

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CAFÉ TOSTADO
Y MOLIDO (BORRA DE CAFÉ), GENERADOS EN EL
CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL
SALVADOR**

PRESENTADO POR:

LUIS MIGUEL MORALES ROSALES

DAVID ORLANDO PÉREZ HERNÁNDEZ

PARA OPTAR A TÍTULO DE:

INGENIERO QUIMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2020

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS

SECRETARIO GENERAL :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE
ALIMENTOS**

DIRECTOR :

INGA. SARA ELISABETH ORELLANA BERRIOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción a Grado de:

INGENIERO QUIMICO

Título :

**VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CAFÉ TOSTADO
Y MOLIDO (BORRA DE CAFÉ), GENERADOS EN EL
CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL
SALVADOR.**

Presentado por :

**LUIS MIGUEL MORALES ROSALES
DAVID ORLANDO PÉREZ HERNÁNDEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente asesor :

DRA. TANIA TORRES RIVERA

SAN SALVADOR, 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente asesor :

DRA. TANIA TORRES RIVERA

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso, por darle sentido y dirección a mi vida, mi fe de que este logro es parte de una carrera llena de éxitos y satisfacción.

A mi madre Lucía Rosales, mi principal cimiento para la construcción de mi vida profesional por su amor, sus sabios consejos, su apoyo incondicional, por motivarme constantemente y por haberme forjado como la persona que soy.

A mi padre Luis Morales y a mis hermanos a quienes agradezco por su apoyo en cada una de mis metas y sueños, por compartir tantos momentos de alegrías y tristezas, brindarme su confianza y motivación para seguir adelante.

A mi abuela Angela Rosales y mis tías Isabel Echeverría y Nery Rosales por apoyarme y demostrar la fe que tienen en mí.

A mis profesores a quienes debo su valiosa instrucción, su dedicación y el haber influido cada uno de manera particular para formar el ingeniero profesional que ahora soy.

A Dra. Tania Torres por su excelente labor como docente, por haberme influenciado con su conocimiento científico en el transcurso de mi formación académica y cuya valiosa instrucción ha permitido llevar a cabo este trabajo con éxito.

A David Pérez colega y amigo por su paciencia y dedicación en el mejor interés de este proyecto, por compartir este último reto para concluir este sueño.

A mis amigos y colegas personas importantes a los que he robado horas de compañía, quienes me dieron ánimos, su valiosa amistad y la oportunidad de aprender a su lado en esta etapa de mi vida.

A todos quienes me han apoyado moralmente en bienestar de mi profesión.

Luis Morales

AGRADECIMIENTOS

Haciendo una introspección de los factores que contribuyeron e incorporaron las herramientas necesarias para llegar a este momento, me hace recordar y apreciar cada pieza de este viaje con muchos huecos, tropiezos y cuestas abajo y arriba, pero a la vez llena de momentos gratificantes y emocionantes que me reforzaron en cada paso realizado.

Antes de todo agradezco a Dios, su luz y energía me mantuvo en este camino permitiéndome llevar a cabo, con su protección y vida que me brinda.

A mi padre por ser el hombre optimista, alegre, fuerte, responsable y valiente ante cualquier obstáculo y ante la familia, que me sigue mostrando y enseñando con sus acciones lo crucial de las decisiones que tomamos siendo fieles a uno mismo.

A mi madre por las innumerables maneras que puedo percibir su amor, apoyo y calidez, ser mi chispa en la oscuridad, calma en la incertidumbre. Le doy gracias por hacerme recordar lo importante que nos convierte en verdaderos seres humanos.

A mi hermana que siempre tiene un papel relevante en mi vida, apoyándome en cada faceta y manteniéndonos en aprender de ambos desde el día uno que te conocí; la fortaleza y determinación que expresas inspira.

A mi familia por hacerme sentir su apoyo y estar atentos en cada reunión familiar de esta etapa académica terminada.

A Dra. Tania Torres, por su invaluable disposición, colaboración y asesoramiento en las partes que conforman este trabajo de grado y su notable calidad como docente.

A la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la Universidad de El Salvador, a todos los docentes que me ayudaron y guiaron a moldear y forjar los conocimientos y criterio que amerita la ingeniería.

A la oportunidad de haber pertenecido a movimientos estudiantiles y a los compañeros que me permitió conocer, las experiencias involucradas me hicieron colocarme en un panorama diferente a lo académico, mediante el servicio a la comunidad estudiantil y el trabajo multidisciplinario que llevaré en mí como profesional.

A Luis Miguel por unirse a mí en este trabajo, a pesar de las circunstancias que nos tomaron de sorpresa al inicio, es indiscutible el buen equipo que formamos.

A cada amigo y personas que conocí en el transcurso de esta etapa universitaria que me han dejado marca, buenos recuerdos y anécdotas. Muchas gracias a Diego por creer en mí, por su genuina amistad, ser un mentor y hermano. Marcela, Raúl, Tatiana y Efraín por estar presentes y sin duda contar con ellos.

David Pérez

RESUMEN

La planta de café o faceto (*Coffea*) posee un importante trasfondo histórico y económico siendo este un cultivo muy importante para El Salvador y el mundo en general. El fruto es utilizado principalmente en la preparación del grano para bebidas, derivados de sus procesos del grano cereza hasta el café soluble, permitiendo un catálogo de aprovechamiento de los residuos en los beneficios de café y torrefacción del grano de café verde.

Entre ellos se encuentra la borra de café o llamados también pozos de café, es el residuo del café tostado y molido utilizado en la preparar la bebida de café y en el proceso de elaboración de café soluble, que representa más de la mitad de la composición peso del grano tostado, este residuo es poco apreciado en materia de alternativas para el desarrollo de productos.

El interés de este residuo, se basó en la evaluación del aprovechamiento de la borra de café generada en el Campus Central de la Universidad de El Salvador (UES) por parte del café tostado y molido proporcionado por la UES a su personal, para ello es necesario la caracterización de la biomasa generada, acercándose a las condiciones que se dan en el Campus Central, resultan datos generales de humedad aproximadamente de 74.73%, densidad aparente de 655.69 kg/m³ y densidad aparente compactada de 834.92 kg/m³. La población docente y administrativas de las 9 facultades y las oficinas centrales es cercano a los 2,000 empleados, generando un estimado de 2,781.51 kg de borra de café húmeda y 205 kg de borra de café seca mensualmente, con una tasa de generación de 0.818 kg de borra de café/kg de café molido y tostado.

