los cuales se logre la aplicación de conceptos de ingeniería.
- Utilización del volumen de desechos orgánicos proveniente del proceso de transformación del café como fuente de energía calorífica.

# **CAPITULO I**

## **1.0. INTRODUCCIÓN A LA ECOEFICIENCIA Y**

### **PRODUCCION LIMPIA.**

#### **1.1. PRODUCCIÓN LIMPIA.**

Las producciones limpias persiguen mejorar el conocimiento, la toma de decisiones en las distintas industrias sobre el uso de materiales, reducción de los desechos y prevención de la contaminación. Pretende ofrecer una visión de conjunto del flujo de materiales en la economía, descripciones de las dimensiones medioambientales de los sistemas industriales, medios para el análisis, diseño de sistemas, artefactos medioambientalmente buenos y alternativas a la emisión de residuos.

Hace tan sólo dos décadas, la Ecología Industrial podía verse como un foro de discusión sobre asuntos estéticos especulativos al que aquellas personas con responsabilidades prácticas en la industria podían elegir en prestar atención o bien ignorar. Hoy en día, el consumo creciente de materiales, energía; la contaminación creciente se han

convertido en imperativos imprescindibles que la industria ya no puede obviar. De acuerdo con ello, estos asuntos han ido atrayendo cada vez más investigaciones. Esto ha ido gradualmente generando una teoría consistente sobre la ecología industrial que a su vez puede usarse como un apoyo para evitar nuevas catástrofes industriales.

Por otro lado, las amenazas, además de, las llamadas de atención son sólo un lado del conocimiento ecológico. El nivel de competencia en ecología y su aplicación a la producción pueden convertirse en una baza competitiva para una empresa industrial. Los consumidores están empezando a exigir bienes que sean más respetuosos con el medio ambiente y servicios producidos por empresas socialmente responsables. Los banqueros e inversores evalúan a las empresas y toman las decisiones considerando tanto los riesgos medioambientales como las oportunidades medioambientales en el mercado. En consecuencia, las empresas empiezan a descubrir el provecho de ir, más allá del cumplimiento de la normativa, hacia la sostenibilidad.

Las áreas en que los problemas ecológicos son ahora más agudos, donde los cambios en las prácticas industriales se precisan más urgentemente pueden agruparse como sigue:

- **Minimizar el uso de materiales y energía**
- **Sustitución de materiales con mejor rendimiento ambiental**
- **Recuperación de materiales.**

El enfoque reactivo y curativo ha predominado en la protección del medio ambiente desde los años 60. Normalmente se ha tendido a abordar los problemas planteados por la emisión de contaminantes de origen industrial mediante la utilización de tecnologías de control de la contaminación. Estas soluciones reducen la liberación directa de algunos contaminantes para conseguir el cumplimiento de la normativa pero no resuelven realmente los problemas medioambientales, ya que trasladan la contaminación de un medio a otro. Además, la protección del medio ambiente se suele entender como algo gravoso porque el tratamiento produce gastos extraordinarios. El objetivo de la producción más limpia es evitar estas deficiencias de la protección medioambiental tradicional.

Evitar la producción de contaminantes en lugar de tratar los residuos y las emisiones en las plantas de tratamiento. La idea de una producción más limpia apareció en los años 70 en algunas grandes empresas y se ha ido extendiendo en los 90 con programas y proyectos

en los que participan un mayor número de empresas. Estas iniciativas representan un factor importante para el desarrollo sostenible.

### **1.1.1. Definición de Producción limpia**

La producción limpia es una estrategia preventiva para reducir al mínimo el impacto de la producción, los productos sobre el medio ambiente aplicando tecnologías más limpias y medidas de tipo organizativo. El impacto ambiental de las plantas industriales se reduce siguiendo la trayectoria a los residuos y emisiones hasta descubrir sus respectivos orígenes en los procesos además de definir las medidas para eliminar allí los problemas. La idea básica es sustituir la pregunta:

- ¿Que vamos a hacer con nuestros residuos y emisiones?
- ¿De dónde vienen nuestros residuos y emisiones?
- ¿Qué podemos hacer para evitar su producción?

Esta solución incluye cambios organizativos, motivación y entrenamiento para conseguir una buena administración, así como cambios en las materias primas, tecnología de procesos y reciclado interno ("tecnología más limpia"). Introduce en las empresas la idea de

la gestión de materiales y energía. Nielsen (1994) define la "tecnología más limpia" de la siguiente manera:

**"La tecnología más limpia es una solución conceptual y de procedimiento para el desarrollo, adquisición y utilización de procesos y productos que eviten y reduzcan los problemas medioambientales internos y externos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto"<sup>1</sup>, e integra opciones para:**

- **Reducir** al mínimo el volumen y los peligros de los residuos gaseosos, líquidos y sólidos.
- **Reducir** el riesgo de accidentes en los procesos productivos que intervienen los productos químicos.
- **Reducir** al mínimo el consumo de materias primas, agua y energía.
- **Utilizar** productos químicos y procesos alternativos menos peligrosos para la salud humana y ecológica".

---

<sup>1</sup> Tomado de de internet pag. Ecoweb.

La producción más limpia consiste en el uso eficiente de materia prima, agua, energía, la eliminación de sustancias tóxicas, la reducción de emisiones y residuos en la fuente durante el proceso de producción.

El programa para el medio ambiente de las naciones unidas define la producción limpia como: **“La aplicación continua de una estrategia integrada de prevención ambiental a los procesos y a los productos, con el fin de reducir los riesgos a los seres humanos y al medio ambiente.”**

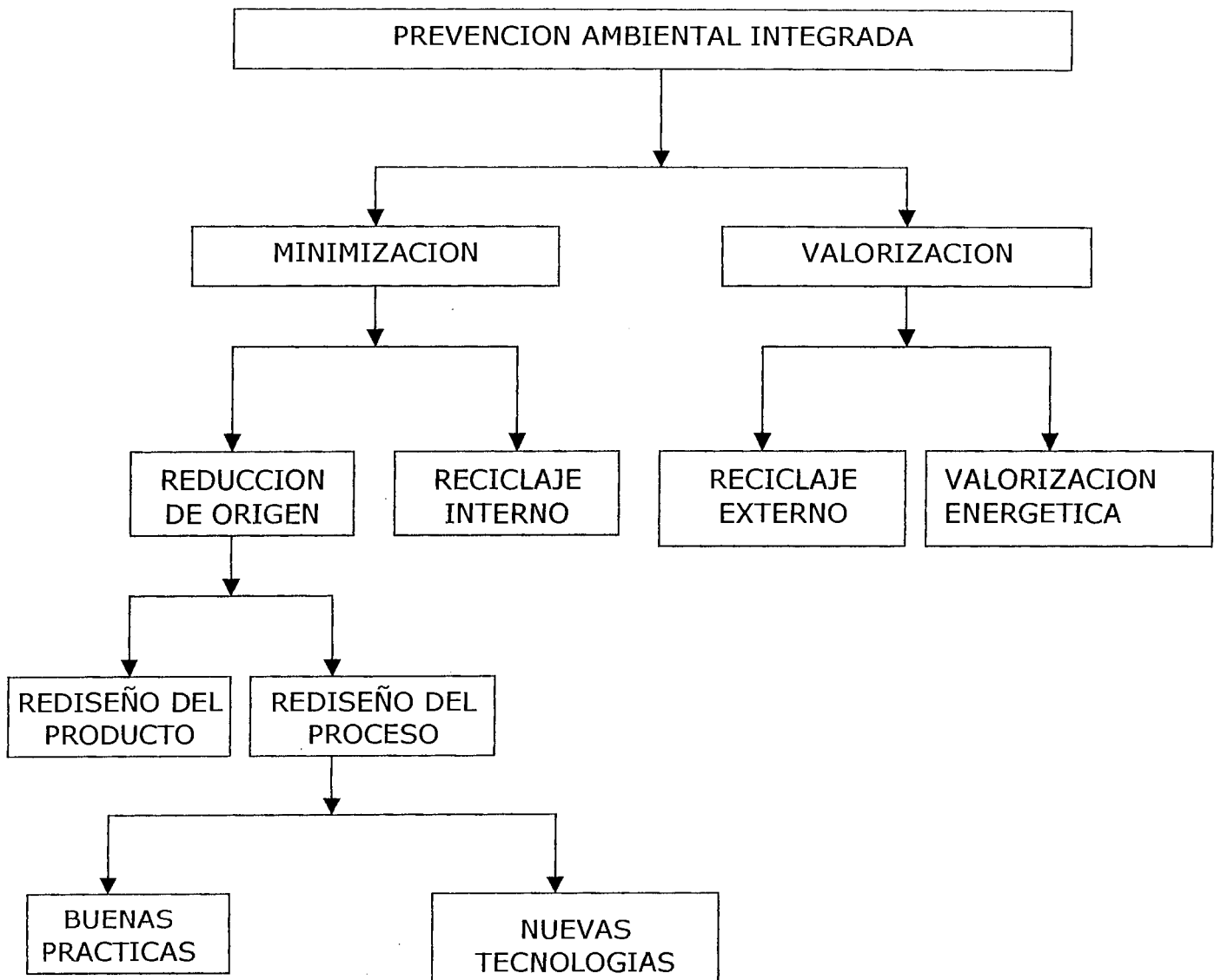
En cuanto a los procesos, la producción más limpia incluye la conservación de las materias primas, el agua , la energía, la eliminación de todas las materias tóxicas, la reducción de la cantidad, toxicidad de todas las emisiones al agua y atmósfera de los residuos.

En lo referente a los productos, la estrategia tiene por objeto reducir todos los impactos durante el ciclo de vida del producto desde la extracción de las materias primas hasta el residuo final.

La única forma como se puede conseguir una producción limpia es la aplicación de los conocimientos, el mejoramiento de la tecnología, y el cambio de actitud.

El esquema básico de la prevención ambiental se muestra en el esquema 1.

### ESQUEMA 1



## **1.2. ECOEFICIENCIA.**

Como se ha podido investigar, la palabra Ecoeficiencia surgió ante la necesidad de evitar o al menos minimizar el impacto ambiental que realizan las industrias al verter los desechos líquidos a las cuencas de los ríos, lagunas, lagos, etc., los desechos sólidos botarlos sin ninguna clase de tratamiento, los gases que son contaminantes también del aire que es un flujo vital para poder vivir.

### **1.2.1. Definición de Ecoeficiencia.**

La ecoeficiencia no es más que lograr una eficiencia económica a través de una eficiencia ecológica. Lo cual permite seguir produciendo pero bajo las condiciones que la ley permite. Este concepto permite a las empresas tener una producción amigable al ambiente, lo que se traduce en mayores ingresos ya que la población está dispuesta a cancelar un 15%, más o menos sobre el valor del producto, por productos que demuestren que los acredita como productores limpios.

La ecoeficiencia se tiene que ir desarrollando en base a que las leyes de los diferentes países se pronuncien en forma enérgica contra las industrias que no realicen sus transformaciones de materias primas o procesos productivos bajo este concepto.

La base en la cual gira la ecoeficiencia es **producir más con menos** lo que significa que la utilización de recursos naturales es reducida y por ende los desechos contaminantes que resultan, líquidos, sólidos y gaseosos, son mínimos.

### **1.2.2. Desarrollo Sostenible.**

Este concepto es de tipo futurista debido a que no solo piensa en satisfacer las necesidades actuales sino que las posteriores generaciones también puedan satisfacer sus necesidades.

## CAPITULO II

### 2.0. BENEFICIADO DE CAFE EN EL SALVADOR

#### 2.1. GENERALIDADES DEL FRUTO DEL CAFE.

Para poder dar inicio a la descripción del proceso de beneficiado de café debemos conocer cual es la materia prima de la transformación y su composición.

En el siguiente cuadro se muestra el porcentaje en peso de la composición del fruto del cafeto.

#### **Cuadro 1**

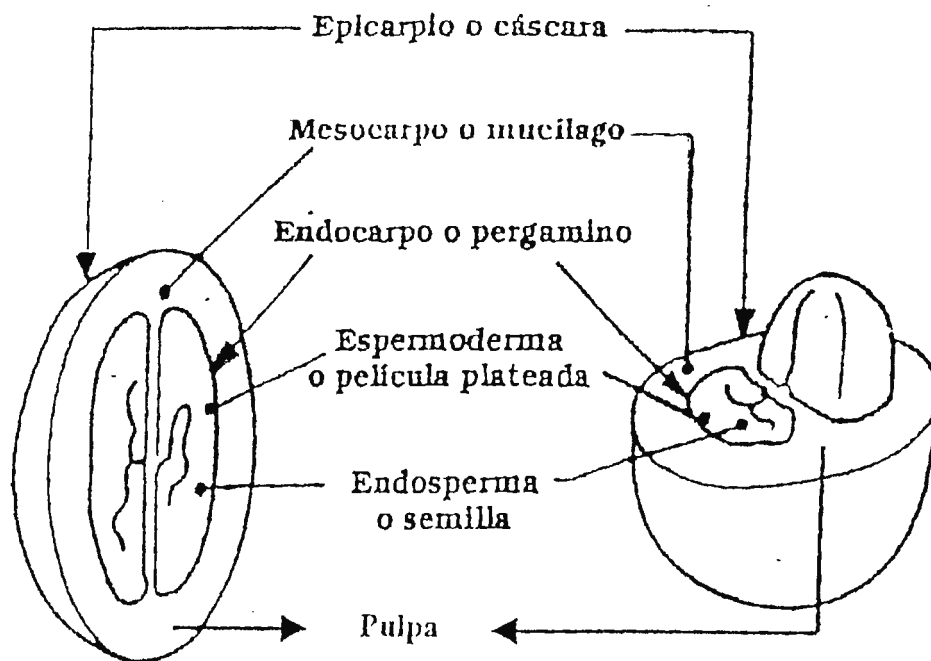
#### **Porcentaje en peso del grano de café<sup>2</sup>**

PRODUCTO	PESO FRESCO (gr.)	% PESO
FRUTO DEL CAFÉ	1,000	100
PULPA DE CAFÉ	400	40
MUCILAGO DEL CAFÉ	220	22
CASCARILLA DE CAFÉ	180	18
CAFÉ ORO	200	20

<sup>2</sup> Según Ing. José Jorge Morales Instituto Mexicano del café deleg. General Huatusco.

En la figura 1 se muestra la composición del fruto del café.

**Figura 1<sup>3</sup>**



- Pulpa o epicarpio: es la piel del fruto, de coloración verde cuando está inmadura, amarilla cuando empieza a madurar, roja al estar madura y marrón oscuro cuando está seco.
- Mucílago o mesocarpo: es una materia gelatinosa o gomosa, insoluble en agua, compuesta con pectinas y sustancias azucaradas.

<sup>3</sup> Tomada de la memoria del primer seminario sobre el beneficiado de café

- Pergamino o endocarpo: es la envoltura cartilaginosa y que cubre cada grano o semilla, es la llamada comúnmente cascarilla.
- Espermoderma o película plateada: es la última capa que cubre al grano formado por una membrana fina de color blanco transparente y de textura sedosa.
- Café oro o endosperma: es la parte principal del fruto, contiene agua, hidratos de carbono, cafeína, y el color es verde azulado.

## **2.2. ANTECEDENTES DE BENEFICIADO DE CAFE EN EL SALVADOR.**

### **2.2.1. Introducción del Café a El Salvador.**

En El Salvador el café se introdujo durante la época de la colonia, por los años 1740, desde las islas del caribe. Las áreas en que se cultivaron las primeras plantas fueron en los actuales departamentos de Santa Ana, La Libertad y Ahuachapán. Aunque el café se comenzó a expandir durante los años de independencia centroamericana, no fue sino hasta las décadas de 1860 y 1870 que recibió un decidido apoyo de los gobernantes de turno. El primer presidente en fomentar abiertamente el cultivo del café fue el Cap. Gral. Gerardo Barrios (1859- 1863).

### **2.2.2. Historia del Beneficiado en El Salvador.**

En la historia del beneficiado de café en el país se destacan la construcción y operación de tres beneficios con características propias y definidas, los cuales eran:

- Beneficio Álvarez el Molino: ubicado en Santa Ana, el cual fue diseñado sobre la base de conceptos de la ingeniería y construido por uno de los fabricantes de máquinas con renombre internacional, con toda la tecnología de la época. Se instaló y operó a principios de 1900 siendo el primero del país en tener succión de café silos de almacenamiento.
- Beneficio Apanteos: ubicado también en Santa Ana, cuyas instalaciones industriales estaban en manos de la compañía salvadoreña del café que por su capacidad de 375,000 qq /oro de transformación por cosecha, fue considerado uno de los beneficios más grandes del mundo.
- Beneficio Oromontique: ubicado en Santiago de María, Usulután, estas instalaciones tenían la capacidad de la transformación del café en serie y con los últimos adelantos en tecnología del proceso del café, los cuales eran máquinas mecánicas de separación del mucílago conocidas con el nombre de ELMU, separadoras neumáticas de agua, sistemas eficientes para la combustión de la cascarilla y la pulpa.

### **2.3. TIPOS DE PROCESO DEL CAFÉ.**

Para poder obtener el grano de café y comercializarlo, es necesario eliminar completamente las envolturas que cubren la semilla (pulpa, mucílago, cascarilla, envoltura plateada, en algunos países no se hace el desprendimiento de estas últimas envolturas), dicha eliminación se puede obtener por dos diferentes técnicas, vía seca y vía húmeda.

#### **2.3.1. Beneficiado de Café Vía Seca.**

Esta transformación se realiza a los frutos secos, la cual permite en una sola operación mecánica liberar los granos de todas sus coberturas en una forma sencilla.

Una de las desventajas es que los únicos que pueden acceder a este tipo de proceso son los países que poseen un régimen climatológico favorable como es el caso de Brasil debido a que las estaciones están bien definidas. La otra desventaja es la calidad del grano debido a que cuando se seca este pierde muchas sustancias que perjudican la calidad y por ende el precio en el mercado es mucho más bajo.