Con la tasa de generación estimada establecida y mediante el diseño de una matriz de análisis de prioridad, usando criterios para su calificación numérica: Aplicabilidad de la alternativa como insumo, Costo de implementación, Requerimiento técnicos, Tasa de consumo, Eficiencia y eficacia. Dando una referencia y dirección hacia donde puede orientarse los proyectos a partir de la borra de café. Se evaluaron 20 alternativas de aprovechamiento registradas que es posible realizar, la selección de la alternativa para ser realizada en el Laboratorio de Ingeniería Química (Planta Piloto) de la UES, se dedujo que la extracción de aceite es la alternativa a implementar para el Campus Centra de la UES; Además de sus

opciones dentro de la misma alternativa, la posibilidad de la elaboración de carbón activado, biomasa para combustible y componente de mejorador de suelos. En el desarrollo de productos se propone formulaciones para jabones y aromatizantes dentro de la línea de productos artesanales/naturales, donde este último se dará en la variante de aceite esencial de café a partir del aceite fijo extraído.

El diseño el proceso se enfoca en las condiciones de operación óptimas y especificaciones del equipo necesario para la extracción de aceite de café, con un rendimiento mínimo de producción del 8% por el método físico de extrusión, previamente recolectada la materia prima del proceso con la elaboración de un plan de recolección de la borra de café generada, brindando puntos de recolección y estaciones de transferencia en las entidades del Campus Central consideradas en el estudio Campus Central para su posterior desplazamiento al Laboratorio de Ingeniería Química (planta piloto).

En efecto, en el presente estudio se centra en la confección de una alternativa basada en un estudio empírico, documentario y descriptivo del aprovechamiento de la borra de café, seleccionando la extracción de aceite y su aplicación en la elaboración de productos con sostenibilidad ambiental a escala de planta piloto, de esta forma la investigación da su valorización al residuo

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3

PARTE I MARCO TÉORICO

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1	Generalidades de la Industria del café.....	5
1.1.1	Producción mundial del café	6
1.1.1.1	Consumo mundial.....	11
1.1.2	Producción de café en El Salvador	16
1.1.2.1	Breve Historia del cultivo del café en El Salvador.....	16
1.1.2.2	Producción en El Salvador	18
1.1.2.3	Consumo en El Salvador.....	23
1.1.3	Proceso de beneficiado de café en El Salvador	26
1.1.3.1	Descripción del Procesamiento del café en los beneficios.....	29
1.2	Fruto del café, Morfología y Propiedades	42
1.2.1	Propiedades físicas-mecánicas.....	44
1.2.2	Composición del café.....	46
1.2.2.1	Composición física del grano café cereza.....	46
1.2.2.2	Composición química del grano de café verde oro	47
1.3	Productos derivados de la industria del café.....	53
1.3.1	Café tostado torrefacto	53
1.3.2	Extracto de café instantáneo soluble.....	59
1.3.3	Café descafeinado.....	60

1.3.4	Café neutralizado	62
1.3.5	Café liofilizado	62

CAPÍTULO II. RESIDUO DE CAFÉ: BORRA DE CAFÉ

2.1	Residuos provenientes a partir del café tostado y molido	64
2.1.1	Generalidades sobre la borra de café	66
2.1.2	Composición y propiedades fisicoquímicas de la borra del café	67
2.2	Antecedentes del aprovechamiento actual de la borra de café	69

CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y USOS POTENCIALES DE LA BORRA DE CAFÉ

3.1	Usos en la agricultura	71
3.2	Usos en la Industria química y energética	73
3.3	Usos en la Industria de Alimentos	90
3.4	Otros usos	91
3.5	Condiciones de generación de la borra de café.....	96

PARTE II

ESTUDIO EMPIRICO DE LA VALORIZACIÓN DE LA BORRA DE CAFÉ

CAPÍTULO IV. GENERACIÓN DE LA BORRA DE CAFÉ EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

4.1	Organización del campus central de la Universidad de El Salvador	98
4.1.1	Entorno geográfico	98
4.1.2	Facultades del campus central de la UES	98
4.1.3	Instancias centrales de la UES.....	102

4.2	Metodología para el estudio.....	104
4.2.1	Planteamiento metodológico para la investigación diagnóstica de la generación de borra de café en el campus central de la UES.....	105
4.2.2	Tasa de generación de la borra de café	108
4.2.3	Generación de borra de café en el campus central de la UES	110

CAPÍTULO V. CARACTERIZACIÓN DE BORRA DE CAFÉ

5.1	Planteamiento metodológico para la caracterización de la borra de café.....	111
5.2	Diseño de instrumentos metodológicos para la caracterización	111
5.2.1	Contenido de Humedad.....	111
5.2.2	Densidad aparente.....	113
5.2.3	Densidad aparente compactada.....	113
5.2.4	Otros parámetros de caracterización	114

CAPITULO VI. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

6.1	Planteamiento metodológico para la selección de alternativas de valorización de la borra de café generada en el campus central de la UES.	119
6.1.1	Descripción de la metodología de preselección de alternativas.	120
6.1.1.1	Identificación de las alternativas a evaluar	121
6.1.1.2	Identificación de criterios calificativos.....	121
6.1.1.3	Desarrollo de escala de evaluación y priorización de criterios.	122
6.1.1.4	Evaluación en matriz de utilidad y requerimientos.	124
6.1.1.5	Preselección de alternativa	124
6.2	Implementación del proceso de preselección de alternativas.	125
6.3	Valoración de las alternativas preseleccionadas para valorización material.	134

6.3.1	Alternativas preseleccionadas	134
6.3.1	Resumen para la valoración de las alternativas	142
6.4	Selección de la alternativa para la valorización de la borra de café.....	145
6.4.1	Definición de parámetros de selección de la alternativa.....	145
6.4.2	Evaluación en matriz de análisis de prioridad.....	147

PARTE III
DESARROLLO DEL PRODUCTO

**CAPITULO VII. DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO
SELECCIONADO**

7.1	Capacidad de producción.....	151
7.2	Diseño del proceso de extracción de borra de café	155
7.2.1.1.	Flujograma de proceso de producción	158
7.2.1.2.	Balance global de proceso.....	159
7.2.1.3.	Especificaciones del equipo	160
7.2.1.4	Diagrama de diseño de planta	168
7.2.2	Refinación de aceite como etapa opcional	169
7.2.2.1	Descripción del equipo de refinación de aceite.....	170
7.3	Aprovechamiento de los residuos del proceso de extracción de aceite.....	173
7.3.1	Carbón activado.....	173
7.4	Propuesta de desarrollo de productos del aceite extraído de la borra de café	177
7.4.1	Elaboración de jabones suaves	178
7.4.1.1	Formulación de jabón de aceite de café.....	185
7.4.1.2	Formulación de jabón líquido de aceite de café	188
7.4.2	Aromatizante	191
7.4.2.1	Formulación de aromatizante	192

7.5	Ciclo de vida de la borra de café en el Campus Central de la UES	194
7.5.1	Recolección de la borra de café.....	196
7.6	Factibilidad económica.....	197
7.6.1	Costos de Inversión.....	197
7.6.2	Costos de operación y mantenimiento	198
7.6.3	Beneficios económicos potenciales	199
7.7	Beneficios ambientales	200
	CONCLUSIONES.....	201
	REFERENCIAS BIBLOGRAFÍCAS	205
	ANEXOS.....	220
Anexo I	Esquema de cadena productiva del café	221
Anexo II	Diagrama de flujo del proceso de café soluble.....	222
Anexo III	Poder calorífico de los subproductos del café.....	223
Anexo IV	Procesos para la transformación de la biomasa con fines energéticos	223
Anexo V	Procedimientos analíticas para la caracterización fisicoquímica de biomasas usadas para combustibles	224
Anexo VI	Normas de pruebas fisicoquímicas para la caracterización de la borra de café utilizada en elaboración de papel o productos a base de celulosa	224
Anexo VII	Definición de la composición de productos del cuidado de la pie	225
Anexo VIII	Proceso de elaboración de tablas de borra de café de 45x45 cm.....	225
Anexo IX	Organigrama Institucional de la Universidad de El Salvador	226
Anexo X	Croquis de la Sede Central de la Universidad de El Salvador, UES	227
Anexo XI	Código de colores del croquis de la Sede Central, Universidad de El Salvador.....	228

Anexo XII	Cantidad del personal Administrativo por cada una de las facultades de la Universidad de El Salvador.....	229
Anexo XIII	Cantidad del personal Docente por cada una de las facultades de la Universidad de El Salvador	229
Anexo XIV	Diagrama del procedimiento para la determinación del contenido de humedad de la borra de café.....	230
Anexo XV	Diagrama del procedimiento para la determinación la densidad aparente de la borra de café	231
Anexo XVI	Diagrama del procedimiento para la determinación la densidad aparente compactada de la borra de café	231
Anexo XVII	Costo de flete estimado para la importación de los equipos del proceso de extracción de aceite de café	232
Anexo XVIII	Balance económico	233

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Producción total de café (Miles de sacos de 60 kg)	8
Tabla 1. 2 Producción de café arabica (Miles de sacos de 60 kg)	9
Tabla 1.3 Producción de café robusto (Miles de sacos de 60 kg).....	9
Tabla 1.4 Principales consumidores de café del mundo en 2013	12
Tabla 1.5 Consumo mundial de café por países de 2016 a 2020.....	14
Tabla 1.6 Historial de la producción del café	21
Tabla 1.7 Recepción de café. Informada por los beneficiadores, 2015/16 a 2019/20	22
Tabla 1.8 Balance cafetalero nacional 2015/16 a 2018/19.....	24
Tabla 1.9 Balance cafetalero nacional 2015/16 a 2018/19.....	24
Tabla 1.10 Importaciones de café en El Salvador de 1995 a 2019.....	25
Tabla 1.11 Procesamiento de grano de café por vía húmeda	33
Tabla 1.12 Procesamiento de grano de café por vía seca.....	37
Tabla 1.13 Peso en quintales de diferentes estados de café que caben por m ³	39
Tabla 1.14 Características físicas de frutos de café cosechados, Veracruz, México	46
Tabla 1.15 a) Composición física del grano de café b) Distribución porcentual de las estructuras principales del café en cereza	46
Tabla 1.16 Promedios de la composición química del grano de café verde oro según especie	48
Tabla 1.17 Contenido de ácidos en granos de café verde oro, según la especie	52
Tabla 1.18 Contenido de ácidos en granos de café verde oro	53
Tabla 1.19 Rangos de tueste de café tostado torrefacto.....	55
Tabla 2.1 Residuos obtenidos en el proceso industria del café.....	65
Tabla 2.2 Análisis de borra de café utilizada como combustible	67
Tabla 2.3 Resultado de pruebas de laboratorio de borra de café para productos del cuidado de la piel.	68
Tabla 3.1 Investigaciones de procesos de bioadsorción de metales pasados mediante borra de café	76
Tabla 3.2 Características de combustión de diferentes biocombustibles sólidos	80

Tabla 3.3	Contenido celulósico en residuos de café.	89
Tabla 4.1	Composición y cantidad del personal docente y administrativo de las facultades del campus central de la UES	99
Tabla 4.2	Consumo de café molido y tostado en el campus central de la UES al año	106
Tabla 4.3	Resultados de las pruebas de tasa de generación de la borra de café en cafetera secretarial	109
Tabla 5.1	Resultados del contenido de humedad en borra café.....	112
Tabla 5.2	Resultados de densidad aparente de la borra de café.....	113
Tabla 5.3	Resultados de densidad aparente compactada de la borra de café	114
Tabla 5.4	Contenido de ceniza, pH, sólidos volátiles, sólidos solubles, carbón fijo y tamaño de partícula de la borra de café	115
Tabla 6.1	Escala de evaluación de alternativas	122
Tabla 6.2	Escala de evaluación de alternativas aplicadas al criterio “Costos de Implementación”	123
Tabla 6.3	Escala de evaluación de alternativas aplicadas al criterio “Eficiencia y eficacia”.....	123
Tabla 6.4	Escala para la clasificación de las alternativas de acuerdo al índice total	125
Tabla 6.5	Estimación del índice total, para la clasificación de las alternativas de acuerdo a los criterios establecidos.....	126
Tabla 6.6	Clasificación de las alternativas en categorías por rango del índice total	130
Tabla 6.7	Alternativas preseleccionadas-calificación para el cumplimiento de criterios...	133
Tabla 6.8	Valoración comparativa de las alternativas preseleccionadas	143
Tabla 6.9	a) Escala de evaluación de los criterios de requerimientos para las alternativas preseleccionadas. b) Escala de evaluación de los criterios de beneficios para las alternativas preseleccionadas	146
Tabla 6.10	Matriz de análisis de prioridad	147
Tabla 7.1	Ventajas y desventajas de los métodos de extracción de aceites vegetales	152
Tabla 7.2	Rendimientos de los métodos de extracción de aceite de café.....	153
Tabla 7.3	Descripción del proceso de extracción por prensado de aceite de café	157
Tabla 7.4	Equipos del proceso de extracción por prensado de aceite de café	166