La ventaja principal de este tipo de transformación es la mínima contaminación que produce debido a que no tiene descargas de aguas residuales y los desechos sólidos son aprovechados casi en su totalidad.

### **2.3.2. Beneficiado Vía Húmeda.**

Este a diferencia del proceso anterior utiliza agua en todo su recorrido para obtener el café oro. La manipulación del café uva se realiza en dos períodos: El primero, que es el húmedo, se inicia con la eliminación de la pulpa, la separación del mucílago ya sea natural, mecánico o lavado; El segundo periodo, es el seco, en el cual se elimina la humedad ya sea en patios o en presecadoras mecánicas; luego pasa a la trilla para eliminarle la cascarilla y la película plateada.

El proceso se realiza en casi todos los países productores de café debido a que las condiciones climatológicas no son favorables ya que la época lluviosa es muy larga y el aire está muy cargado de humedad y no es posible utilizar otro método.

Entre las ventajas del beneficiado húmedo se encuentran:

- El grano que se obtiene es de mayor calidad.
- El precio en el mercado mundial es más elevado.

Entre las desventajas de este proceso están:

- El proceso es mucho más largo y requiere un cuidado y atención más específica.
- Se necesita mayor cantidad de mano de obra.
- El costo de producción se incrementa.

- La contaminación ambiental es mucho mayor ya que las descargas de aguas mieles son abundantes y los residuos sólidos tienen que pasar por un tratamiento para poder ser utilizados posteriormente.

#### **2.4. PROCESO ACTUAL DE LA TRANSFORMACIÓN DEL CAFÉ EN EL SALVADOR.**

El proceso húmedo que se realiza en los beneficios de café en el país no varían mucho de los realizados a principio de siglo, los únicos cambios son en la eficiencia de la maquinaria lo que trae como consecuencia el menor consumo de energía.

En el beneficio que se realiza el estudio la transformación se ejecuta de la siguiente forma:

##### **2.4.1. Pesado y Vaciado**

El vehículo de transporte de los frutos, en el que generalmente se utilizan camiones de carga y cuyo depósito de granos son los costales de 1qq, es pesado en la báscula y llevado a las pilas de recepción o acopio del café uva para iniciar el proceso de transformación del café.

#### **2.4.2. Correteo Clasificación y Despulpado del Café de Primera.**

Una vez recolectado en las pilas, las cuales poseen desnivel en el fondo para ayudar a la evacuación del café de estas, inicia el proceso de correteo al descargarle agua de recirculación para evacuar los frutos y transportarlos hacia una bomba de rodete abierto de 25 HP., por unas canaletas construidas de concreto en las cuales se le aumenta el caudal al adicionarle agua de recirculación para evitar que la bomba en ningún momento trabaje sin agua y pueda dañar alguna parte interna. Antes de llegar a la bomba existe una especie de pileta de protección para atrapar allí alguna materia pesada (como piedras, etc.) y así evitar que la succione la bomba y rompa la misma, la bomba impulsa el agua con los granos de café uva por una tubería de P.V.C. de 6" de diámetro y una altura de aproximadamente 10 m. para depositarla en un canal de hierro en cuya construcción posee un desnivel para aprovechar la acción de la gravedad y ayudar así al transporte con una mayor velocidad, en dicho canal existen tres tipos de separadores de partículas extrañas ( pitas, plásticos, hojas, etc.) las cuales son una especie de rastrillo en los que quedan detenidos la mayor parte de estas partículas, en cada uno de los separadores se han construido unas trampas pequeñas o cajas de registro, cuya función es eliminar alguna piedra u otro objeto pesado que haya sido transportado por la bomba y disminuir el riesgo de que puedan llegar a los pulperos.

Siguiendo la secuencia del correteo llegan a un sifón clasificador, el cual tiene una forma de cono truncado y está provisto de un cilindro hueco en el centro para poder así evacuar el grano de café uva a los canales de alimentación de los pulperos.

Dicha clasificación se realiza en este sifón por peso o gravimétrica ya que los frutos más pesados se depositan en el fondo y son evacuados por el cilindro al canal de correteo de los pulperos y los de menor peso, los llamados flotes o granos vanos, ( granos quebrados, defectuosos, secos) salen por una tubería hacia la pila de flotes o segunda y de ahí van directamente a los patios a ser secados.

Después de la clasificación en el sifón el transporte de los granos se realiza a los seis pulperos de primera cuya alimentación se realiza por medio de compuertas reguladas por los operarios manualmente según la cantidad de café que esté presente en el canal de correteo y también la capacidad de cada pulpero la cual es aproximadamente 17 qq/oro por hora. Al ingresar el agua con los granos de café uva existe una separación de agua, aproximadamente del 50%, por medio de unos adelios pequeños que ayudan a dispersar el agua a lo largo del depósito superior de las máquinas y luego evacuarla por la sección posterior de la máquina. Este tipo de máquina se le llama pulpero con pechero de hule ya que en su interior está provisto de unas pestañas en la que se instalan una faja de hule, la separación de la pestaña de hule y el cilindro de cobre es entre 7 a 10 mm,

para que al apretar el cilindro de cobre contra esta sección el café solamente se separe de la pulpa y no se dañe ya que un poco mas abajo siguiendo el sentido de giro del cilindro se encuentra una pestaña de acero inoxidable cuya función es de terminar de separar totalmente la pulpa del grano y enviar a esta a la parte posterior de los pulperos a un canal de correteo el que se unen el agua y la cáscara desmembrada del grano. En la parte frontal del pulpero son expulsados los granos sin cáscara y sin agua.

Es en esta sección en que los granos despulpados son depositados con ayuda del agua separada en un 50% en la parte superior y conducida por medio de tuberías de 1½" para efectuar nuevamente la acción de correteo hacia las cribas.

### **2.4.3. Cribado, Despulpe de Segunda y Transporte de Pulpa.**

A las cribas, los granos llegan por medio de un canal de correteo y la distribución a las cuatro diferentes cribas se realiza por medio de compuertas accionadas manualmente para dosificar la cantidad a la que están capacitadas (aproximadamente de 25 qq/oro cada una) estas seleccionan el café despulpado del sin despulpar, por medio de los agujeros que tienen en todo el recorrido del cilindro, los granos despulpados se sumergen hasta el fondo del depósito, cuya forma es parecida a la del sifón clasificador de flotes, en donde existe una compuerta la que se abre cada

cierto tiempo (10 a 15 min.), para darle paso a ser conducidos y depositados por medio de canales a las pilas de fermentación.

En el recorrido que realizan los granos de café a lo largo de las cribas el objetivo es evacuar todos los granos que no se despulparon por diversas razones, ya sea por ser granos pequeños, granos verdes, algún grano vano, etc., y ser despulpados nuevamente a los pulperos de segunda o repaso, este transporte inicia al final de las cribas en donde son recibidos los granos con una dosificación de agua recirculada para depositarlos en una pequeña pila la cual a su lado tiene instalada una bomba la cual impulsa a estos granos a un canal de correteo para alimentar a los pulperos de segunda, cuya alimentación, acción de despulpe y transporte es similar a los pulperos de primera, con la diferencia en la construcción debido a que estos no poseen pechero de hule, el cilindro es de hierro y no ocurre la separación de agua, por lo que esta se evacua tanto por la parte posterior como por la parte frontal de la máquina, en la sección de salida de los granos ya despulpados también se repite el mismo procedimiento de correteo hacia las cribas, clasificación de los granos no despulpados de los que se despulparon, los granos de mayor peso se sumergen y pasan a las pilas de fermento junto con los de primera; y los no despulpados son llevados al final de la criba para poder realizar nuevamente el correteo a los pulperos de segunda y esta acción se repite para los granos menos pesados en un circuito cerrado.

Retomando la evacuación de la pulpa, el canal de correteo de despulpe de primera y el de segunda se unen hasta llegar a un depósito, allí se encuentra una bomba la cual impulsa la pulpa hacia el lugar donde se encuentra un adelio en el cual el caudal es depositado, en la parte inferior se encuentra una zaranda por donde se evacua el agua y los adellos remueven la pulpa hasta depositarla en un transportador helicoidal para que este la remueva y la descargue donde se encuentran los depósitos de pulpa, el agua que se separa es transportada por medio de gravedad por una tubería a un tanque principal de agua recirculada de donde es tomada para realizar todo el proceso descrito anteriormente.

#### **2.4.4. Fermentación y Lavado.**

Ya en las pilas de fermento o acción bioquímica los granos de dejan reposando por un tiempo aproximado de 3 horas (este tiempo varía según información recabada dependiendo cuanto tiempo tenga el agua de recirculación, si el agua tiene un día de haber sido cambiada por agua nueva el tiempo de fermento aumenta y al contrario si el agua tiene seis días de estar en recirculación el tiempo disminuye por la acción de los sólidos suspendidos, materias de descomposición presentes en el agua, etc.), en condiciones de medio ambiente.

Este tipo de separación de mucílago es efectivo ya que se logra la descomposición de materias pécticas presentes en el mucílago y así eliminar los residuos en el siguiente proceso que es el lavado.

Luego del tiempo transcurrido en la acción bioquímica las semillas son evacuadas de las pilas por medio de una compuerta ubicada en la parte inferior de las pilas y que por la acción de la gravedad (debido a que las pilas están construidas con un desnivel del 10%) y también con la ayuda de agua que viene de la sección de lavado su transporte se realiza eficientemente el cual se dirige a una pequeña pila en la que se encuentra otra bomba la cual eleva los granos con el agua para descargarlos en la máquina lavadora, esta acción se realiza por medio de una tubería con un pequeño tramo de ésta introducido el cual no está paralelo al radio de la criba sino con una pequeña inclinación para que todo el caudal choque contra la pared de la criba y así evacuar el agua del correteo. En la parte superior y exterior de la criba existe una tubería con agujeros dispuestos a todo lo largo de criba para empezar a remover las partículas de mucílago que aún se encuentran en el grano, la criba tiene una inclinación con respecto a la horizontal para ir desechando los granos que con la rotación de esta se realiza con mayor rapidez, a la salida de la criba está colocada una tubería de 2" de diámetro por donde cae agua limpia y termina de limpiar el mucílago, luego es nuevamente succionada, agua y granos, a un segundo lavador neumático, donde se descarga el caudal y que por la

acción del aire separa el agua de los granos, el agua cae a un depósito donde es tomada para realizar el correteo de las pilas de fermento y el café retirado por un transportador helicoidal hacia otro que se encuentra una posición perpendicular de donde es retirado a los silos de almacenamiento hasta que los distribuyen ya sea a los patio o a las presecadoras mecánicas.

## **2.5. CIRCUITOS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA.**

Para poder explicar mejor los circuitos de recirculación de agua se tiene la siguiente descripción.

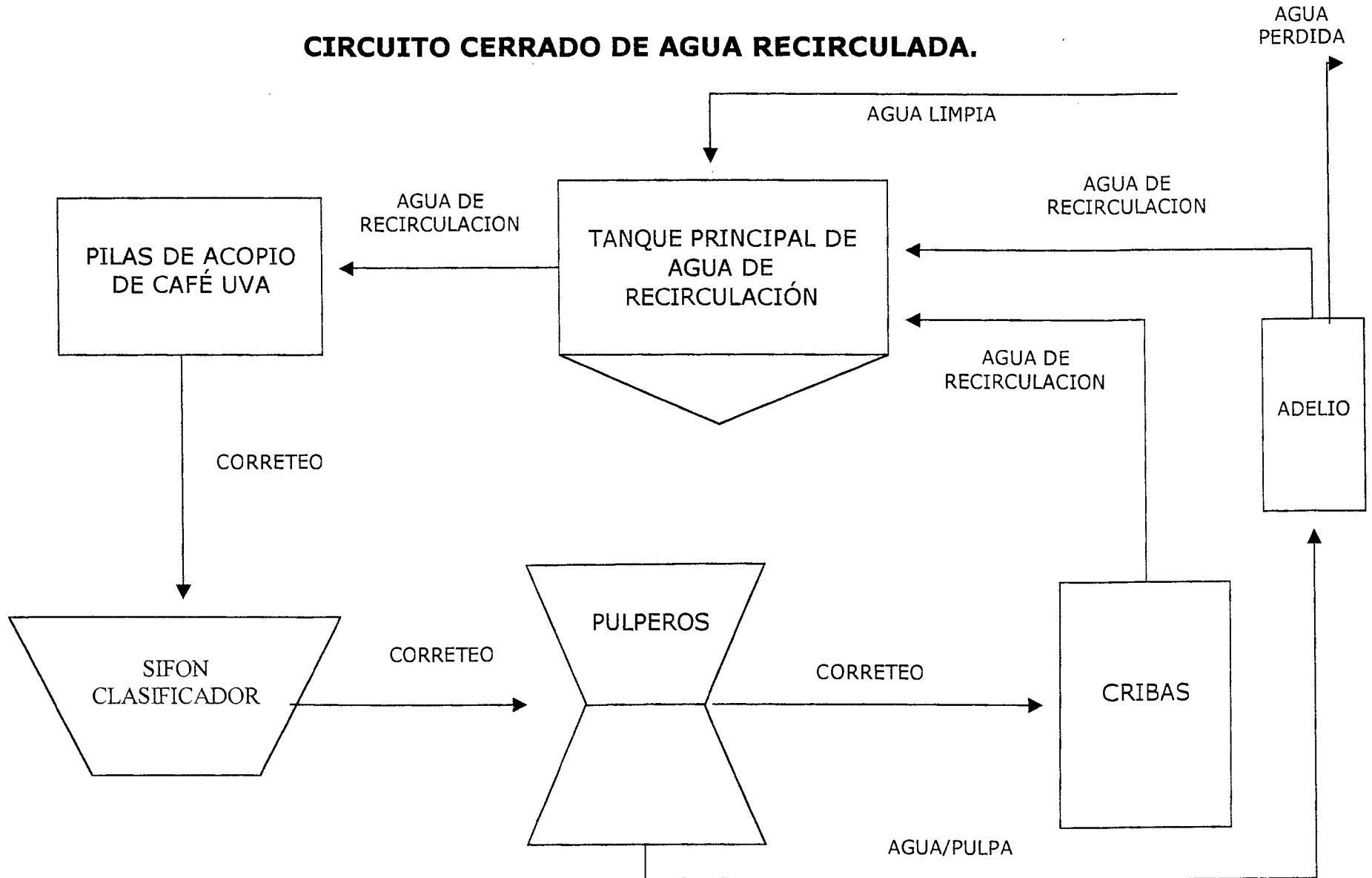
### **2.5.1. Circuito Cerrado.**

Partiremos del tanque de recirculación principal para realizar este recorrido, el cual de dicho tanque el agua es bombeada hacia las pilas de acopio del café uva, también es utilizada para aumentar el caudal antes de entrar a la bomba que eleva al sifón clasificador, otra parte se utiliza a las salidas de las cribas de primera y también en las de repaso, el transporte de la pulpa hasta los adielos se efectúa con esta agua, es aquí donde se pierde un aproximado de un 15 a un 20% del agua de recirculación por lo que es necesario estar reponiendo esta pérdida con agua nueva que se deposita directamente al tanque principal de recirculación.

En lo que respecta a toda la utilización del agua del circuito cerrado es nuevamente depositada en dicho tanque por las tuberías de recolección que se encuentran a lo largo del proceso de despulpado, el agua de recirculación la utilizan siete días continuos y luego la descargan a un predio propiedad del beneficio e introducen al proceso agua limpia. El circuito se muestra en la figura 2.

**FIGURA 2**

**CIRCUITO CERRADO DE AGUA RECIRCULADA.**

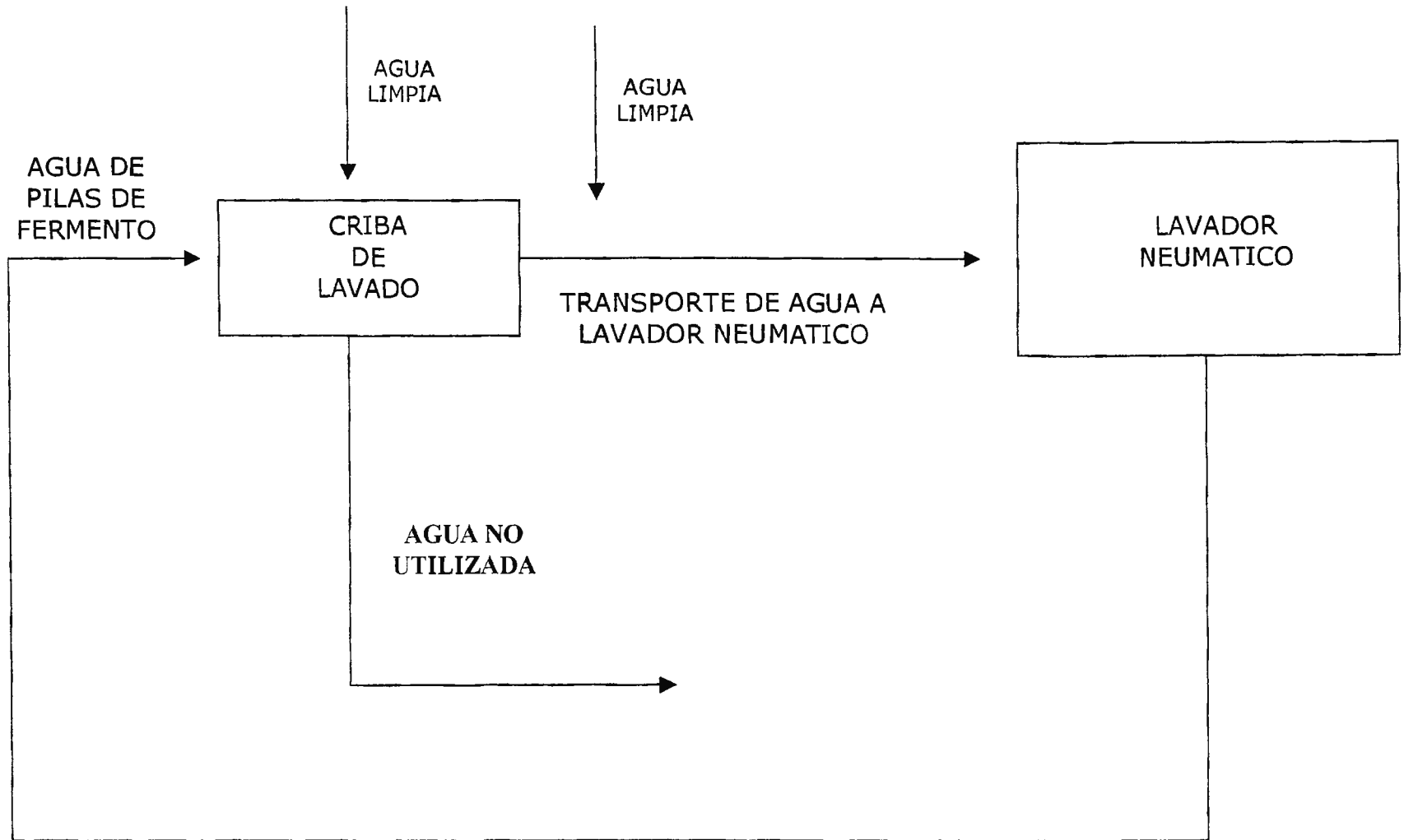


### **2.5.2. Circuito Abierto.**

El circuito abierto se encuentra en toda la sección de lavado aquí no existe un tanque de retorno debido a que el lavado no se puede realizar con agua recirculada porque se afecta la calidad del grano, el circuito empieza al incorporarle agua limpia al final de la criba de lavado luego esta agua es separada en el lavador neumático, de allí es impulsada a las pilas de fermentación y es separada nuevamente al inicio de la criba del lavado. Este circuito se muestra en la figura 3.