Tabla 7.5	Parámetros de operación para la refinación del aceite comestible	171
Tabla 7.6	Equipos del proceso de producción de carbón activo.....	174
Tabla 7.7	Propiedades químicas del aceite de café.....	179
Tabla 7.8	Propiedades físicas del aceite de café.....	183
Tabla 7.9	Costos de inversión.....	197
Tabla 7.10	Balance de consumo de energía eléctrica	198
Tabla 7.11	Indicadores económicos del proyecto.....	199

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Producción de café por año cafetero.....	7
Figura 1.2	<i>Zonas de producción, r: Variedad robusta m: Variedades arábica y robusta a: Variedad arábica</i>	10
Figura 1.3	Etapas del proceso productivo del café como bien de consumo final	19
Figura 1.4	Mapa geográfico de producción de café.....	20
Figura 1.5	Gráfica de la recepción de café. Informada por los beneficiadores, cosecha 2015/16 a 2019/20.....	23
Figura 1.6	Cadena agroproductora del cultivo de café en El Salvador.....	26
Figura 1.7	Distribución de variedades en el área cafetalera del país	29
Figura 1.8	Procesos de beneficios utilizados para obtener café oro verde.....	30
Figura 1.9	Diagrama de flujo de las operaciones de recibo, clasificación inicial, despulpado y fermentado/desmucilaginado	31
Figura 1.10	Diagrama de las pilas de recibo de café uva y alimentación al tanque sifón. 32	
Figura 1.11	Tostado y envasado de café oro verde.....	40
Figura 1.12	Diagrama de operaciones en el proceso de Tostado de café	41
Figura 1.13	Diagrama de operaciones en el proceso del molde de café	42
Figura 1.14	Corte transversa de un grano de café.	43
Figura 1.15	Composición del fruto de café..	43
Figura 1.16	Estado de madurez: inmaduro (verde), pintón-rojo y seco den fruto de café..45	
Figura 1.17	Grado de intensidad de los sabores y aromas con respecto al grado de tueste.....	57
Figura 1.18	Grados de tostado de café.....	57
Figura 1.19	Reducción de agua (hidrólisis) de café arábica durante el tostado	58
Figura 1.20	Diagrama de elaboración de café instantáneo.....	59
Figura 1.21	Proceso de descafeinación con solvente orgánico	61
Figura 1.22	Proceso de descafeinación con gases supercríticos.....	61
Figura 1.23	Etapas del proceso industrial del café.....	63

Figura 2.1	Borra de café generado en cafeteras.....	66
Figura 3.1	Secciones del proceso de gasificación para un gasificador tipo updraft.....	84
Figura 3.2	Estructura general de las antocianinas. R1 y R2 pueden ser H o azúcares, R pueden ser OH o H.	91
Figura 3.3	Jabón exfoliante, exfoliante corporal y mascarilla capilar a base de borra de café	92
Figura 3.4	Resultado de las pruebas a las tablas a partir de borra de café	95
Figura 3.5	Obtención final de la tabla a partir de borra de café	95
Figura 4. 1	Café tipo A y tipo B utilizados para calcular la tasa de generación de borra de café	108
Figura 6.1	Concepción del ciclo de valorización de la borra de café.....	119
Figura 6.2	Esquema para la extracción de componentes volátiles del aceite de café obtenido por extrusión.....	138
Figura 6.3	Representación de las placas graníticas del carbón activado	139
Figura 6.4	Esquema de las etapas del proceso de activación química del carbón activado	141
Figura 7.1	Elementos de una prensa expeller.....	156
Figura 7.2	Diagrama de etapas del proceso de extracción de aceite de café.....	158
Figura 7.3	Secador eléctrico con bomba de vacío	160
Figura 7.4	Prensa hidráulica para la extracción de aceites comestibles.....	162
Figura 7.5	Filtro prensa de bastidor para aceites comestibles	163
Figura 7. 6	Tanque de almacenamiento de aceite acero inoxidable 340.....	164
Figura 7.7	Tanque de almacenamiento para borra seca	165
Figura 7.8	Tanque de recolección de torta de prensado.....	165
Figura 7.9	Diagrama del proceso de extracción por prensado de aceite de borra	168
Figura 7.10	Minirefinería para aceites comestibles	169
Figura 7.11	Diagrama de etapas del proceso de refinación de aceite comestible	170
Figura 7.12	Diagrama de proceso de producción de carbón activo.....	175
Figura 7.13	Diagrama de proceso de elaboración de jabón artesanal.....	184

Figura 7.14	Diagrama de proceso de elaboración de jabón líquido casero.....	188
Figura 7.15	Ciclo de vida de la borra de café dentro del campus central de la UES.....	194
Figura 7.16	Recipiente para puntos de recolección	1966
Figura 7.17	Recipiente de traslado de la recolección.....	¡Error! Marcador no definido.96

INTRODUCCIÓN

Mientras más se moldee la naturaleza a las necesidades de la humanidad, cada vez más se hace necesario presentar y experimentar con materias primas alternativas a los procesos y productos ya establecidos en el mercado y en la industria en general, tomando la tarea de investigar fuentes sostenibles técnica, económica y ambientalmente dentro de sus mismos procesos productivos, la incorporación a sus residuos que se hacen eminentes al retorno como insumos del mismo u otros procesos, dentro del círculo de transformación y en consecuencia el aprovechamiento de los recursos naturales.