**FIGURA 3**

**CIRCUITO ABIERTO DE AGUA.**



# **CAPITULO III**

## **RESIDUOS Y CONTAMINACION DEL BENEFICIADO DE CAFÉ**

### **3.1 GENERALIDADES**

El problema de la contaminación provocada por el beneficiado húmedo de café se conoce en casi todos los países que producen el café por la vía húmeda. Como cualquier actividad agroindustrial, el Beneficiado de café genera residuos (sólidos y líquidos), que contaminan el medio ambiente.

Debido a que cada beneficio es un caso particular, es necesario realizar un diagnostico particularizado para determinar las características del problema ambiental y establecer así soluciones mas adecuadas.

### **3.2 ORIGEN Y TIPO DE LA CONTAMINACIÓN.**

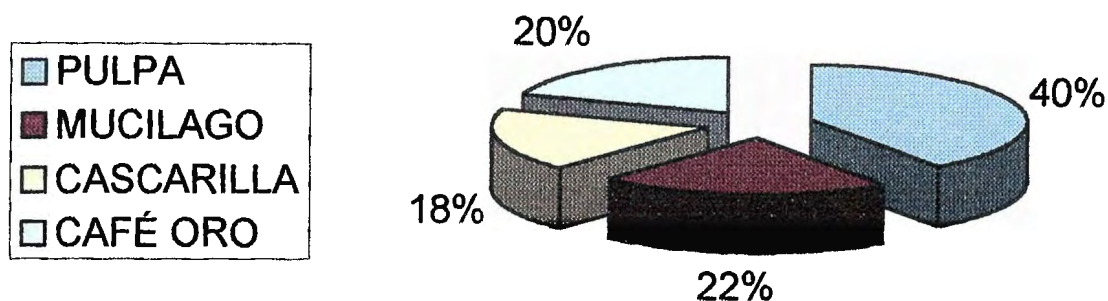
Como se menciona anteriormente en el procesamiento del café los residuos se generan en dos formas:

- **SOLIDOS** : constituidos por la pulpa y la cascarilla.
- **LIQUIDOS** : formados por sustancias solubles o suspendidas en el agua de proceso.

Además existen otros problemas ambientales como ruido, malos olores, gases de combustión. Pero el mayor riesgo de contaminación para el entorno está asociado a la pulpa y las aguas residuales.

Del fruto del café, solo el 20% termina siendo grano oro, el resto constituye residuos potencialmente contaminantes al medio ambiente sino se procesan adecuadamente. Es decir que el 80% del fruto del café está constituido por residuos, posibles contaminantes del medio ambiente, como se observa en la figura 4.

**FIGURA 4**  
**Composición del fruto del**  
**Café<sup>4</sup>**



### **3.2.1. Desechos Sólidos.**

#### **3.2.1.1. Pulpa.**

La pulpa (40% de la cereza del café) que se genera en grandes proporciones (2.2 Kg. de pulpa por cada Kg. de café oro), y que es muy voluminosa (2m<sup>3</sup> por TM<sup>5</sup> de pulpa ), representa la mayor cantidad de materia orgánica generada en el proceso del beneficiado, constituyéndose en uno de los grandes factores contaminantes.

---

<sup>4</sup> Según cuadro 1

<sup>5</sup> Tonelada métrica

### **3.2.1.1.1 Uso actual y potencial.**

Diversas opciones son consideradas y empleadas para evitar que la pulpa contamine los ríos vecinos de los beneficios, como son: almacenamiento simple, biabono o combustible.

En el pasado la pulpa se vertía directamente, muy a menudo al río, considerada para aquel entonces como una forma económica y practica de deshacerse de las cantidades importantes generadas por el proceso (alrededor de 2m<sup>3</sup> por quintal de café oro). Medidas reglamentarias de prohibición, así como esfuerzos importantes de sensibilización e información de los beneficiadores han disminuido esta práctica, sin que se halla eliminado totalmente.

Actualmente el almacenamiento es una solución adoptada por un número importantes de beneficios, Tal es el caso del beneficio en estudio. Sin embargo, en algunos beneficios esta solución ha permitido en un primer momento evitar la contaminación de los ríos, y como resultado de este almacenamiento se da origen a un nuevo elemento de contaminación, siendo el lixiviado de la pulpa.

La pulpa posee un 90% de materia orgánica así como los siguientes componentes químicos que se muestran en el cuadro 2.

## CUADRO 2

### Componentes Minerales de la Pulpa<sup>6</sup>

COMPONENTE	CONTENIDO ( % )
Nitrógeno ( N- total )	1.5 – 1.75
Fósforo	0.1 – 0.2
Potasio	2.5 – 5.5
Calcio	0.4 – 0.5
Magnesio	0.07 – 0.12

#### **3.2.1.2 La cascarilla.**

El último desecho generado por la transformación del café es la cascarilla: el café es secado con su cascarilla y luego esta es separada.

---

<sup>6</sup> obtenido del

La cascarilla no representa un riesgo de contaminación, debido a que en la mayoría de los casos es usada en el beneficio como combustible.

### **3.2.2. Desechos Líquidos.**

En la actualidad los beneficios utilizan el agua esencialmente para cuatro tareas:

- Para transporte de los frutos, granos y pulpa de café.
- Para la separación de la materia indeseable como arena, piedras, hojas u objetos metálicos.
- Para clasificar hidrostáticamente los frutos en diferentes calidades.
- Para lavar el grano a fin de eliminar los productos de la fermentación del mucílago.

Por la utilidad que tiene el agua en el proceso, esta se vuelve en agente de contaminación, debido a que va adquiriendo a lo largo del proceso gran cantidad de materia orgánica por el contacto que tiene con las diferentes fracciones del fruto del café y las sustancias

solubles o insolubles que estas liberan. Convirtiéndose al final del proceso como "DESECHO LIQUIDO".

Los desechos líquidos, en forma de sustancias disueltas o suspendidas en las aguas del proceso, pueden contaminar ríos, quebradas u otras fuentes de agua donde se depositan.

A estas aguas comúnmente se les denominan "**aguas mieles**". El grado de contaminación que originan se mide por su volumen y su concentración de materia orgánica, utilizando las siguientes unidades:

- Sólidos Suspendidos (SS), o cantidad de sólido en suspensión ( $\text{kg ss/m}^3$ ).
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), o cantidad de oxígeno requerido por un inóculo de bacterias para descomponer la materia orgánica durante 5 días a  $20^\circ\text{C}$  de temperatura ( $\text{Kg. DBO/m}^3$ ).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO), o cantidad de oxígeno necesaria para oxidar completamente la materia orgánica contenida en el agua por agentes químicos altamente oxidantes, como, el permanganato de potasio, en un ambiente altamente ácido ( $\text{Kg DQO/m}^3$ ).

### **3.3. ETAPAS DE LA CONTAMINACION.**

De forma general, como se observa en la figura 5. El proceso de beneficiado se efectúa siguiendo la secuencia de operaciones: Recibido, Clasificación, Despulpado, Eliminación del mucílago, Secado y Trillado.

En las primeras cuatro operaciones antes mencionadas se utiliza el agua como medio o agente de transporte provocando su contaminación en menor ó mayor grado.

### **3.3.1. Recepción y Clasificación.**

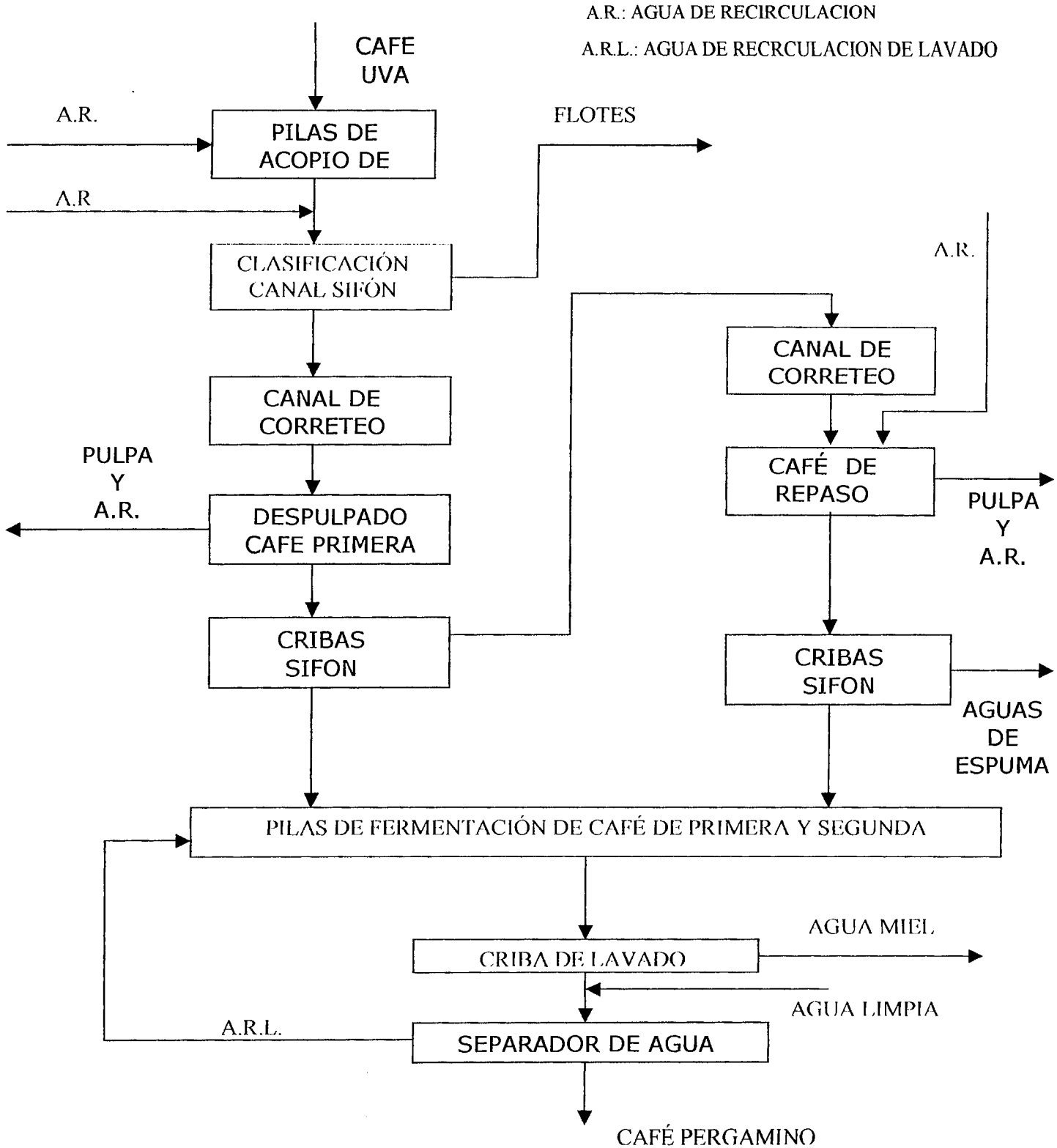
El agua en esta etapa es utilizada para el transporte del café de las pilas al sifón clasificador. La contaminación que se da en esta operación proviene de la suciedad que tengan los frutos y de los componentes que pueden disolverse de granos maltratados por el transporte. En comparación a otras etapas del proceso, el nivel y tipo de contaminación es pequeño.

### **3.3.2. Despulpado.**

El despulpado debido a la presencia de agua se convierte en una de las operaciones más contaminantes del proceso. Al abrirse los frutos, los componentes solubles son atraídos; lo que sucede en función del tiempo y la intensidad del contacto que tiene la pulpa con el agua. A su vez las fibras y partículas pequeñas quedan en suspensión y aumentan el nivel contaminante del proceso. Se estima que esta etapa contribuye mínimamente con 3 Kg.DQO/qq oro.

El tipo de sustancias (cafeína, taninos, ácido clorogénico, ácido cafeínico entre otros) que se desprenden son las más contaminantes del café, que provocan el color oscuro del agua y que dificultan su

# FIGURA 5 ESQUEMA DEL BENEFICIAO.



tratamiento posterior. Un 50% de la carga contaminante de las aguas del proceso son generadas en esta etapa.

### **3.3.3. Eliminación del Mucílago (lavado).**

Es la etapa posterior a la de despulpado y la otra más contaminante, aporta aproximadamente 3.4 Kg.DQO/qq oro, en forma de sólidos suspendidos y materia disuelta en el agua. Pero el tipo de contaminante (azúcares, pectinas, celulosa) es menos complejo que el aportado por la operación de despulpado, lo que podría simplificar su tratamiento posterior. En esta etapa de fermentación y lavado, se origina casi el otro 50% de la carga contaminante, sin embargo son los restos del mucílago los que aportan contaminantes orgánicos.

La contaminación por las aguas mieles es una contaminación exclusivamente orgánica, principalmente azúcares pero también como se mencionó anteriormente cafeína, taninos, ácidos clorogénicos, etc.

Su efecto contaminante adquiere varias formas:

- Efecto directo por la modificación de sus calidades organolépticas.
- Por la alta demanda de oxígeno de las materias.
- Efecto indirecto como medio de cultivo bacteriológico.

### **3.4. CUANTIFICACION DE DESCARGA DE RESIDUOS.**

Para cuantificar el beneficio en términos de contaminación, es necesario conocer la cantidad de agua utilizada en el proceso, cantidad de materia orgánica y cantidad de subproductos descargados.

#### **3.4.1. Cantidad de Agua Utilizada.**

En vista de que el beneficio no cuenta con un dato del consumo del agua utilizada fue necesario determinar la cantidad de agua utilizada, por el método de aforo, el cual consistió en abrir todas las válvulas que son utilizadas para el despulpado y lavado del café. Antes de iniciado el proceso se midió, en un depósito con un volumen conocido, el volumen de agua que se evacua por cada válvula, en un período de tiempo determinado, para conocer el caudal. Luego se registró el tiempo que permanecen abiertas las válvulas para cada etapa del proceso, lo que nos permitió conocer el consumo de agua total que se utiliza en el proceso. El día que se realizaron las mediciones se transformaron 2,500 qq/uva que corresponde aproximadamente, haciendo la transformación de  $5 \text{ qq/uva} = 1 \text{ qq/oro}$ , a 500 qq/oro.

En el cuadro 3 se representa el resumen de las mediciones realizadas.

**CUADRO 3**  
**Mediciones Realizadas<sup>7</sup>**

PROCESO	ETAPA	No. de válvulas	Tiempo de medición (seg.)	Volumen de agua (lts.)	Flujo de agua (lts./min.)*	Tiempo de abertura de válvulas (min.)	Consumo de agua (lts.)**	Consumo total (lts.)***
DESPULPADO	PILAS DE RECEPCIÓN	5	3	15	300	60	18,000	90,000
	CRIBAS	6	3	15	300	60	18,000	108,000
LAVADO	ELIMINACIÓN DEL MUCÍLAGO	1	84	94	67	60	4,020	4,020
		1	5.3	23	260	60	15,600	15,600
<b>SUMA = 217,620<sup>1</sup></b>								

\* Flujo de agua (lts./min.) = (vol. de agua / tiempo de medición) \* 60

\*\* Consumo de agua (lts.) = flujo de agua (lts./min.) x Tiempo de abertura de válvula (min.)

\*\*\* Consumo total de agua = Número de válvulas x consumo de agua (lts.)

<sup>1</sup> El total de agua es de 217,000 lts \* (1m<sup>3</sup> /1,000 lts) = 217m<sup>3</sup>/100 QQoro = **2.17 m<sup>3</sup>/QQoro ~ 2.2**

<sup>7</sup> Formato tomado del folleto peicce, por un café limpio.

Como se puede observar para el despulpado de 100 qq./oro de café se tiene un uso de agua de 217,620 lts., es decir que para despulpar un qq. oro se utilizan 2,176 lts. o aproximadamente 2.2 m<sup>3</sup> de agua; por lo tanto según el cuadro 4 que clasifica el uso de agua en el beneficiado, permite obtener una idea del consumo de agua la que se encuentra en el rango de utilización de mucho agua.

#### **CUADRO 4**

**Clasificación del agua utilizada en el beneficio<sup>8</sup>**

Clasificación del uso de agua	Cantidad de agua utilizada
Usa poco agua	De 0.2 a 0.5m <sup>3</sup> /qqoro
Usa moderada agua	De 0.5 a 1.0 m <sup>3</sup> /qqoro
Usa mucha agua	De 1 a 2m <sup>3</sup> /qqoro
Uso exagerado de agua	Más de 2 m <sup>3</sup> /qqoro

<sup>8</sup> Folleto peicce, por un café limpio.

### **3.4.2. Cantidad de Materia Orgánica.**

Como se mencionó anteriormente la contaminación de las aguas mieles es exclusivamente orgánica. Sin embargo el principal factor que influye en la cantidad de materia orgánica producida con la descarga de los residuos del beneficio, es la forma como se maneja la pulpa. Es este factor el que determina cuanta materia orgánica contienen las aguas del despulpado, ya que las aguas del lavado son mucho más constantes en la composición.

En el cuadro 5 se cuantifica la materia orgánica que se produce en las aguas residuales en el beneficio, esto dependiendo en las diferentes variantes en el manejo que se efectúen con las aguas de despulpado.

Por la forma en que se efectúa el proceso despulpado-lavado en el beneficio en estudio, se tiene que la cantidad de materia orgánica generada es de aproximadamente 9.0 kg.D.Q.O./qq oro.

## CUADRO 5

### DETERMINANDO LA MATERIA ORGANICA QUE SE PRODUCE EN EL BENEFICIADO HUMEDO<sup>9</sup>

FORMA EN QUE SE REALIZA EL PROCESO DEL BENEFICIADO	KG.D.Q.O./QQoro PROCESADO	NUESTRO CASO EN PARTICULAR
Despulpado y trasporte de la pulpa en seco	0	0
Despulpe y trasporte de la pulpa con agua :		
Pulperos de Pechero de hule o hierro	2.6	2.6
Separadora de verde	3.9	
Separando el agua de la pulpa:		
Inmediatamente después del despulpador	0	
A 20-50 mts. Después del despulpador	1	
A más de 50 mts. del despulpador	2	2
Transportado la pulpa con agua:		
Sin bomba, únicamente por gravedad	0	
Con bomba en el trayecto	1	1
Lavado de café	3.4	3.4
<b>TOTAL</b>		<b>9.0 Kg.D.Q.O./QQoro</b>

<sup>9</sup> Folleto peicce, por un café limpio.

### **3.4.3. Cantidad de Subproducto Total.**

Una vez conocida la cantidad de agua que se utiliza en el proceso y la cantidad de materia orgánica que contienen las aguas residuales del proceso (despulpado y lavado), se puede cuantificar la cantidad total de subproductos que se producen en el beneficio, esto con la ayuda que brinda el cuadro 6. Tomando en cuenta los parámetros siguientes:

- Cantidad de café procesado.
- Cantidad de pulpa fresca.
- Cantidad de agua que se utiliza en el proceso.
- Cantidad de materia orgánica.

Como se puede observar, en el cuadro 6, la cantidad de materia orgánica en las aguas residuales del proceso es de 4,500 kg. D.Q.O.

Al establecer una comparación con las descargas de aguas negras por día que se producen en una ciudad de 1,000 habitantes es de 100 k.g.D.Q.O., lo que implica que las descargas del beneficio, equivaldría a las descargas de aguas negras de una ciudad de 45,000 habitantes, lo anterior proporciona un parámetro de los contaminantes que son las aguas residuales del beneficiado de café.

**Cuadro 6**

**CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MATERIA ORGANICA**

		CASO PARTICULAR DEL BENEFICIO	
COMPONENTES	UNIDAD	DATOS BASICOS/QQoro	TOTAL POR DÍA
Cantidad de café procesado (A)	QQoro		$A^1 = 500 \text{ QQ oro}$
Cantidad de pulpa fresca (B)	$\text{m}^3$	$B = 0.2 \text{ m}^3/\text{Qqoro}$	$B^1 = B \times A^1 = 100 \text{ m}^3$
Cantidad de agua que se usa en el proceso (C)	$\text{m}^3/\text{QQoro}$	$C = 2.2 \text{ m}^3/\text{Qqoro}$	$C^1 = C \times A^1 = 1,100 \text{ m}^3$
Cantidad de materia orgánica		$D = 5.6 \text{ kg. D.Q.O./QQoro}$	$D \times A^1 = 2,800 \text{ kg.D.Q.O.}$
En agua de despulpe (D)	Kg. D.Q.O.		
En agua de lavado (E)		$E = 3.4 \text{ kg. D.Q.O./QQoro}$	$E \times A^1 = 1,700 \text{ kg.D.Q.O.}$
Total de materia orgánica en aguas de proceso( F) como la suma de D Y E	Kg. D.Q.O.	$F = 9 \text{ kg. D.Q.O./QQoro}$	$F \times A^1 = 4,500 \text{ kg.D.Q.O.}$
Concentración promedio de materia orgánica ( F/C)	$\text{Kg. D.Q.O./m}^3$	$F / C = 4.1 \text{ Kg. D.Q.O./m}^3$	

### **3.4. DIAGNOSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL BENEFICIO.**

No se encontraran recetas ya hechas para resolver los problemas o responder a las peticiones de las autoridades ambientalistas.

Por tanto para emprender acciones y realizar inversiones, es necesario que se realice un diagnóstico previo del beneficio, siempre que el beneficiador este en la posición de implementar las medidas, y financiarlas, que permitiría:

- Determinar la amplitud de los problemas relacionados con los residuos.
- Evitar considerar opciones a futuro.
- Tener un estimado aproximado de los recursos financieros necesarios para resolver los problemas de contaminación.
- Por tanto ayudaría al beneficiador a:
- Concebir una estrategia coherente, a largo plazo, para terminar con los problemas de descarga de los residuos.
- Evitar las inversiones innecesarias; y
- Concentrarse en las medidas más eficientes y de menor costo.

Como se mencionó anteriormente sobre el origen y tipo de contaminación de las diferentes etapas del proceso por la vía húmeda, la pulpa que es uno de los desechos sólidos, se puede considerar que es fuente de contaminación al verterse o almacenarse cuando:

- Contaminan el río o fuente de agua superficial:
  1. Si se vierte directamente al río.
  2. Si se almacenan tan cerca del río que se dan deslizamientos y los lixiviados de la pulpa lleguen al río.
  3. Contamina el manto acuífero, si las condiciones de impermeabilidad del terreno y la proximidad del nivel freático a la superficie favorecen la rápida infiltración y por consiguiente la contaminación del manto acuífero.
  
- Daña a la población aledaña:
  1. Con malos olores.
  2. Proliferación de las moscas.
  3. Destrucción de la vegetación natural.

Además las aguas mieles son otro agente de contaminación, estas pueden contaminar el río, lago o mantos acuíferos donde son vertidas.

Al verter el agua en una laguna sin impermeabilizar o en un pozo, la contaminación no es tan visible sino existen pozos abiertos cercanos.

Puesto que las infiltraciones de aguas mieles pueden contaminar los acuíferos y así permanecer durante cientos de años, luego que la capacidad de auto depuración de un acuífero es nula a escala de una generación. Si se tiene una evaporación natural en una laguna de alrededor de 10 a 15 cm. por mes en época seca, y si el nivel de la laguna disminuye más rápidamente, es muy probable que exista infiltración a un acuífero.

Al verter directamente las aguas mieles a los ríos el efecto contaminante que se causaría no solo depende del beneficio. Sino también de todos los beneficios, u otros agentes contaminantes que hacen uso del mismo río. Ya que la contaminación dependerá de quienes hacen uso del agua del río abajo y que calidad de agua ellos requieren para sus actividades. Utilizarla para riego, para el ganado u como agua potable.

Si se determina que el beneficio tiene efectos negativos al medio ambiente y a las comunidades vecinas, se pueden considerar las siguientes soluciones viables; estas son de tres tipos:

- Las relacionadas con las transformaciones a nivel del proceso de beneficiado (como el despulpe en seco, reducción del consumo de agua)
- Las medidas de tratamiento y uso productivo de la pulpa (abono orgánico y combustible).
- Las medidas de tratamiento de las aguas mieles ( medidas simples, medidas que eliminan sólidos y materias disueltas en las aguas).

Sin embargo antes de tomar cualquier decisión es necesario evaluar; el costo actual del manejo de los residuos , y los riesgos de cierre del beneficio por el mandato de las autoridades ambientales.

Tal como se indicó anteriormente la industria del café genera dos tipos de residuos que provocan contaminación: la "pulpa", residuo sólido que al depositarse en terrenos o quebradas es fuente de malos olores y criaderos de plagas, y las "aguas mieles" que adquieren una carga orgánica fuerte por la disolución y arrastre de subproductos del café.

Para evitar o disminuir la contaminación en forma eficiente y al mínimo costo, se deben de tomar en el proceso mismo de esta agroindustria. Al organizar adecuadamente el proceso de producción, los residuos se pueden producir de forma mínima y más idónea para su posterior tratamiento, como también disminuir los costos de descontaminación. Sin embargo para facilitar el tratamiento de los residuos se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones básicas:

- Por ser más fácil y barato el tratamiento de sólidos que de aguas residuales, se debe procurar que la mayor parte de los residuos se produzcan en forma sólida.
- Además, como el costo de tratamiento de las aguas residuales depende de su volumen, éste de debe reducirse al mínimo.
- Que una solución integral del problema que este basada en la reutilización de los subproductos, es mucho más barata y viable que la suma de las soluciones parciales.

Al efectuar un análisis global de los procesos de un beneficio para disminuir su contaminación conlleva a las observaciones siguientes:

Con el despulpado y traslado de la pulpa en seco se disminuye la carga contaminante de las aguas mieles en más de un 50%, obteniendo de esta manera residuos en forma sólida.

El proceso de beneficiado permite varias posibilidades para minimizar el uso del agua: el reciclaje de las aguas de despulpe, concentra la carga orgánica de residuos líquidos permitiendo disminuir considerablemente el volumen de aguas mieles, sin que esta práctica dañe la calidad del café , sino por lo contrario permite la ventaja de reducción del período de fermentación.

Los residuos del beneficio ofrecen múltiples posibilidades para su aprovechamiento no solo productivo sino también económico: la "pulpa" se puede utilizar como abono orgánico, después de un tratamiento adecuado , o como combustible en el beneficio en sustitución de leña, si es secada adecuadamente en patios; las "aguas mieles" concentradas pueden ser evaporadas en el terreno o pasadas a un sistema de tratamiento, con el fin de disminuir su concentración de materia orgánica.

Un contacto prolongado e innecesario entre la pulpa y el agua significa que aumenta la carga contaminante en las aguas mieles, que son las más difíciles de descontaminar. Sin embargo como se

mencionó anteriormente la mejor manera de disminuir la carga contaminante en las aguas residuales del beneficio es haciendo el despulpe en seco, al mantener en forma sólida todos los posibles contenidos en la pulpa, se pueden tratar y eliminar más fácil y económicamente. Para lograr tales condiciones se deben incorporar en los beneficios procesos que eliminan o minimizan el contacto entre pulpa y agua, tanto en el despulpado como en el transporte de la pulpa del beneficio a su deposito, es decir elementos como: recibido en seco, transporte en seco a través del uso de tornillos helicoidales, despulpe en seco usando pulperos pecheros de hierro modificados o bien pecheros de hule.

## **CAPITULO IV**

### **4.0. PROPUESTA DE SOLUCIONES**

En el capítulo siguiente se incluirán propuestas de soluciones en base al estudio realizado enmarcado en el concepto de búsqueda de soluciones que permitan disminuir la contaminación en esta agroindustria; para lo cual se buscarán incorporar nuevos elementos en las diferentes etapas del proceso que conlleven a disminuir la concentración de sólidos suspendidos en las aguas mieles, utilizar el agua en una forma más eficiente, que los desechos sólidos se obtengan sin que sufran cambios considerables en su composición para poder así tratarles de una mejor forma.

## **4.1. ETAPAS QUE SE MEJORARAN EL PROCESO.**

### **4.1.1. Clasificación.**

En esta primera etapa con las condiciones actuales de funcionamiento, el aporte contaminante es insignificante comparado con otras etapas dentro del proceso y es debido a esto que en esta sección se continuaran realizando los actuales procedimientos, como la utilización de 18,000 lts <sup>10</sup> para procesar 100 qq de café oro en una hora, además el tipo de clasificación que se realiza en el sifón es de tipo gravimétrica o sea que es por el peso del grano y es por eso que se necesita esta cantidad de agua.

### **4.1.3. Despulpado del Café Uva.**

Tradicionalmente el transporte del café, que es parte fundamental del proceso se realiza por correteo; si bien es cierto que el grano no ha sufrido una transformación considerable, si existe una mínima liberación de materia orgánica del café, ya que, debido al

---

<sup>10</sup> Ver cuadro 2

trasporte y fricción entre ellos, algunos granos se abren; sin embargo esto puede ser objeto a modificaciones si lo que se pretende es efectuar el transporte del café sin la utilización de agua. Para tal propósito la incorporación de un transportador helicoidal es la solución integral al desplazamiento de los granos hacia las máquinas despulpadoras debido a que permite minimizar el tiempo de contacto café uva – agua, y así evitar una mayor concentración de sólidos suspendidos.

Una vez efectuado el transporte por medio del tornillo helicoidal se tiene una descarga a los pulperos es de manera continua y homogénea. El tipo de pulpero que se utilizará es el mismo pulpero pechero de hule debido a que se han efectuado experimentos en los cuales se realizaron desulpes sin la utilización de agua y su funcionamiento fue el mismo que cuando la alimentación era por correteo con agua, además otro de los factores que se toman en cuenta para utilizar la misma maquinaria es el económico, por que si se tiene una eficiencia igual entre las dos formas de alimentación no es necesario cambiarlos o modificarlos. Luego cuando ingresan agua-grano son separados por un adelio en forma total y es debido a esto que la separación de la pulpa y el grano en ningún momento se

necesita agua, ya que el que se encarga de la separación de la pulpa del grano es el cilindro de cobre por la disposición que tiene en todo su perímetro y no la acción del agua.

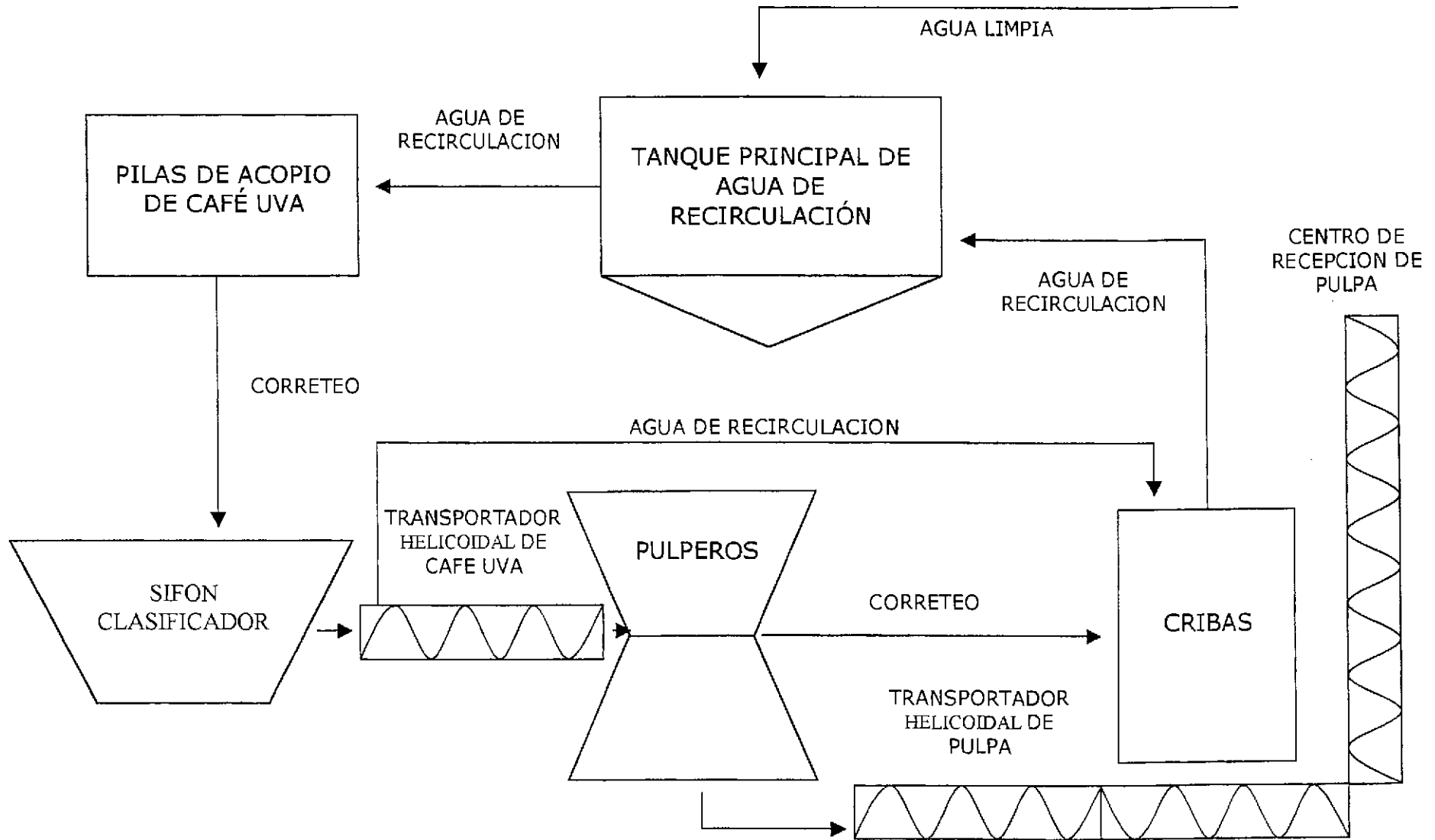
Luego de haber realizado la operación de despulpe surge la necesidad de evacuar los desechos (pulpa). Actualmente se realiza por medio del sistema hidráulico del bombeo hasta su centro de acopio, pero en este tipo de transporte el contacto pulpa-agua es muy prolongado y existe un alto porcentaje de desprendimiento de materia orgánica, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y cenizas, que es el motivo del aumento de la concentración de los sólidos suspendidos, por lo que surge la imperiosa necesidad de evitar este tipo de contacto, el cual permitirá además reducir la cantidad de D.Q.O.<sup>11</sup> en un factor de 2 kg.D.Q.O./qq oro. Este contacto se evitará al instalar un transportador de gusano o helicoidal y así eliminar la cantidad de agua presente en la pulpa en el centro de acopio; lo que a su vez disminuirá la cantidad de lixiviado resultante y aún así tener menor concentración de contaminación al momento de realizar las descargas a los predios baldíos. Las modificaciones se observan en la figura 6.