Se encuentra la otra vertiente que posee un común denominador, el agotamiento de recursos naturales, son los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) que ha ido evolucionando con el tiempo desde la dilución, disposición hasta la prevención en la producción de residuos.

La valorización de los residuos es una forma de prevención en la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), minimizando el volumen de estos que se envían a los vertederos y a la vez aprovechando los recursos ya sea materiales o energéticos, contenidos en dichos residuos, dándoles un valor agregado económico, reduciendo las fuentes de contaminación al medio ambiente por su sostenibilidad; por lo tanto, se hace necesario la inclusión de nuevas tecnologías y en su defecto el mejoramiento de las ya existentes.

La industria del café posee las características y potencial de aprovechamiento de sus residuos, en el beneficiado de café se estima que menos del 5% de la biomasa residual se aprovecha en la manufacturación de bebida, el restante se trata como residuos lignocelulósicos como hojas, ramas, tallos, cascarillas, pulpas, borra y granos defectuosos (Cenicafé, 2013). Lo mismo con las plantas de torrefacción de café a café soluble, en donde la borra de café presenta el 10% del fruto fresco (Suarez, 2012).

El presente estudio consiste en desarrollar una investigación documentaria sobre el análisis de alternativas del aprovechamiento de un residuo generado en el Campus Central de la Universidad de El Salvador (UES), siendo este borra de café; es decir, el residuo del café tostado y molido que es utilizado para preparar la bebida de café en cafeteras en las unidades y departamentos administrativos y académicas del Campus Central.

El potencial de la borra de café, de acuerdo al consumo de café tostado y molido, se ve embarcado por las aplicaciones ya realizadas como materia prima o insumos para el desarrollo de productos convergentes a la utilización dentro de la Campus Central; en el marco de la gestión del residuo, dado su caracterización, cuantificación de la tasa de generación de la borra de café, selección de la alternativa mediante la implementación de una matriz de análisis de prioridad, llevo a la selección de la producción de aceite fijo extraído en el Laboratorio de Ingeniería Química (Planta Piloto).

En esta investigación se plantea un diseño del procesamiento físico de la borra de café se completa con la incorporación de equipos especificados para el proceso del método de extrusión de la biomasa provocando la extracción del aceite de café y procesos adicionales para mejorarlo a su consumo comestible, resultando en formulaciones de productos naturales con sostenibilidad ambiental y valor agregado del café, además de la masa residual del proceso a hacer aplicada en la producción de carbón activado y mejorador de suelos. Ante la tarea de recolección que se extiende en una gran región, se presenta un plan de recolección dado la demanda de generación del Campus Central. El aporte de convertir el residuo en aceite se analiza económicamente para su ejecución, siendo este proyecto destinado a un beneficio social para el personal docente y administrativo, con la incorporación a las actividades cotidianas dentro del recinto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer alternativas de aprovechamiento y valorización de los residuos de café tostado y molido (borra de café) generados en el Campus Central de la Universidad de El Salvador.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Describir el tipo de materiales de valor agregado que pueden producirse utilizando los residuos sólidos provenientes de la preparación de café (borra de café), priorizando en la elaboración de productos de ingeniería sostenible.
2. Estimar la cantidad de residuo sólidos provenientes de la preparación de café (borra de café) que generan las distintas unidades y departamentos académicos y administrativos del Campus Central de la Universidad de El Salvador
3. Efectuar la caracterización fisicoquímica de la borra de café para recabar los parámetros necesarios a utilizar en el desarrollo de los productos.
4. Seleccionar el tipo de materiales de valor agregado que pueden producirse en la UES utilizando los residuos sólidos provenientes de la preparación de café (borra de café) generados en las distintas unidades y departamentos académicos y administrativos del Campus Central de la Universidad de El Salvador.
5. Describir los procesos de producción de materiales de valor agregado factibles de producir en la UES a partir de la borra de café.
6. Estimar los rendimientos de producción, a escala de planta piloto, del producto de valor agregado que se seleccione.
7. Proponer una solución a la disposición final de este residuo a través del diseño del proceso y la logística del manejo del mismo para la fabricación del producto potencial con valor agregado y sostenible ambientalmente a desarrollar.

PRIMERA PARTE
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Generalidades de la Industria del café

La primera descripción de una planta de café fue hecha en 1592 por Prospero Alpini; un siglo después, Antoine de Jussieu (1713) la denominó *Jasminum arabicum* (la consideró un jazmín). Fue Linneo (1737) quien la clasificó en un nuevo género, el género *Coffea*, con una sola especie conocida: *C. arabica*. Hoy, se reconocen 103 especies, sin embargo, sólo dos son responsables del 99% del comercio mundial: *Coffea arabica* y *Coffea canephora*. Son originarias de África, o de Madagascar. (Suarez, 2012)

El café, la bebida que se hace hirviendo los granos tostados y molidos de *Coffea arabica* L. y otras especies de *Coffea*, ha sido por mucho tiempo una de las bebidas más importantes en el mundo, siendo rivalizado sólo por el té, la cocoa y el mate. Durante el siglo XVII, el café se producía en áreas localizadas en Arabia y los países vecinos. para el consumo en toda la región musulmana. La popularidad de la bebida fue tal que su uso por los mahometanos fue prohibido por algún tiempo. Aunque fue introducido a los mercados europeos del sur por los comerciantes árabes, a fines de la Edad Media, el café no fue ampliamente conocido en Europa sino hasta que las rutas marítimas hacia el Oriente fueron abiertas por los navegantes holandeses e ingleses en el siglo XVII. Gran cantidad de cafés, los cuales en muchos casos estaban destinados a volverse centros renombrados de actividad social, literaria y política, se establecieron en Inglaterra, Holanda y otros lugares del norte de Europa, más o menos hacia 1650 y posteriormente en las colonias americanas. (INFOAGRO, 2020)

Dando su punto de industrialización y comercialización en el siglo XVIII, en el contexto de la Revolución Industrial, en especial en el siglo XIX se generaron los mayores avances en el procesamiento del café debido al auge de métodos mecánicos de tostado, molienda y preparación. A principios del siglo XX se desarrollaron también métodos de conservación y empaque. Entre los múltiples inventos patentados en la época se registran, por ejemplo, el café soluble y el empaque al vacío para café. Estos avances permitieron que se desarrollara la expansión de su consumo a lo largo del siglo XX. Más recientemente, y gracias al desarrollo del segmento de tiendas de café en Estados Unidos, el consumo de café retomó

uno de sus más importantes atributos, el de ser una bebida social, posicionándola entre los consumidores de las nuevas generaciones. El consumo de café no ha estado ajeno a fenómenos sociales y políticos de trascendencia. Alrededor del café se han detonado revoluciones, se han diseñado esquemas de cooperación, el café es mucho más que una bebida. (Suarez, 2012)

En América Latina el café alcanzó significativa importancia desde la década de 1930, más del noventa por ciento (90%) de la producción de café provenía de Brasil, Colombia, México y Guatemala. A mediados de la década de 1950, este aporte se redujo significativamente para estabilizarse en aproximadamente dos terceras partes de la producción mundial.

Llevando al café como la segunda mercancía comercializada en el mundo, solo detrás el petróleo. Se estima en 125 millones el número de personas que vive del cultivo del café, incluyendo los 35 millones de pequeños productores. Se calcula que cada año se beben unos 400,000 millones de tazas de café. Por lo tanto, hay en juego muchos intereses económicos y sociales extremadamente importantes (Bedri, 2018).

1.1.1 Producción mundial del café

Casi la totalidad de la producción mundial de café es obtenida en zonas tropicales y subtropicales, en su mayoría países en vías de desarrollo o subdesarrollados, en el mapa de la figura 1.1 se logra apreciar la distribución de las zonas de producción de las variedades de robusta y arábica.

Se concentra en la producción de dos grandes especies, la *Coffea arábica* (café arábico) que cuenta con variedades como la Typica, Bourbon, Caturra, Geisha, Blue Mountain, entre otros, y la especie *Coffea canephora* (café robusto) en la que resaltan variedades como Comilón, Kouiloi, Niaoulli y Uganda. En cuanto a calidad, a la fecha destacan las arábicas como cafés de alta calidad, representando el 56,6% de la producción total (95,7 millones de sacos en la campaña 2019/2020); mientras que el café robusto con el 43,4% de participación estimada para la presente campaña (73,5 millones de sacos), se caracteriza por ser un café de calidad más rústica, fácil de producir y, por tanto, comercializado a menores precios.

Para la producción mundial de café 2018/2019 se ha ratificado en su estimado de 174,5 millones de sacos de 60 kilos, 10% superior al volumen registrado en la producción anterior, que es una cifra récord, impulsado por el incremento de la cosecha de la variedad Arábica que habría registrado un volumen ajustado de 103,9 millones de sacos y un 10,4% de incremento respecto al período anterior. En cuanto a la producción 2019/2020 iniciada en octubre de 2019 alcanza una producción global de 169,3 millones de sacos, con una caída de 3% respecto a la 2018/2019 (Romero, 2020).

Con la constante en la especie económicamente más importante, la Coffea arabica la cual produce aproximadamente el 80-90% de la producción mundial; mientras que, la C. canephora cerca del 20% y la C. liberica sobre un 1%. (INFOAGRO, 2020)

Se calcula que en el año cafetero 2019/2020 la producción mundial de café ronda los 168,55 millones de sacos, un 1,6% más baja que la de 2018/19. La producción de Robusta aumentó un 3,2%, a 72,82 millones de sacos, y los mayores aumentos se observaron en Vietnam, Indonesia y Uganda. La producción de Arábica descendió un 5,1%, a 95,73 millones de sacos, dado que los aumentos de la producción de Colombia, Etiopía, Indonesia y México no pudieron compensar los descensos de la producción de Brasil y Honduras. En la figura 1.1, se presenta la producción de café mundial con respecto a las dos clases de café predominantes comercialmente (ICO, 2020)

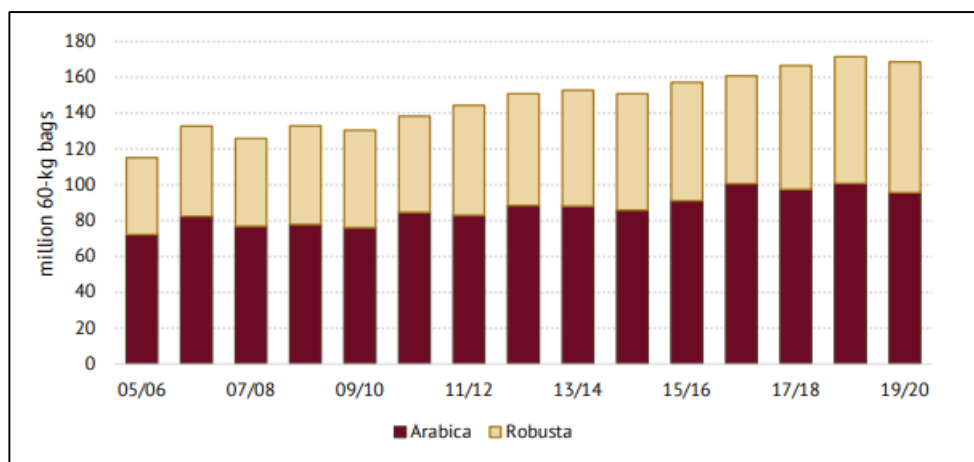


Figura 1.1 Producción de café por año cafetero

Los principales productores de café en cuanto a la producción total se encuentran en la tabla 1.1, mientras que en la tabla 1.2 y tabla 1.3 los países con una cuota mundial considerable en café arábica y café robusto hasta diciembre del año 2019/2020, respectivamente.