---

<sup>11</sup> ver cuadro 5

**FIGURA 6**

**CIRCUITO CERRADO DE AGUA RECIRCULADA.**



Entonces, luego de analizar las mejoras que se obtienen en el área de despulpado con la incorporación de los transportadores helicoidales se obtendrá una reducción de 5.6 kg D.Q.O./qq oro de materia orgánica presente en las aguas mieles, lo que significa por consiguiente una disminución en la concentración de la contaminación, que es una de los factores importante que se maneja en la teoría de producciones limpias. Los resultados obtenidos en la reducción del D.Q.O. se muestran en el cuadro 7:

### CUADRO 7

#### DETERMINANDO LA MATERIA ORGANICA QUE SE PRODUCE EN EL BENEFICIADO HUMEDO

FORMA EN QUE SE REALIZA EL PROCESO DEL BENEFICIADO	KG.D.Q.O./Qqoro PROCESADO	CASO PARTICULAR SIN MODIFICACIONES	CASO PARTICULAR CON MODIFICACIONES
Despulpado y trasporte de la pulpa en seco	0	0	0
Despulpe y trasporte de la pulpa con agua :			
Pulperos de pechero de hule o hierro	2.6	2.6	0
Separadora de verde	3.9		
Separando el agua de la pulpa:			
Inmediatamente después del despulpador	0		0
A 20-50 mts. después del despulpador	1		
A más de 50 mts. del despulpador	2	2	
Transportado la pulpa con agua:			
Sin bomba, únicamente por gravedad	0		0
Con bomba en el trayecto	1	1	
Lavado de café	3.4	3.4	3.4
<b>TOTAL</b>		<b>9.0 Kg.D.Q.O./Qqoro</b>	<b>3.4 Kg.D.Q.O./Qqoro</b>

### **4.1.3. Cribado**

Las modificaciones que se efectuaron en el proceso de despulpe, permite ser más eficientes en la utilización del agua, ya que no se necesitará la cantidad de agua adicional proporcionada por la bomba<sup>12</sup> de 300 lts/min<sup>13</sup>, para el trabajo normal de las cribas, por que la nueva disposición de alimentación de agua en este sector vendrá de la separación inmediatamente después del sifón clasificador con lo cual se estará eliminando la utilización de dicha bomba.

## **4.2. TRATAMIENTO DE LA PULPA.**

Existe un problema que surge con el manejo de la pulpa, su volumen y humedad. Sin embargo las limitaciones para su valorización son principalmente en términos de espacio disponible en los beneficios y los costos de transporte del material en estado húmedo, por esta razón las aplicaciones de la pulpa a fin de disminuir la contaminación se buscan en su lugar o cerca del lugar donde se genera.

---

<sup>12</sup> ver descripción del proceso de cribado del capítulo II

<sup>13</sup> ver cuadro 4

Se han efectuado estudios en cuanto a la utilización de la pulpa, por ejemplo: la extracción de cafeína y pectinas, alimentación para animales, uso como combustible, etc. Pero hasta el momento solo dos merecen ser considerados para ser aplicados en la práctica.

- El uso de la pulpa como combustible, esto en sustitución de leña en los hornos de secado.
- El uso de la pulpa como biabono.

En el cuadro 8 se muestran las alternativas estudiadas.

### **Cuadro 8**

#### **ALTERNATIVAS ESTUDIADAS<sup>14</sup>**

ALTERNATIVAS QUE FUNCIONAN	ALTERNATIVAS QUE <b>NO</b> FUNCIONAN
Uso como combustible(después de secado)	Extracción de cafeína y pectinas
Uso como abono orgánico (después de compostaje)	Alimentación animal ( a escala comercial)
	Producción de biogás

<sup>14</sup> peicce, por un café limpio

Sin embargo al tomar la opción de utilizar la pulpa como combustible, implica que se tiene que disminuir su volumen y humedad, dando origen a un pretratamiento a fin de aumentar su manejabilidad, que permita obtener una mejor utilidad.

Actualmente los beneficios del país han optado por el almacenamiento sencillo, sin tener una utilidad en particular de la pulpa.

#### **4.2.1. Almacenamiento Sencillo.**

El vertido, transporte y almacenamiento de la pulpa van a ser más caros y reglamentados cada día. Para contrarrestar las reglas impuestas por las autoridades de salud, se deben tomar las siguientes precauciones:

- Evitar los sitios demasiados cercanos a ríos o lagos, teniendo una distancia mínima de 20 metros a fin de evitar la contaminación de las aguas cercanas.
- Impermeabilizar el fondo del vertedero, evitando así las infiltraciones hacia la capa freática.
- Canalizar y tratar los lixiviados junto con las aguas mieles.

La implementación de reglas más estrictas provocarán que la disposición sencilla de la pulpa se vuelva más cara. Por lo que resulta necesario la búsqueda de alternativas para la eliminación de la pulpa a fin de disminuir la contaminación, como se dijo anteriormente, la utilización como combustible u abono orgánico son buenas alternativas que requieren de una evaluación.

#### **4.2.2. Prensado de la Pulpa.**

La pulpa puede ser prensada en una prensa continua de tornillo donde se elimina aproximadamente un 35% de su peso fresco, y como resultado se tendría una pulpa con humedad de 75 – 80 % y de buenas características físicas que facilitan su secado al sol, además, el prensado tiene las ventajas de:

- Disminuir el volumen de la pulpa, hasta un 30%.
- Remover las aguas asociadas a la pulpa húmeda, quitando alrededor del 30% del agua de la pulpa.

Sin embargo con la utilización de tornillos helicoidales, estas dos ventajas se verían aún más favorecidas ya que la cantidad de agua de la pulpa sería nula.

Como desventaja se debe mencionar que el jugo que resulta de este proceso, tiene una alta concentración de materia orgánica, por tanto debe tenerse presente que las aguas obtenidas deben recibir el mismo tratamiento que las aguas mieles.

El prensado tiene entonces interés para:

- Facilitar y disminuir el costo del manejo y transporte de la pulpa para cualquiera de sus usos (simple disposición, entrega a productores, uso como combustible o compostaje).
- Disminuir el costo de secado de la pulpa al ser utilizado como combustible (tamaño de patio de secado solar o de unidad de secado mecánico).
- En aquellos casos donde ya existe una alternativa de tratamiento de las aguas mieles, ya que no implica un costo adicional.
- El costo de inversión de las prensa de pulpa se estima actualmente entre ¢26,200 y ¢44,000 con capacidad de una tonelada/hora de pulpa cruda, para equipos centroamericanos y entre los ¢87,2000 y ¢130,000 con capacidad de una tonelada/hora de pulpa cruda en caso de equipos importados.

### **4.2.3. Utilización de la Pulpa como Combustible.**

La pulpa seca constituye un excelente combustible, por tanto es factible su utilización, a condición de que este combustible tenga aplicación, ya sea directamente dentro del mismo beneficio, o que existan compradores interesados; la pulpa como fuente de energía proveniente de los desechos mismos del beneficio, presenta tener utilidad en el secado del café y sumarse al mismo tiempo a otra fuente de energía como la cascarilla.

#### **4.2.3.1. Potencial Energético de la Pulpa**

Para el uso de la pulpa se tiene que considerar el caso en que el café se vende en oro y es secado con cascarilla y leña (la pulpa podrá ser utilizada como aditivo a la cascarilla y/o en sustitución de la leña en el proceso de secado), tal como sucede en los beneficios del país.

Para las condiciones del uso como combustible de la pulpa, se deben de analizar tres cifras muy importantes:

- La energía biomásica requerida para el secado de un quintal de café pergamino húmedo a café oro (entre 10-12% de humedad), es alrededor de 21kg.

- Un quintal de café pergamino genera alrededor de 9kg de cascarilla seca.
- Para obtener un quintal de café pergamino se genera alrededor de 15kg de pulpa seca.

Según cuadro 9, que muestra la energía disponible para efectuar el secado.

**Cuadro 9**

**ENERGÍA BIOMÁSICA PARA EL SECADO DEL CAFÉ<sup>15</sup>**

<b>PARA 1 QQ DE CAFÉ</b>	<b>ENERGÍA BIOMÁSICA</b>
TODA LA CASCARILLA SUMINISTRADA	9 KG.
LA PULPA SECA SUIMINISTRA	15 KG.
TOTAL DE ENERGÍA DISPONIBLE	24 KG.
CONCLUSIÓN	SOBRARIAN 3 KG.

<sup>15</sup> Tomado del folleto piecece, por un café limpio

## **CAPITULO V**

### **5.0. SELECCIÓN DEL TRASPORTADOR HELICOIDAL PARA EL CAFÉ UVA Y PULPA**

#### **5.1. INTRODUCCIÓN**

Después de realizar un estudio de los distintos sectores del beneficiado húmedo y concluir que la mayor contaminación del proceso se tiene por el contacto de la pulpa y el agua, como resultado del medio de transporte utilizado; es decir para hacer llegar el café uva a los pulperos se utiliza el correteo, mientras que para evacuar la pulpa del proceso se efectúa por medio de bombeo.

Por tanto surge la necesidad de establecer otro medio de transporte del café hacia los pulperos, así como también de la pulpa a su lugar de almacenamiento, siendo este un mecanismo de tornillo helicoidal (tornillo sin fin), que permitirá establecer una separación del agua y del café de tal forma que el despulpado se efectúe en seco y que la pulpa sea evacuada sin la utilización de agua.

El tornillo sin fin, es un sistema de transporte que consiste en un rotor en forma de hélice continua que al girar apoyado en sus dos extremos dentro de una carcasa en forma de "U" o en un tubo, imparte movimiento axial al material que en ella se deposite, y dentro de las características que lo definen se tiene: Su compacidad; No precisa mecanismo de retorno, es reversible, es posible de aislarlo del medio ambiente ( muy conveniente para el transporte de materiales en polvo), carga y descarga en cualquier punto de su recorrido, por lo que resulta importante su utilización como medio de transporte y poder así alimentar a cada uno de los pulperos.

## **5.2. JUSTIFICACIÓN**

Como se mencionó anteriormente la contaminación generada en la etapa de recibido y clasificación es mucho menor que en el resto de operaciones principales del beneficiado, como es la operación de despulpado y transporte de pulpa. En el cuadro 5. se muestra la cantidad de materia orgánica que se produce en el beneficiado húmedo, siendo este total de 9.0 Kg .D.Q.O./QQoro., de los cuales 2.6 kg. corresponden al despulpe y transporte de la pulpa con agua y 2.0 kg. a la separación del agua de la pulpa a más de 50 metros del despulpador, teniendo una contribución de 4.6 kg D.Q.O./QQoro. Por estas dos

operaciones. Sin embargo esta contribución puede disminuirse si el despulpado y transporte de la pulpa se efectúa en seco.

Una forma de lograr que el despulpado se efectúe en seco es que el transporte del café hacia los pulperos se efectúe sin la utilización de agua, para tal efecto se recomienda la utilización del transportador helicoidal, por las características anteriormente descritas.

Por tanto es posible tener un transporte en seco; mecanismo que permitiría la evacuación de la pulpa hasta su lugar de almacenamiento sin que esta tenga contacto con el agua.

Las principales ventajas que se tienen con la no utilización del agua en el despulpado se enumeran:

- Disminución del tiempo de fermentación del café.
- Disminución de la contaminación del agua.
- Eliminación del empobrecimiento de la pulpa al entrar en contacto con el agua.
- El beneficio no queda sujeto a la disponibilidad de grandes cantidades de agua.

Estas ventajas sobrellevan la necesidad de disminuir la contaminación en el beneficiado húmedo.

### **5.3. SELECCIÓN DE LOS TRANSPORTADORES HELICOIDALES**

#### **5.3.1. Selección de los Transportadores del Café Uva.**

Debido a que no se logró encontrar una fórmula que proporcionara directamente los valores del transportador helicoidal se conformó la siguiente expresión para conocer las dimensiones del tornillo:

$$Q = (\pi R^2 P) * (45\%) * V$$

En donde:

**Q** = es el caudal conocido que resulta de las condiciones actuales del proceso.

Los datos medidos de un saco de café uva que contiene 1 qq son los siguientes:

$$h = 0.80 \text{ m.}$$

$$r = 0.28 \text{ m.}$$

$$V = \pi * r^2 * h = \pi * (0.28)^2 * 0.80 = 0.19 \text{ m}^3.$$

Luego como se conoce que la cantidad de café uva que se despulpa por hora es de 500 qq se puede obtener el caudal en m<sup>3</sup>/h así:

$$\begin{array}{l}
 1 \text{ qq} \longrightarrow 0.19 \text{ m}^3 \\
 500 \text{ qq} \longrightarrow X \text{ m}^3
 \end{array}$$

Por lo tanto  **$Q = 95 \text{ m}^3/\text{h}$** .

**R** = es el radio del tornillo helicoidal el cual se asumirá para el cálculo del cuadro 10.

**P** = paso del tornillo este valor se asumirá también y se tomará del cuadro 10.

**V** = es la velocidad a la que estará girando el tornillo en r.p.m. y la cual también se tomará del cuadro 10.

**45%** = es el porcentaje del canal que estará ocupada por el café debido a que se sitúa en la clase A del cuadro 11 y cuya correspondiente representación se presenta en la figura 7:

**Cuadro 10**  
**TORNILLO HELICOIDAL**<sup>16</sup>

DIÁMETRO DEL TORNILLO mm	PASO DEL TORNILLO mm	DIÁMETRO DEL EJE mm	VELOCIDAD MÁXIMA RECOMENDADA EN r.p.m.	DIMENSIONES DEL CANAL							
				TIPO 1 (VER FIGURA 8)				TIPO 2 (VER FIGURA 8)			
				A	H	R	E	A	H	R	E
102	102	32	80	152	146	60	3	120	146	60	3
152	152	38	80	228	197	85	3	171	197	85	3
203	203	51	70	305	247	111	3	222	247	111	3
254	254	51 Y 53	70	381	298	136	3	273	298	136	3
305	305	51 Y 53	60	457	349	162	3	324	349	162	3
381	305	63 Y 76	60	553	426	200	5	400	426	200	5
457	305	76 Y 89	55	610	503	238	5	476	503	238	5
508	381	76 Y 89	50	686	553	263	5	527	553	263	5
609	381	89	50	813	657	314	6	629	657	314	6
762	457	89	45	1,016	809	390	6	791	809	390	6
914	457	89	45	1,220	962	466	6	933	962	466	6

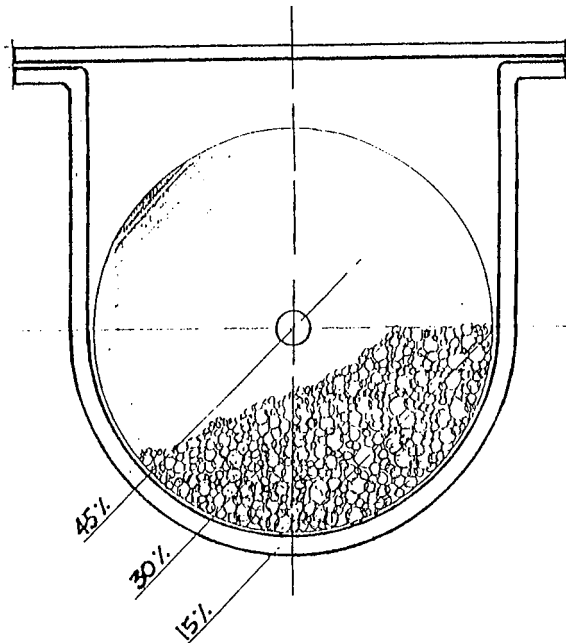
**Cuadro 11**  
**CLASIFICACIÓN SEGÚN TIPO DE MATERIAL**<sup>17</sup>

Clase A	Alubias, Arroz, Avena, Cal hidratada, Carbón pulverizado, CAFÉ, Cebada, Harina, Trigo, Habas.
Clase B	Cal molida, Cacao, Carbón a granel, Carbón Granulado, Corcho molido, sal, Talco, Malta húmeda.
Clase C	Arcilla seca, Arena, Cemento, Hollín, Pulpa de papel, Piedra caliza en polvo, Cal granulada.

<sup>16</sup> Mechanical handling mensual, publicada por Louis Cassier Co. Londres.

<sup>17</sup> Mechanical handling mensual, publicada por Louis Cassier Co. Londres.

**Figura 7**



Esta representación corresponde al transporte de materiales ligeros no abrasivos y en los que el canal va lleno aproximadamente en un 45% para la clase A, mientras serán inferiores para los materiales pesados no abrasivos o ligeramente abrasivos con un 30% para la clase B, y los materiales muy abrasivos corresponde un 15% para la clase C.

Teniendo ya definido cada factor de la fórmula se comenzará a desarrollar los cálculos de la sección del tornillo en base a los resultados de prueba y error.

Primera prueba se escogerán los siguientes datos del cuadro 10:

$$D_{\text{tornillo}} = 381 \text{ mm.} = 0.381 \text{ m.}$$

$$P_{\text{tornillo}} = 305 \text{ mm.} = 0.305 \text{ m.}$$

$$V_{\text{tornillo}} = 60 \text{ r.p.m.} = 3,600 \text{ r.p.h.}$$

$$Q = (\pi R^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi \{D/2\}^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi * \{0.381/2\}^2 * 0.305) * 3,600 * 0.45$$

**Q = 56.33 m<sup>3</sup>/h**, este caudal calculado es muy bajo en comparación al caudal que se maneja actualmente de 95 m<sup>3</sup>/h por lo que se realizará otra prueba.