Tabla 1.1

Producción total de café (Miles de sacos de 60 kg) (USDA,2019)

PAISES	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Total de café	158,631	174,640	169,330
Brasil	50,900	64,800	58,000
Vietnam	29,300	30,400	32,225
Colombia	13,825	13,870	14,300
Indonesia	10,400	10,600	10,700
Etiopía	7,055	7,250	7,350
Honduras	7,600	7,200	6,500
India	5,266	5,170	5,160
México	4,000	3,800	4,550
Perú	4,375	4,400	4,500
Uganda	4,350	4,800	4,250
Otros países	21,560	22,350	21,795

Tabla 1.2*Producción de café arábica (Miles de sacos de 60 kg) (USDA, 2019)*

PAISES	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Total de café	94,045	103,883	95,765
Brasil	38,500	48,200	39,900
Vietnam	13,825	13,870	14,300
Colombia	7,055	7,250	7,350
Indonesia	7,600	7,200	6,500
Etiopía	4,375	4,400	4,500
Honduras	3,800	3,600	4,350
India	3,600	3,700	3,500
México	2,700	2,600	2,300
Perú	1,925	2,200	2,300
Uganda	1,525	1,300	1,375
Otros países	9,140	8,563	9,390

Tabla 1.3*Producción de café robusta (Miles de sacos de 60 kg) (USDA, 2019)*

PAISES	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Total de café	64,586	70,757	73,565
Brasil	28,274	29,350	31,105
Vietnam	12,400	16,600	18,100
Colombia	9,400	9,400	9,450
Indonesia	3,683	3,700	3,910
Etiopía	3,600	4,000	3,500
Honduras	2,100	2,100	2,000
India	1,250	2,000	1,800
México	700	650	700
Perú	550	600	600
Uganda	450	460	475
Otros países	2,179	1,897	1925

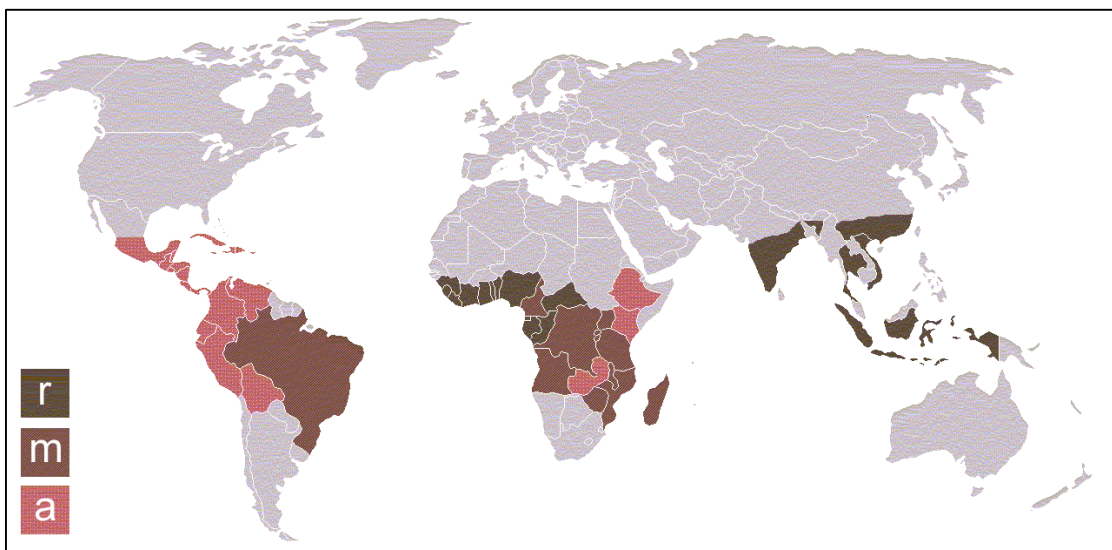


Figura 1.2 Zonas de producción, r: Variedad robusta m: Variedades arábica y robusta a: Variedad arábica (Bedri, 2018)

Los estimados de las tablas dadas por United States Department of Agriculture [USDA], se ajustan a la caída del café arábica en 7,8%, de 103,9 millones de sacos caen a 95,7 millones de sacos entre ambas campañas y la menor producción arábica para esta nueva campaña estaría siendo explicada por el comportamiento de Brasil, principal país productor mundial de café arábica, que le tocaría enfrentar en este año una cosecha baja dentro de su Ciclo Bienal de producción.

En ese sentido, en la campaña 2019/2020 se esperaría una reducción de su producción total de café en 10,5% (las dos especies) y en 17,2% el café arábico, compensado por el aumento de la producción de café robusta (6%). Respecto a las preocupaciones iniciales sobre una profunda caída de la producción de café arábica en el Brasil debido a las heladas del mes de julio en los estados del sur y sureste, estas no han afectado los rendimientos de los cafetos, aunque la calidad y el tamaño del grano fueron inferiores a la media. Otros países cuya producción declinó sensiblemente fueron Guatemala y Honduras (Centroamérica).

Mientras que países como Etiopía, Colombia, Perú y México aumentaron su producción de café arábica. 3 Además de Brasil, otros países que destacan en la producción de café arábica tenemos al segundo productor mundial de café arábica, como es Colombia, que en los estimados para la nueva campaña se prevé que su producción se va recuperar en más de 400

mil sacos, al que le sigue Etiopía y Honduras, a la que se viene sumando el Perú como quinto productor mundial, por encima de México y Guatemala.

Por el lado de la variedad robusta, se esperaría un ajuste al alza en cuanto a su producción al haberse incrementado en un 4%, pasando de 70,7 millones a 73,5 millones de sacos para la campaña 2019/2020, gracias al buen desempeño de Vietnam, Brasil y la India. En cuanto a Vietnam se esperaría un aumento en su producción en 6% explicado por un incremento de sus áreas plantadas, así como un clima favorable. Mientras que Brasil se estima aumente su producción en 9%, debido a las buenas lluvias en el Estado de Espirito Santo y a las buenas prácticas de manejo de cultivos en el estado de Rondonia (Romero, 2020)

1.1.1.1 Consumo mundial

El café es la segunda bebida más consumida en el mundo, sólo por detrás del agua. A continuación, se analizan, los principales países consumidores de café del mundo basándose en el consumo anual por persona de sus habitantes.