Segunda prueba se escogerán los datos del cuadro 11

$$D_{\text{tornillo}} = 457 \text{ mm.} = 0.457 \text{ m.}$$

$$P_{\text{tornillo}} = 305 \text{ mm.} = 0.305 \text{ m.}$$

$$V_{\text{tornillo}} = 55 \text{ r.p.m.} = 3,300 \text{ r.p.h.}$$

$$Q = (\pi R^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi \{D/2\}^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi * \{0.457/2\}^2 * 0.305) * 3,300 * 0.45$$

**Q = 74.29 m<sup>3</sup>/h**, este caudal calculado todavía es bajo en comparación al caudal que se maneja actualmente de 95 m<sup>3</sup>/h por lo que se realizará otra prueba.

Tercera prueba se escogerán los siguientes datos del cuadro 11:

$$D_{\text{tornillo}} = 508 \text{ mm.} = 0.508 \text{ m.}$$

$$P_{\text{tornillo}} = 381 \text{ mm.} = 0.381 \text{ m.}$$

$$V_{\text{tornillo}} = 50 \text{ r.p.m.} = 3,000 \text{ r.p.h.}$$

$$Q = (\pi R^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi \{D/2\}^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi * \{0.508/2\}^2 * 0.381) * 3,000 * 0.45$$

**Q = 104.25 m<sup>3</sup>/h**, con el cálculo anterior se llega a la conclusión que es el resultado más cercano al caudal actual y que por efectos de diseño siempre se opta por escoger el dato próximo superior y en este caso se escogerán los valores para el tornillo helicoidal que corresponden a los valores asumidos, los cuales se extraen del cuadro 10:

$D_{\text{tornillo}} = 508 \text{ mm.}$

$P_{\text{tornillo}} = 381 \text{ mm.}$

$V_{\text{tornillo}} = 50 \text{ r.p.m.}$

$D_{\text{eje}} = 89 \text{ mm.}$

Luego se seleccionará el canal en el cual se desplazará el material conducido por el tornillo según cuadro 10.

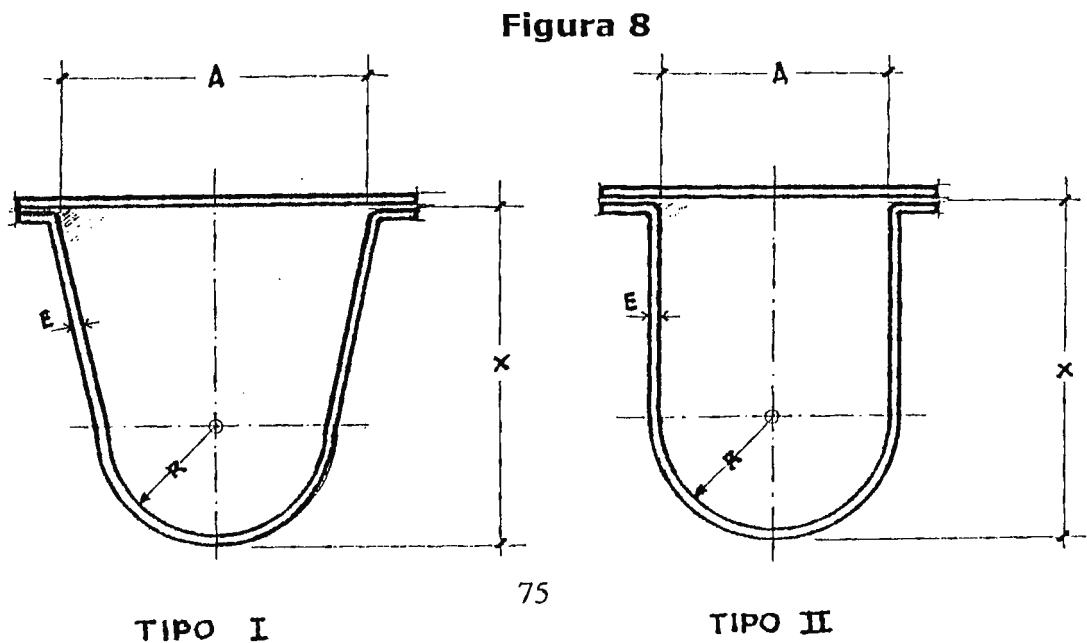
$A = 686 \text{ mm.}$

$H = 553 \text{ mm}$

$R = 263 \text{ mm.}$

$E = 5 \text{ mm.}$

Las especificaciones se pueden observar en la figura 8.



### 5.3.1.1. Selección del Motor.

Luego de haber seleccionado el tornillo helicoidal se procederá a seleccionar la potencia del motor que se utilizará en esta aplicación.

Para encontrar la potencia del motor para un transportador de gusano tenemos la siguiente expresión:

$$\mathbf{POT}_{\text{motor}} = \mathbf{HG/E};$$

Donde:

**H** = es la potencia en la flecha de la cabeza del transportador (hp)

**G** = es el margen adicional y depende de H.

**E** = eficiencia de la impulsión (generalmente es de 90%).

En el caso de H se puede calcular por la formula siguiente:

$$\mathbf{H} = \{(\mathbf{ALN}) + (\mathbf{CWLF})\} * 10^{-6}$$

Donde:

**A** = factor de tamaño del transportador y se selecciona del cuadro 12

**L** = es la longitud del transportador (pie).

**N** = velocidad en r.p.m. del transportador.

**C** = cantidad de material (pie<sup>3</sup>/h).

**W** = densidad del material (lbs/pie<sup>3</sup>).

**F** = factor por el material su selección corresponde al cuadro 13.

## Cuadro 12

### FACTOR DE TAMAÑO DE TRANSPORTADOR<sup>18</sup>

DIÁMETRO DEL TRANSPORTADOR	PULG	6	9	10	12	14	16	18	20	24
	mm.	152	229	254	305	356	406	457	508	610
FACTOR A		54	96	114	171	255	336	414	510	690

Seleccionando H:

Si tenemos un  $D_{\text{tornillo}} = 508$  mm. Entonces el factor **A = 510**.

$$L = 18 \text{ m.} = 59.04 \text{ pie.}$$

$$N = 50 \text{ r.p.m.}$$

$$C = 104.25 \text{ m}^3/\text{h} = 3678.7 \text{ pie}^3/\text{h.}$$

$$W = m/v = 100 \text{ lbs.}/0.19 \text{ m}^3 = 526.3 \text{ lbs}/\text{m}^3 = 14.9 \text{ lbs.}/\text{pie}^3.$$

$$F = 0.4$$

<sup>18</sup> Fuente manual del ingeniero Mecánico de Marks 9ª edición

## Cuadro 13

### FACTOR POR EL MATERIAL<sup>19</sup>

GRUPO	
1	Incluye materiales ligeros como: cebada, frijol, granos de cervecería, harina de may, harina de semilla de algodón, linaza, arroz, trigo, malta, carbón (pulverizado), el valor del factor F es de 0.5
2	Incluye materiales finos y granulados como: alumbre 0.6, carbón (cisco o finos) 0.9, café en granos 0.4, aserrín 0.7, sosa comercial 0.7, frijol de soya 0.5, ceniza volátil 0.4.
3	Incluye materiales con terrones pequeños mezclados con finos como: alumbre 1.4, ceniza (seca) 4.0, bórax 0.7, granos de cervecería (húmedos) 0.6, semilla de algodón 0.9, sal gruesa o fina 1.2, sosa comercial (pesada) 0.7.
4	Incluye materiales semi abrasivos, finos, granulares y terrones pequeños tales como: fosfato ácido (seco) 1.4, bauxita (seca) 1.8, cemento (seco) 1.4, arcilla 2.0, tierra de batán 2.0, sales de plomo 1.0, caliza cribada 2.0, azúcar (sin refinar) 1.0, óxido de zinc 1.0.
5	Incluye materiales abrasivos en terrones que se deben de tener fuera del contacto de los cojinetes de los colgadores como: cenizas húmedas 5.0, hollín 4.0, cuarzo (pulverizado) 2.5, arena de sílice 2.0, lodos de drenaje (mojados y arenosos) 6.0.

Introduciendo los valores a la fórmula se tiene:

$$H = \{(510 \cdot 59.04 \cdot 50) + (3678.7 \cdot 14.9 \cdot 59.04 \cdot 0.4)\} \cdot 10^{-6}$$

$$H = \{(1505520) + (1294455.1)\} \cdot 10^{-6}$$

H = 2.8 hp que es la potencia en la flecha del tornillo sin fin. Con este valor ya se puede calcular la potencia del motor la cual se define así:

<sup>19</sup> Fuente manual del ingeniero Mecánico de Marks 9ª edición

$$POT_{\text{motor}} = HG/E;$$

$$H = 2.8 \text{ hp.}$$

$$G = 1.25 \text{ del cuadro 14.}$$

$$E = 0.90 \text{ que generalmente es este valor.}$$

### Cuadro 14

#### MARGEN ADICIONAL<sup>20</sup>

H	1	1 a 2	2 a 4	4 a 5	5
G	2	1.5	1.25	1.1	1

El tamaño del motor depende de la eficiencia "E" de la impulsión ( por lo general cercana al 90%). Se considera un margen adicional "G" que depende del caballaje en la flecha del tornillo.

$$\Rightarrow POT_{\text{motor}} = ( 2.8 * 1.25 ) / 0.90$$

POT<sub>motor</sub> = 3.88 hp con este valor se escogerá un motor de 4 hp; pero se tomará en cuenta muchos factores que afectan en la realidad el funcionamiento de toda maquinaria los cuales son: fricción del café con el helicoide, posible falta de concentricidad del eje ya que es posible que se fabrique en el mismo beneficio, alguna falla en el suministro de la energía eléctrica y el tornillo tenga

---

<sup>20</sup>Fuente manual del ingeniero Mecánico de Marks 9ª edición

que arrancar nuevamente con toda la carga, así es que se le aplicará un factor de 25% al motor seleccionado por lo que la potencia necesaria será:

$$POT_{\text{motor}} = 4 \text{ hp} * 1.25 = 5 \text{ hp}.$$

Luego la potencia necesaria para realizar todas la operaciones del tornillo requieren una potencia de **5 hp**.

### **5.3.2. Selección del Tornillo Helicoidal de la Pulpa.**

Para este caso, como se mencionó al principio del documento, la pulpa representa el 40% del peso total del grano de café y es por eso que el caudal que se manejará en este caso es de:

$$Q = 95 \text{ m}^3/\text{h} * 0.4 = 38 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Esto quiere decir que con el valor de 38 m<sup>3</sup>/h es que trabajaremos para seleccionar el tornillo de la pulpa, las expresiones a utilizar son las mismas utilizadas para el transportador de gusano del café uva, por lo que no se explicaran nuevamente.

Primera prueba se escogerán los siguientes datos del cuadro 10:

$$D_{\text{tornillo}} = 305 \text{ mm.} = 0.305 \text{ m.}$$

$$P_{\text{tornillo}} = 305 \text{ mm.} = 0.305 \text{ m.}$$

$$V_{\text{tornillo}} = 60 \text{ r.p.m.} = 3,600 \text{ r.p.h.}$$

$$Q = (\pi R^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi \{D/2\}^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi * \{0.305/2\}^2 * 0.305) * 3,600 * 0.45$$

**Q = 36.10 m<sup>3</sup>/h**, este caudal calculado casi igual al caudal manejado por la pulpa; pero, por efectos de diseño siempre se opta por escoger el dato próximo superior y en este caso se escogerán los valores para el tornillo helicoidal que corresponden a los valores asumidos y ya calculados anteriormente, para la selección del transporte del café uva, en la primera prueba, los cuales se son:

Segunda prueba se escogerán los siguientes datos del cuadro 10:

$$D_{\text{tornillo}} = 381 \text{ mm.} = 0.381 \text{ m.}$$

$$P_{\text{tornillo}} = 305 \text{ mm.} = 0.305 \text{ m.}$$

$$V_{\text{tornillo}} = 60 \text{ r.p.m.} = 3,600 \text{ r.p.h.}$$

$$Q = (\pi R^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi \{D/2\}^2 P) * V * 45\%$$

$$Q = (\pi * \{0.381/2\}^2 * 0.305) * 3,600 * 0.45$$

**Q = 56.33 m<sup>3</sup>/h**, este caudal calculado es un poco alto, en comparación al caudal necesario, pero para tener un factor de seguridad aceptable e infalible, se escogerá estos valores asumidos para la selección del transportador de los valores del cuadro 10:

$$D_{\text{tornillo}} = 381 \text{ mm.}$$

$$P_{\text{tornillo}} = 305 \text{ mm.}$$

$$V_{\text{tornillo}} = 60 \text{ r.p.m.}$$

$$D_{\text{eje}} = 76 \text{ mm.}$$

Luego se seleccionará el canal en el cual se desplazará el material conducido por el tornillo según cuadro 10.

$$A = 533 \text{ mm.}$$

$$H = 426 \text{ mm}$$

$$R = 200 \text{ mm.}$$

$$E = 5 \text{ mm.}$$

Las especificaciones se pueden observar en la figura 8.

### 5.3.2.1. Selección del Motor.

Luego de haber seleccionado el tornillo helicoidal se procederá a seleccionar la potencia del motor que se utilizará en esta aplicación.

Para encontrar la potencia del motor para un transportador de gusano tenemos la siguiente expresión:

$$POT_{\text{motor}} = HG/E;$$

Calculando H:

Si tenemos un  $D_{\text{tornillo}} = 381 \text{ mm}$ . Entonces el factor **A** correspondiente no se encuentra, entonces se seleccionará el próximo superior que es un valor de = 336.

$$L = 58.25 \text{ m.} = 191.06 \text{ pie.}$$

$$N = 60 \text{ r.p.m.}$$

$$C = 56.33 \text{ m}^3/\text{h} = 1987.74 \text{ pie}^3/\text{h.}$$

$W = m/v$ , en este caso se pone de manifiesto que el 40% de el peso es de pulpa lo que quiere decir que :

$$W = 40 \text{ lbs/} 0.19 \text{ m}^3 = 210.52 \text{ lbs/m}^3 = 5.96 \text{ lbs/pie}^3.$$

$$F = 0.4$$

Introduciendo los valores a la formula se tiene:

$$H = \{(336 * 191.06 * 60) + (1987.74 * 5.96 * 191.06 * 0.4)\} * 10^{-6}$$

$$H = \{(3851769) + (90538921)\} * 10^{-6}$$

H = 4.75 hp que es la potencia en la flecha del tornillo sin fin. Con este valor ya se puede calcular la potencia del motor la cual se define así:

$$POT_{motor} = HG/E;$$

$$H = 4.75 \text{ hp.}$$

$$G = 1.1 \text{ de cuadro 14}$$

$$E = 0.90 \text{ que generalmente es este valor.}$$

$$\Rightarrow POT_{motor} = (4.75 * 1.1) / 0.90$$

$POT_{motor} = 5.8 \text{ hp}$  con este valor se escogerá un motor de 6 hp; pero se tomará en cuenta en este caso la inclinación del 15 % que se necesita tener para no entorpecer las demás actividades y es por eso que en el cuadro 15 se presenta la reducción de la capacidad con respecto a los grados de inclinación.

Si la inclinación es de 15 % la reducción de la capacidad del motor es de un 26 % lo que significa que el motor seleccionado se le incrementará un 26 % para que pueda trabajar normalmente sin estar sobrecargado, entonces:

$$POT_{motor} = 6 \text{ hp} * 1.26 = 7.56 \text{ hp.}$$

Entonces la potencia del motor seleccionado es  $POT_{motor} = 8 \text{ hp}$ .

## Cuadro 15

### PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CAPACIDAD<sup>21</sup>

Grados de inclinación	10	15	20	25	30	35
Reducción de capacidad en %	10	26	45	58	70	78

En este cuadro se indica la reducción de capacidad, en comparación con el que tiene cuando trabaja en sentido horizontal

Pero además se tomará en cuenta muchos factores que afectan en la realidad el funcionamiento de toda maquinaria los cuales son: fricción de la pulpa de café con el helicoide, posible falta de concentricidad del eje ya que es posible que se fabrique en el mismo beneficio, alguna falla en el suministro de la energía eléctrica y el tornillo tenga que arrancar nuevamente con toda la carga, así es que se le aplicará un factor de 25% al motor seleccionado por lo que la potencia necesaria será:

$$POT_{\text{motor}} = 8 \text{ hp} * 1.25 = \mathbf{10 \text{ hp.}}$$

Luego la potencia necesaria para efectuar todas la operaciones del tornillo, requieren una potencia de **10 hp.**

---

<sup>21</sup> Fuente manual del ingeniero Mecánico de Marks 9º edición

Por otra parte para evitar que el tornillo por su longitud tenga una fricción constante con la tolva, se colocaran cada 8 m. cojinetes de bronce auto lubricados, debido a que poseen excelentes características de resistencia en condiciones críticas de trabajo.

#### **5.4. COSTOS DE MATERIALES DE LOS TORNILLOS .**

Las cantidades de los materiales que se utilizarán en la construcción de los transportadores helicoidales, se calcularán a continuación.

##### **5.4.1. Calculo de Costos del Transportador Helicoidal para Café Uva.**

Se tiene una longitud del eje = 18 m, con un diámetro de 3½"

Cantidad de láminas = se tiene que el área transversal del tornillo es de 0.20 m<sup>2</sup>. a esta cantidad se resta el área del eje que es de 0.0062 m<sup>2</sup>, por lo que el área transversal del tornillo =  $0.20 - 0.0062 = 0.1938 \text{ m}^2$ .

Ahora tenemos que el paso es de 381 mm por lo que en 18 m. que tiene el tornillo se tienen 47.2 pasos, así que la cantidad de material para esos 47.2

pasos es de  $8.93 \text{ m}^2$ , pero como son círculos los que se cortan de las láminas se tiene un desperdicio de un 25 %, entonces los  $8.93 \text{ m}^2$  se convierten en  $11.16 \text{ m}^2$ . El material disponible en el mercado son las láminas de  $2 \times 1 \text{ m}$ , lo que cada lámina tiene  $2 \text{ m}^2$  de área, luego para poder tener la cantidad de laminas se realiza la siguiente operación:  $11.16 / 2 = 5.58$  láminas  $\approx$  **6 láminas** de  $\frac{1}{8}$ " de espesor.

Para calcular la cantidad de láminas del canal se conoce que son 18 m de longitud, tiene un radio de 263 mm. Una altura de 553 mm., y un espesor de 5mm., Por lo tanto:

Si P (perímetro) de un cilindro completo =  $2\pi r$ , la mitad del perímetro del cilindro =  $(\pi/2)r = 0.413 \text{ m}$ . y si a este resultado lo multiplicamos por la longitud total resultará el área del medio cilindro que es =  $14.87 \text{ m}^2$ .

Ahora si a H le restamos el radio del cilindro se obtiene el segmento faltante para completar el canal y este resultado es  $553 - 263 = 290 \text{ mm}$ ., al multiplicarlo por 2 resultan las dos piezas =  $580 \text{ mm}$ . Por la longitud total de 18 m. es igual a =  $10,440 \text{ mm}^2$ . =  $10.44 \text{ m}^2$ .

El área del medio cilindro sumado al área de los segmentos proporciona el área total del canal es de  $10.44 + 14.87 = 25.31 \text{ m}^2$ . entonces se concluye que se necesitan  $12.6$  láminas  $\approx$   $13$  láminas de  $\frac{1}{4}$ ". Además se necesitan 6 piezas de ángulo de  $1" \times \frac{1}{8}"$  para colocarle a todo el perímetro del canal para

que con el peso y movimiento de la cantidad de café no se deforme, también se le colocarán soportes de platina de 1" X 1/8" de hierro para mantener una abertura constante del canal, para proteger el hierro se utilizara pintura anticorrosiva.

Los precios recavados se pueden observar en el cuadro 16.

### Cuadro 16

Costos de los materiales del tornillo helicoidal de transporte del café uva<sup>22</sup>

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO ¢
1	1	Moto reductor De 5 hp, con reducción de velocidad de 1750 a 50 r.p.m.	29,500.00
2	2	Chumaceras de 3½" para servicio pesado	2,632.90
3	3	Cojinetes de bronce auto lubricados de 3½"	1,500.00
4	3	Caño negro para eje de 3½" diámetro.	2,028.00
5	6	Láminas de 2" X 1 de ⅛"	1,437.00
6	15	15 lbs, de electrodo AWS 6030	82.50
7	13	Laminas de 2" X 1 de ¼"	6,194.50
8	6	Piezas de ángulo de 1" X ⅛"	213.00
9	1	Platina de hierro de 1" X ⅛"	23.50
10		Otros	16,725.76
<b>TOTAL</b>			<b>58,540.16</b>

<sup>22</sup> precios tomados del mercado nacional

#### 5.4.2. Cálculo de Costos de Transportador de Pulpa

Se tiene una longitud del eje = 58.25 m., con un diámetro de 3½"

Cantidad de láminas = se tiene que el área transversal del tornillo es de 0.114 m<sup>2</sup>. a esta cantidad se resta el área del eje que es de 0.0062 m<sup>2</sup>, por lo que el área transversal del tornillo es = 0.114 - 0.0062 = 0.1938 m<sup>2</sup>.

Ahora tenemos que el paso es de 305 mm por lo que en 58.25 m. que tiene el tornillo se tienen 191 pasos, así que la cantidad de material para esos 191 pasos es de 20.6 m<sup>2</sup>, pero como son círculos los que se cortan de las láminas se tiene un desperdicio de un 25 %, entonces los 20.6 m<sup>2</sup> se convierten en 25.73 m<sup>2</sup>. El material disponible en el mercado son las láminas de 2 x 1 m, lo que cada lámina tiene 2 m<sup>2</sup> de área, luego para poder tener la cantidad de laminas se realiza la siguiente operación: 25.73 / 2 = 12.86 láminas ≈ **13 láminas** de ⅛" de espesor.

Para calcular la cantidad de láminas del canal se conoce que son 58.25 m de longitud, tiene un radio de 200 mm. Una altura de 426 mm., y un espesor de 5mm., Por lo tanto:

Si P (perímetro) de un cilindro completo = 2Πr, la mitad del perímetro del cilindro = (Π/2)r = 0.3.14 m. y si a este resultado lo multiplicamos por la longitud total resultará el área del medio cilindro que es = 18.30 m<sup>2</sup>.

Ahora si a H le restamos el radio del cilindro se obtiene el segmento faltante para completar el canal y este resultado es  $426 - 200 = 226$  mm., al multiplicarlo por 2 resultan las dos piezas = 452 mm. Por la longitud total de 58.25 m. es igual a  $= 26,329 \text{ mm}^2. = 26.33 \text{ m}^2.$

El área del medio cilindro sumado al área de los segmentos proporciona el área total del canal es de  $26.33 + 18.30 = 44.63 \text{ m}^2.$  entonces se concluye que se necesitan 22.3 láminas  $\approx 23$  láminas de  $\frac{1}{4}$ ". Además se necesitan 20 piezas de ángulo de  $1" \times \frac{1}{8}"$  para colocarle a todo el perímetro del canal para que con el peso y movimiento de la cantidad de café no se deforme, también se le colocarán soportes de platina de  $1" \times \frac{1}{8}"$  de hierro para mantener una abertura constante del canal, para proteger el hierro se utilizara pintura anticorrosiva.

Los precios que se consultaron se muestran en el cuadro 17.

### Cuadro 17

Costos de los materiales del tornillo helicoidal de transporte de la pulpa<sup>23</sup>

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO ¢
1	1	Moto reductor De 10 hp, con reducción de velocidad de 1750 a 50 r.p.m.	36,500
2	2	Chumaceras de 3½" para servicio pesado	2,632.9
3	8	Cojinetes de bronce auto lubricados de 3½"	4,000.00
4	10	Caño negro para eje de 3½" diámetro.	6,760.00
5	13	Láminas de 2" X 1 de ⅛"	3,113.5
6	25	15 lbs, de electrodo AWS 6030	137.50
7	23	Laminas de 2" X 1 de ¼"	10,959.50
8	10	Piezas de ángulo de 1" X ⅛"	355.00
9	3	Platina de hierro de 1" X ⅛"	47.00
10		Otros	25,802.16
<b>TOTAL</b>			<b>90,307.56</b>

<sup>23</sup> Precios consultados en empresas nacionales

## 6.0. CONCLUSIONES

- En base a las visitas realizadas y constatar el tipo de proceso que se utiliza, podemos decir que es el proceso más adecuado para la transformación del café oro, pero este tipo de transformación trae el problema de contaminación ambiental, debido a que los recursos naturales se utilizan sin ningún tipo de control y no se da un seguimiento real a los desechos derivados del proceso.
- Al estudiar varias alternativas, se concluye que el transportador helicoidal es la mejor opción, ya que con este medio de transporte se esta eliminando realmente el tiempo de contacto entre pulpa y agua que es la etapa más critica, además la cantidad de kg.D.Q.O./qq oro presente en el agua residual se reduce en un 62.5%

- Con la instalación del tornillo sinfín, en la sección de despulpe, permite tener solamente un 0.074 kg.D.Q.O./qqoro en aguas de recirculación, que es un valor aceptable de contaminación, debido a que la ley exige que las descargas residuales de los beneficios de café contengan un máximo de 0.09 kg.D.Q.O./kg. oro. Por lo que una vez más queda demostrado que es la mejor opción de transporte de café.
- En el caso de la pulpa, la incorporación del transportador de gusano trae la posibilidad de poder secar la pulpa en un periodo máximo de 12 a 16 horas de sol con una capa de 5 cm. de espesor, lo que permite obtener, en menor tiempo, una pulpa con el 30% de humedad, y ser mezclada con cascarilla, con humedad de 10%, en porcentajes de 40 y 60, respectivamente, para obtener una buena combustión en la caldera.

## **7.0. RECOMENDACIONES**

- En el proceso de beneficiado húmedo se necesita más control en la cuantificación del agua utilizada debido a que se han verificado sectores en los que se desperdicia mucha agua, como por ejemplo en la sección de despulpe en donde muchas veces las descargas de agua que se realizan son extremadamente elevadas que con un control se pudieran evitar.
- Realizar un estudio de cuantificación de la cantidad de energía eléctrica que se utiliza en todo el beneficio, debido a que existen motores antiguos que consumen demasiada corriente y su factor de potencia es muy bajo, por lo que son ineficientes; respecto a la iluminación, verificar la cantidad de lámparas fluorescentes, focos incandescentes y lámparas de mercurio que existen, para darles mantenimiento constante, además de utilizar únicamente la iluminación necesaria y así se estaría evitando elevar los costos de producción.
- Una señalización eficaz de todos los sectores en riesgo, uno de ellos es el área de las cribas, ya que estas se encuentran sin protección alguna; en

la sección de las pilas de fermento, por el peligro de algún deslizamiento por las salpicaduras de aguas con una alta concentración de mucílago, utilizar piso antideslizante en sus alrededores; colocar protección en todo el perímetro de las instalaciones por alguna acción peligrosa de los trabajadores o circunstancias adversas, utilizar además, ropa adecuada, calzado, equipo de protección personal y así disminuir los riesgos de accidentes.

- En cuanto a las descargas de agua residual, según las personas expertas en el tema, el actual procedimiento de evacuar las aguas mieles al predio baldío es una buena opción, aunque sin perder de vista los análisis de suelos que se tienen que realizar anualmente para evaluar acertadamente cuales son las minerales, desechos orgánicos y otros elementos presentes en el suelo y así evitar la contaminación en los mantos acuíferos allí presentes.
- Establecer periódicamente Auditorías Ambientales internas sectoriales para verificar en que nivel de contaminación se encuentra cada una y analizar las medidas a tomar para no caer en una violación de la Ley del Medio Ambiente.

## **GLOSARIO DE TERMINOS**

**Adelio:** equipo utilizado en los beneficios de café para separa el agua de los granos de café. Consta de una sección curva forrada de lámina perforada donde rota un eje dotado de paletas de forma que el agua drene por los orificios y el café escurrido es sacado por las paletas.

**Aguas mieles:** aguas residuales provenientes del lavado del café contenido en las pilas de fermentación, esta agua contienen mucílago y productos de la degradación de éste.

**Beneficiado húmedo:** proceso por el cual el café-uva es transformado en café-oro, utilizando agua para clasificarlo, despulparlo y desmuciliganiarlo y finalmente el grano húmedo es secado. Todo este proceso se lleva a cabo en un centro de procesamiento llamado beneficio.

**Beneficiado seco:** es el proceso por medio del cuál al café pergamino seco se le elimina la cascarilla y luego se clasifica por densidad, tamaño y apariencia para producir el café-oro.

**Beneficio de café:** complejo agroindustrial donde se procesa el fruto del cafeto para obtener el café-oro.

**Café-oro:** café que se obtiene al procesar el café-uva en los beneficios. Consiste en la semilla del fruto del cafeto seca a la cual se le ha eliminado el epicarpio, mesocarpio, y endocarpio.

**Café pergamino:** grano de café que sale del despulpe (café pergamino húmedo) o grano de café que sale del proceso de secado (café pergamino seco).

**Café-uva:** fruto maduro del cafeto.

**Canal de correteo:** canal con desnivel utilizado para lavar y clasificar café, construido de concreto a lo largo de los patios y en su extremo final tiene un depósito cubierto con una lámina de metal perforada que permite separar el agua del grano de café.

**Cascarilla:** subproducto que se obtiene del trillado, y consiste en el endocarpio del fruto del cafeto que está entre la parte pulposa o pericarpio y la membrana plateada.

**Cereza seca:** fruto del cafeto que no es despulpado sino secado después de cortado.

**Criba:** cilindro metálico que sirve para separar por densidad y tamaño el café de las impurezas que trae consigo.

**Despulpadora:** máquina que se encarga de separar la semilla de la materia carnosa que la envuelve.

**Lixiviado:** líquido de escurrimiento de la pulpa que posee una gran concentración de materia orgánica.

**Mucílago:** es el mesocarpio del fruto del cafeto y consiste en una película que rodea la semilla del café antes de entrar al proceso de fermentación.

**Pulpa:** epicarpio del fruto del café que se separa en las despulpadoras.

**Punto de fermentación:** momento cuando la fermentación del mucílago del grano ha llegado a un punto tal que permite su remoción fácilmente.

**Resacas:** café de baja calidad que se utiliza para el consumo doméstico en los países productores.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Guerrero, Juan  
Revista Abecafé, Artículo: "El Beneficiado Moderno del Café"  
Edición especial, septiembre/diciembre 1991  
El Salvador, C.A.
- Consejo Salvadoreño del Café  
Revista Abecafé, Artículo: "Historia de la caficultura salvadoreña"  
Edición especial, septiembre/diciembre 1991  
El Salvador, C.A.
- Gallo, Lindo  
Guía de prevención en la contaminación para el beneficiado de café  
en El Salvador.  
San Salvador, El Salvador, C. A.
- Fundación Salvadoreña para Investigaciones de  
Café  
"Memoria sobre el primer seminario sobre el beneficiado de café"  
18 - 19 de septiembre de 1991.  
El Salvador, C.A.

- Proyecto energético del istmo centroamericano. Por un café limpio ( guía para el uso del beneficiador del café).  
Marzo 1994.  
Comité de acción de apoyo económico y social de Centroamérica.
- Boletín Promecafé número 81.  
Enero – Abril 1999.  
IICA.
- Manual del ingeniero mecánico de Marks.  
9º edición, editorial MacGraw Hill 1998.
- Auditoría de desechos en la industria de beneficiado de café.  
Tesis presentada por Beltrán Trejo, Salvador Mayo 99.  
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

# ANEXO I

## ASPECTOS LEGALES RELACIONADOS CON EL AMBIENTE

### LEY DEL MEDIO AMBIENTE

Un ambiente más propicio para la realización de auditorías ambientales surge con la creación del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales en mayo de 1997, y el 12 de mayo entra en vigencia, mediante decreto legislativo, la Ley del Medio Ambiente, propuesta por el Ministerio<sup>24</sup>. Entre los principios en los que se fundamenta esta Ley se mencionan:

Art. 2

- “La gestión de protección del medio ambiente, prevalecerá el principio de prevención y precaución.
- En los procesos productivos o de importación de productos deberá incentivarse la eficiencia ecológica, estimulando el uso racional de los factores productivos y desincentivándose la producción innecesaria de desechos sólidos, el uso ineficiente de energía, del recurso hídrico, así

---

<sup>24</sup> Información recavada en el Diario Oficial de 1998

como el desperdicio de materias primas o materiales que puedan reciclarse.”

En este marco, la Auditorias Ambientales constituyen el medio a través del cual el Ministerio del Medio Ambiente evaluará el desempeño ambiental de las industrias, estas deberán realizar por cuenta propia las auditorias como primer paso para establecer, modificar, o mantener programas orientados a la prevención de la contaminación y así evitar sanciones que establece la ley.

En el art. 21, se contemplan todas aquellas actividades agroindustriales que se encuentren funcionando al entrar en vigencia ésta, deberán presentar al Ministerio del Medio Ambiente, en un plazo no mayor de 2 años un diagnóstico ambiental incluyendo un programa de adecuación ambiental como requisito para el otorgamiento del permiso respectivo.

Este programa de adecuación ambiental deberá contener todas la medidas para reducir los niveles de contaminación para atenuar o compensar, según sea el caso, los impactos negativos en el ambiente. Todo lo anterior deberá ser ejecutado en un plazo máximo de 3 años según el art. 108.

En el art, 22 se tienen contempladas las actividades las diferentes actividades industriales, en las cuales, se debe presentar una declaración jurada que describe las características básicas a realizaren base a un formulario

ambiental; el Ministerio se ocupara de asignarle la categoría correspondiente según su envergadura y la naturaleza del impacto ambiental.

Los beneficios que incurran en contaminación o deterioro ambiental estarían obligados a reparar, restaurar, o realizar medidas compensatorias según el art. 100; además tienen la obligación de indemnizar al estado, y a los particulares por daños y perjuicios causados, art. 85.

El incumplimiento de las disposiciones establecidas por la ley se considerará un delito que serpa sancionado de conformidad a lo establecido en el código penal, art. 105.

## **CODIGO PENAL**

Como ya se mencionó anteriormente las violaciones a la ley del Medio Ambiente serán sancionadas conforme a lo establecido en el código penal. Este código establece en el art. 225 que el que contamine la atmósfera, suelo, o las aguas perjudiciando la salud de las personas y medio ambiente podrá ser sancionado con prisión de dos a cuatro años y multa de doscientos a doscientos cincuenta días de multa.

En los casos del artículo anterior, todas las industrias o actividades que: funcionen clandestinamente, desobedezcan las órdenes de corrección o suspensión, aporten información falsa u obstaculicen la actividad de inspección, serán sancionados con tres a seis años de prisión y multa de doscientos cincuenta a trescientos días de multa, esto según el art. 256.

## **CODIGO DE SALUD**

El Ministerio de Salud Pública y asistencia Social, según se establece en el código de salud en el art. 109 literal c, de la sección dieciséis, tiene a su cargo autorizar el funcionamiento de las fábricas y establecimientos industriales, para que no constituyan un peligro para la salud de los trabajadores y de la población en general. Además tiene la facultad para cancelar las autorizaciones concedidas a la fábricas para su funcionamiento y ordenar la clausura de los establecimientos industriales, cuando su funcionamiento constituya un peligro para la salud y se violen las exigencias de las autoridades de salud, esto también contenido en el literal ch.

Como se puede analizar, el cumplimiento de la ley del medio ambiente ha venido a frenar un poco la contaminación, debido a que las exigencias legales, requisitos ambientales, auditorias internas, son factores que pueden influir en adquirir un permiso para poder o no funcionar como industrias.

## **ANEXO II**

### **AUDITORIAS AMBIENTALES**

Según la Environment protection agency ( EPA ), define la Auditoría Medioambiental como una revisión sistemática, documentada, periódica y objetiva a cargo de una entidad que regula de las operaciones y prácticas de una instalación en relación a ciertos requisitos medioambientales específicos.

#### **CLASIFICACIÓN DE LAS AUDITORIAS**

Las Auditorías Ambientales pueden clasificarse a una amplia variedad de categorías así como al objetivo específico que persiguen. A continuación se describe la temática y campo de acción de los diferentes tipos de Auditorías Ambientales propuestas por Evans<sup>25</sup>.

#### **Auditorías de Cumplimiento**

Una auditoría de cumplimiento es simplemente una instantánea de las operaciones y procedimientos realizados en las instalaciones que se trata de

---

<sup>25</sup> Gestión de residuos tóxicos, 1997.

identificar, tanto el cumplimiento como el quebramiento de las regulaciones de modo cuántico y superficial.

A medida que la industria ha ido adquiriendo experiencia en este tipo de auditorías ha sido necesario dar nuevos pasos para tratar de analizar tanto sus causas profundas como la eventual aparición de problemas futuros y no solo identificar las eventuales transgresiones de la ley.

### **Auditorías de Gestión**

Esta específica si se ha establecido, implementando y llevando a cabo correctamente el sistema de gestión de cumplimiento idóneo para adecuar las regulaciones medioambientales a procedimientos operativos concretos.

Esta toma de consideración de elementos culturales y operativos que influyen en la política interna de la industria, los recursos humanos, los programas de aprendizaje, los sistemas presupuestarios y de planificación, control y elaboración de informes, así como la gestión de información.

### **Auditoría de Definición de Responsabilidades.**

Su objetivo consiste en identificar los posibles datos medioambientales que podrían reducir el valor de una propiedad o exponer al comprador a posibles compromisos.

### **Auditoría de Adjudicación de Residuos.**

Recurre a datos, tanto de auditorías de cumplimiento como de definición de responsabilidades, con el propósito de analizar las instalaciones comerciales de almacenaje, tratamiento y eliminación de residuos tóxicos.

### **Auditorías de Definición de Riesgos.**

Estudia el funcionamiento de instalaciones de manipulación de materiales y sustancias tóxicas. Se utiliza como posible orientación de riesgos medioambientales no mencionados específicamente en la normativa vigente.

## **Auditoría de Desechos.**

Investiga los residuos generados por una instalación industrial, para identificar posibles vías de reutilización, reciclaje o reducción de la cantidad y toxicidad de los residuos de cualquier origen.

En cuanto a la auditoría de residuos, que es la más importante para el estudio, se puede decir que son los instrumentos de la política ambiental que consisten en la revisión exhaustiva de las instalaciones de una empresa, haciendo énfasis en el análisis y control de emisiones a la atmósfera, las descargas líquidas y residuos sólidos, la seguridad y el riesgo de los mismos, identificación de deficiencias a efectos de definir los planes de acción de tipo correctivo y preventivo, proponiendo medidas y emitiendo recomendaciones que conduzcan a una corrección.

El objetivo de la implementación de una auditoría de residuos en una fábrica, es la de identificar las fuentes de generación, cantidades y tipos de desechos y el minimizar su producción, esto se logra por medio de la determinación de ineficiencias en el proceso y el manejo de materiales.

Para la evaluación del proceso, es necesaria la elaboración de diagramas de flujo y definir en base a estos un programa de monitoreo que incluye la

revisión de puntos clave dentro del proceso en los cuales conviene examinar y controlar su comportamiento.

Es necesario el establecimiento de balances de materiales del proceso por medio de la contabilización de todos los flujos de entrada (materias primas, aditivos, consumo de agua), chequear los niveles actuales, de reutilización, pérdidas y salidas del proceso (productos, subproductos y residuos).

Por medio del balance de materiales se facilita la evaluación de diversas opciones de reducción de residuos, tratamientos de afluentes, sustitución de materias primas por otras que no comprometan el deterioro ambiental, el establecimiento a corto y largo plazo de medidas obvias de reducción de residuos.

En el establecimiento de medidas de minimización de residuos líquidos, es necesario realizar un monitoreo de consumo de agua, los puntos de utilización de esta, los caudales manejados, facilidad de reutilización, manejo racional de esta, etc. Algunas medidas útiles empleadas con el fin de reducir su uso son:

- Eliminación de fugas de agua.
- Reducción de la presión del agua y diámetro de cañerías donde sea posible.
- Equipamiento de mangueras con pitones de cono abierto.

- Instalación de reguladores de flujo.
- Recirculación del agua en puntos donde sus propiedades no afecten la calidad del producto.
- Limpieza en seco de las áreas de trabajo donde sea posible.

## **ANEXO III**

### **OPCIONES PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS MIELES**

El problema del tratamiento de las aguas mieles se basa en un conjunto de factores, que lo hacen uno de los residuos más difíciles para tratar. Esto se debe a su:

- Gran volumen de material líquido, sobre todo en situaciones donde se utiliza mucho agua en el proceso de beneficiado.
- Alta concentración de materia orgánica disuelta, en forma de azúcares, ácidos orgánicos.
- Presencia de grandes cantidades de enzimas, que descomponen y acidifican rápidamente la materia orgánica en solución.

Además, como en el tratamiento de la pulpa, se ha experimentado con una gran número de alternativas, sin embargo pocas han probado ser efectivas.

No existe ninguna solución "ideal", que ofrece la última solución al problema. Todas las alternativas tienen sus limitantes, sea en términos técnicos o económicos. Por esta razón: ***cualquier solución a la contaminación por las aguas mieles del café tiene que considerarse primeramente limitar el flujo de agua y la cantidad de materia orgánica contenida en ellas. El despulpado en seco y el ahorro de agua en el proceso son las dos primeras etapas a considerar.***

## **MEDIDAS SENCILLAS.**

### **Disposición en el terreno.**

En algunos casos, las aguas mieles pueden tener un uso directo: la fertilización de superficies agrícolas vecinas, sin embargo hay que tener cuidado, las aguas mieles pueden ser utilizadas en la preparación de suelos antes de cultivar y no como riego de cultivos (quemar las plantas).

En ausencia de una posibilidad de este tipo, es necesario buscar otras soluciones. La otra más barata es la disposición en el terreno , que se basa en la evaporación y/o infiltración de las aguas mieles.

En esta alternativa el agua miel que entra en una laguna de poca profundidad, se elimina por dos mecanismos: infiltración y evaporación. La materia orgánica que queda en el fondo de la laguna, donde se seca y descompone y puede ser removida sencillamente.

La evaporación tiene que basarse en estimaciones reales de evaporación, por esta razón, se toma como base de calculo un periodo mínimo de verano(en general en centro América es de tres meses),en el cual se tiene seguridad que no llueve. En este periodo habrá en general y en promedio, una evaporación de 10 – 15 cm por mes.

Sin embargo se debe tener una consideración importante y es la de una posible contaminación del manto acuífero: en el caso de existir un alto nivel freático ( menor de 20 metros ), es necesario impermeabilizar el suelo, para imposibilitar la infiltración y con esto la contaminación del agua subterránea.

Para la disposición del terreno la cantidad d agua que produce el beneficio en una cosecha(c) y el periodo de verano del que se dispone (v), son el punto de partidas para efectuar este calculo, sin embargo se asume que en periodo de verano, la evaporación mínima es de 10 cm por mes. De esta manera:  $S = C / (0.1 * V ) m^2$

Donde "S" representa el área necesaria para la laguna.

Si el nivel freático se encuentra a una profundidad mayor de 20 metros, podemos considerar la infiltración en el terreno. En tal caso es necesario realizar pruebas de infiltración con las mismas aguas mieles, para determinar su velocidad de infiltración, ya que esta puede variar mucho: de 0 cm/mes (para suelos muy arcillosos), hasta 40 cm/mes ( para suelos arenosos ). Es decir: en caso de suelos arcillosos podemos negar el efecto de infiltración, mientras que para suelos arenosos pueden reducir el terreno requerido hasta en un 80%.

## **ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS.**

### **Tamizado y Tratamiento Químico**

Estas dos alternativas permiten separar las partículas en suspensión del agua: el tamizado y el tratamiento químico.

En lo que respecta a los tamices, existen diversos modelos para aguas negras, algunos de los cuales están a prueba en beneficios centroamericanos. Es necesario importar las rejillas de estos tamices y el costo de instalación de este tipo no es despreciable, se estima en la actualidad entre \$43,600.00 y \$130,800.00

Por tanto el tamizado es una medida cara y poco eficiente en términos de disminución de la contaminación global, sino forma parte de una cadena adecuada de unidades de control de la contaminación.

En lo que concierne al tratamiento químico, este es un proceso sencillo y barato que trata de disminuir o eliminar la carga orgánica suspendida y los malos olores de las aguas mieles, precipitándolos por el agregado de cal y sales de hierro (cloruros o sulfatos).

La cal aumenta el PH (quita Acidez) y forma sales cálcicas con los compuestos orgánicos, favorece la precipitación de otros compuestos en suspensión. Las sales de hierro precipitan sulfuros y mercáptanos, principales componentes del mal olor de las aguas.

Al tratamiento químico siguen las pilas de sedimentación para separar la materia orgánica en forma de lodos y espuma, y el agua clarificada, según su carga orgánica residual, se dispone de ella o se pasa a otro proceso de purificación (lagunaje, riego. etc.).

En base a estimaciones, este tratamiento químico podría representar entre \$0.06 y \$0.10 por quintal procesado. **" El tratamiento químico puede ser una solución eficiente y relativamente poco costosa para reducir las inversiones ulteriores de tratamiento del agua. Ya que se tiene que integrar adecuadamente a la cadena de control de contaminantes".**

## **ELIMINACIÓN DE MATERIA DISUELTA.**

### **Lagunaje y Reactores Anaerobios.**

El lagunaje tiene como objetivo lograr la descomposición de la materia orgánica disuelta o suspendida. Esta descomposición se realiza de manera satisfactoria a condición de que la laguna cumpla especificaciones mínimas de contenido de oxígeno y de impermeabilización que facilite la descomposición de la materia orgánica.

La mayor parte de las lagunas existentes en Centroamérica para aguas mieles del café son anaeróbicas. Sin embargo su eficiencia es limitada en cuanto a la degradación de materia orgánica: 10-30% máximo, una buena parte de estas lagunas tienen como principal objeto la eliminación del agua, por evaporación e infiltración. Pero pueden producir graves problemas en cuanto a la proliferación de insectos y la contaminación de mantos acuíferos, contaminación que, por el momento, no se nota.

***Por tanto, el lagunaje que se realiza actualmente, es más una evasión del problema que una solución.***

La degradación anaeróbica en reactores metanogénicos es otro de los procesos que permiten degradar la materia orgánica disuelta en aguas mieles.

Su factibilidad ha sido demostrada en experiencias en Nicaragua. Pero los biodigestores presentan varios inconvenientes para ser utilizados en beneficios de café:







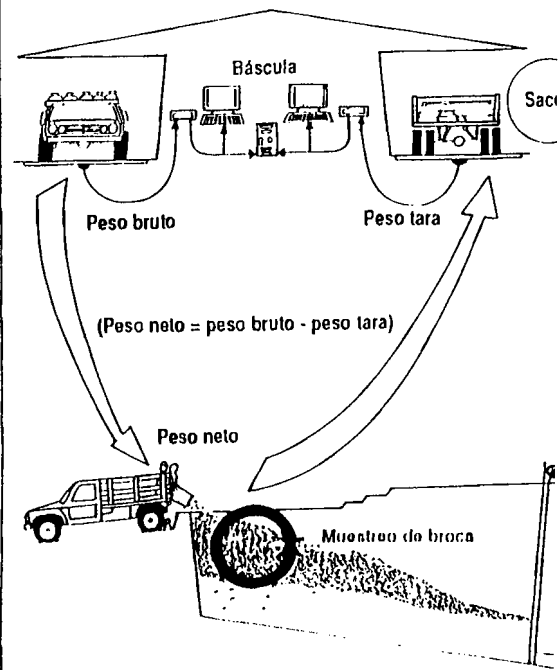
- El proceso de biodigestión anaeróbico es complejo y requiere un cuidadoso control y acondicionamiento de las aguas antes de procesarlas.
  - A temperatura ambiente, los biodigestores sólo pueden tratar una cantidad de materia orgánica limitada por día, lo que aumenta el volumen requerido de biodigestor.
  - El costo del biodigestor es alto, aproximadamente  $\$283.40 \text{ kgDQO/m}^3$ .
  - Existe un retorno económico del sistema, únicamente si hay posibilidad de uso de biogás en la misma planta sustituyendo otra fuente de energética.
  - El tiempo de funcionamiento de la planta, solo se hace en cosecha de café.
  - El costo de funcionamiento u operación de la planta.
  - Tanto el biodigestor como la laguna juegan básicamente el mismo papel.
- Sin embargo las diferencias son las siguientes:
- El biodigestor es un medio de más eficiente y mas radical de eliminación de la contaminación, elimina 80% de la contaminación.

- El biodigestor elimina los inconvenientes de la laguna anaeróbica en caso del mal manejo (olores, moscas).
- El biodigestor consume menos espacio que la laguna anaeróbica.

El biodigestor es mucho más caro que el lagunaje, pero puede generar un cierto retorno por el uso de gas combustible.

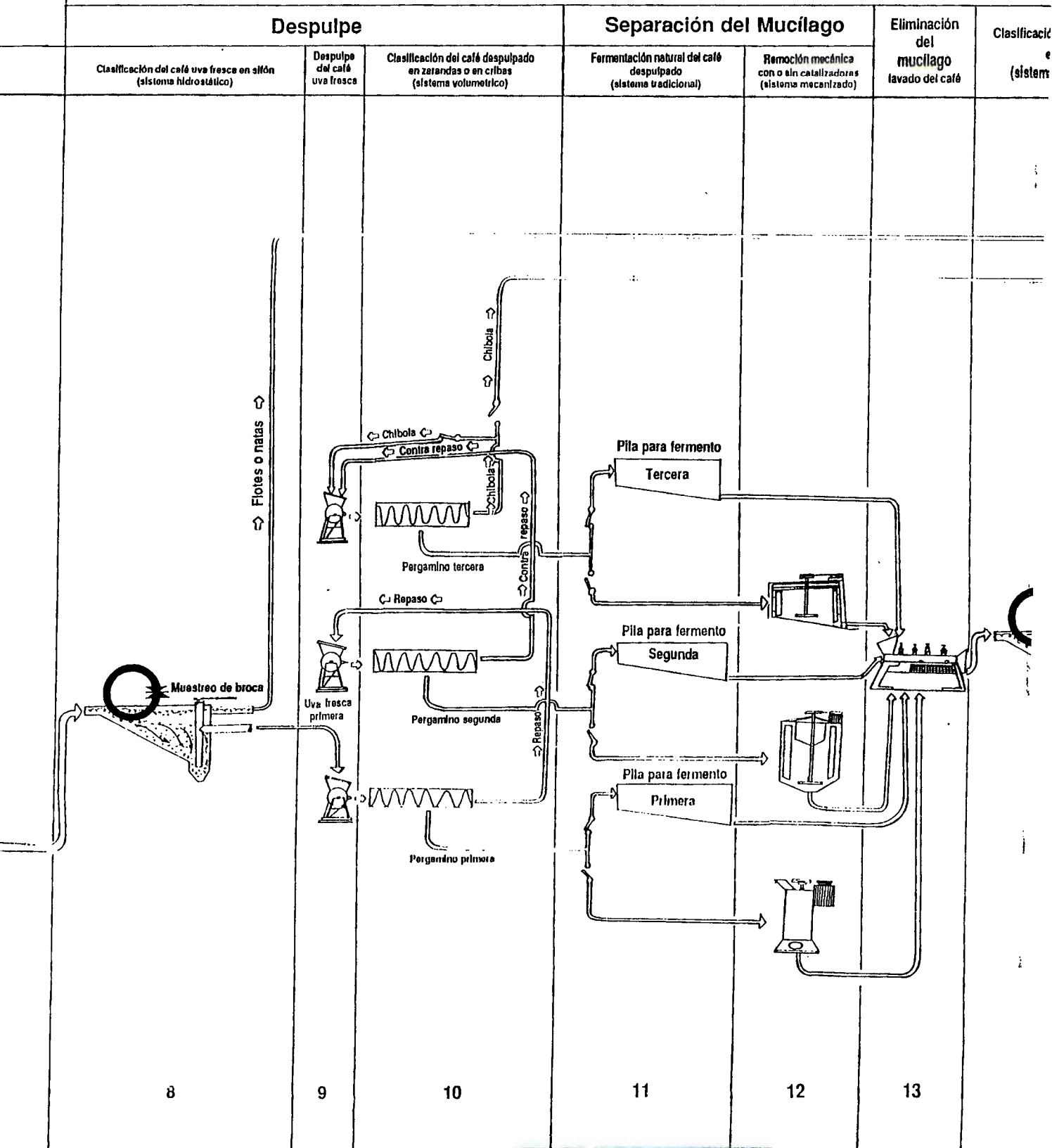
# Cosecha del café

# Transporte y recepción del café en el beneficio

Recolección selectiva	Traslado de café a la plaza	Selección de café en la plaza	Determinación de peso del café en finca	Transporte del café de finca a beneficio	Ingreso del café recolectado en beneficio	Determinación del peso del café en beneficio (bruto, tara y neto) y recepción en pilas para café uva fresca (materia prima)
			 <p style="text-align: center;">Peso en finca</p>	 <p style="text-align: center;">Transporte</p>		 <p style="text-align: center;">(Peso neto = peso bruto - peso tara)</p>
1	2	3	4	5	6	7

# Diagrama del proceso de beneficiado húmedo

## Beneficiado del café en proceso de vía húmeda



# Secado del café en el beneficiado húmedo

# Almacenamiento del café lavado 11° a 13° de humedad (Pergamino seco y cerezas secas)

el café lavado (fón drostático)

Presecado del café pergamino húmedo lavado (proceso natural y mecanizado)

Secado del café pergamino presecado lavado (proceso natural y mecanizado)