Tomando como año base a 2013 de un punto de vista más simple, el mayor consumidor de café del mundo es Finlandia, con casi 12 kg de café al año por persona. Si estimamos aproximadamente 10 gramos por cada taza de café, se tiene que los finlandeses beben de media más de 3 tazas al día. Se encuentra a Noruega, Austria y Dinamarca, con alrededor de 8,75 kg por persona y año (unas 2 tazas y media al día). Llama la atención que un país como Italia, de larga tradición cafetera y famoso por sus cappuccinos, latte macchiatos y otras especialidades se encuentra en la posición número 15, con un consumo aproximado de una taza y media al día por persona (5,7 kg por persona y año). España se encuentra en la posición número 22, con un consumo de 4,6 kg de media por persona y año (algo más de una taza al día por persona). Parece claro que el clima frío de los países al norte de Europa influye directamente en el consumo de esta bebida. (Infocafe, 2020)

En la tabla 1.4, se muestran los 25 mayores consumidores de café del mundo en el año 2013, según la cantidad estimada de café en kilogramos por persona anual y diario.

Tabla 1. 4*Principales consumidores de café del mundo en 2013 (Infocafe.es, 2020)*

Nº	País	kg por persona al año	Tazas de café al día por persona
1	Finlandia	11.9	3.3
2	Noruega	8.8	2.4
3	Austria	8.7	2.4
4	Dinamarca	8.7	2.4
5	Suiza	8.1	2.2
6	Suecia	7.2	2
7	Alemania	6.8	1.9
8	Bélgica	6.6	1.8
9	Líbano	6.3	1.7
10	Bosnia y Herzegovina	6.1	1,7
11	Grecia	6	1.7
12	Brasil	6	1.7
13	Canadá	5.9	1.6
14	Países Bajos	5.8	1.6
15	Italia	5.7	1.6
16	Estonia	5.5	1.5
17	Croacia	5.5	1.5
18	Eslovenia	5.3	1.5
19	Francia	5.3	1.5
20	Portugal	4.9	1.4
21	Chipre	4.7	1.3
22	España	4.6	1.2
23	Estados Unidos	4.4	1.2
24	Macedonia	4.4	1.2
25	Israel	4.4	1.2

De acuerdo a Esguerra y McAllister (2017) los pronósticos que cuanto al consumo viene determinados por variables como el crecimiento de la población, el nivel de ingreso, los precios e incluso del PIB. Los cambios en los precios son una variable determinante, ya que al ser el café un bien normal es posible observación como su consumo se ve afectado por el efecto ingreso y el efecto sustitución. No obstante, estos efectos, en particular, las elasticidades de precio de la demanda e ingreso de la demanda, varían dependiendo de los mercados y de los países de los cuales se ha hablado, dadas las diferencias de la madurez de los mercados y en el comportamiento de los consumidores. En los nuevos mercados, por el contrario, se observan altas elasticidades, y es por la existencia de estos nuevos mercados del consumo mundial que se ha venido observando en los últimos años.

En contraste con lo anterior, se espera que ocurra dos fenómenos en términos generales en el mercado internacional del café. Por una parte, en los países tradicionalmente importantes como Estados Unidos, la Unión Europea y Japón continuaran incrementando demanda por cafés especiales y cafés de alta calidad como los arábigos lavados, estos sin afectar el consumo per cápita de café que tiene un crecimiento muy bajo. Mientras que, por otra parte, en zonas no tradicionales como el Sudeste Asiático, Europa Central, el Medio Oriente y algunos países productores como Brasil se espera que aumente tanto el consumo per cápita como la cantidad de sacos consumidos, pues el efecto ingreso es mucho más alto y se está comenzando a desarrollar la cultura del café. Sin embargo, en este caso lo que aumenta es la demanda por calidades de baja calidad, principalmente por robusta.

La consultora LMC Internacional, con el desarrollo de un modelo para proyectar cual será el crecimiento promedio del consumo de las diferentes regiones hasta el 2020/21 teniendo en cuenta las variables mencionadas anteriormente. Según este modelo el consumo mundial crecerá a una tasa de 2% anual al promedio en el periodo de tiempo comprendido entre 2011/12 y 2020/21 (que es lo que se ha vendido observando en estos primeros años). Sin embargo, se espera que el crecimiento en los países importadores sea menor que el crecimiento en los países productores, de 1.2% y 3% respectivamente. Pormenorizando por regiones, las expectativas auguran para África y Medio Oriente un crecimiento de consumo del 3.5% por año, en Europa Central y del Este del 3.2% y en Asia del 2% liderado por China con un crecimiento anual esperado del 8%. Las estimaciones para Brasil indican un incremento del 3% en todo el periodo, mientras que para Vietnam alcanzan el 7% y para

Indonesia, el 6%. Según las estimaciones del consumo mundial de café, se materializan en la tabla 1.5, en años cultivos y años cafeteros correspondiente según país.

Tabla 1.5

Consumo mundial de café por países de 2016 a 2020, en miles de sacos de 60 kg (ICO, 2020)

	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	CAGR (2016/17 – 019/20)
TOTAL MUNDIAL	158 125	159 913	165 269	164 487	2.2%
África	10 843	9 808	9 890	9 800	-2.0%
Asia y Oceanía	34 395	34 832	35 595	35 276	2.7%
Centroamérica y México	5 173	5 252	5 322	5 294	0.4%
Europa	52 045	53 158	55 741	55 615	1.3%
Norteamérica	29 559	29 941	31 644	31 578	1.6%
Sudamérica	26 111	26 922	27 077	26 924	1.9%
Países exportadores (años de cultivo)	48 488	49 793	50 374	50 115	2.2%
Brasil	21 225	21 997	22 200	22 089	1.6%
Indonesia	4 650	4 750	4 800	4 776	4.0%
Etiopía	3 725	3 750	3 715	3 696	2.0%
Filipinas	3 030	3 180	3 300	3 284	6.5%
México	2 360	2 400	2 450	2 438	0.4%
Vietnam	2 400	2 500	2 700	2 687	6.5%
India	1 440	1 470	1 475	1 468	1.3%
Colombia	1 736	1 793	1 791	1 775	3.4%
Venezuela	1 650	1 600	1 550	1 542	-0.6%
Tailandia	1 350	1 375	1 400	1 393	4.0%
Costa Rica	329	353	365	363	-3.5%
Guatemala	390	395	395	393	1.9%
Madagascar	360	365	375	373	-3.2%
República Dominicana	390	390	390	388	0.6%
Honduras	370	375	375	373	1.7%
El Salvador	292	300	300	299	1.6%

Tabla 1.5

*Consumo mundial de café por países de 2016 a 2020, en miles de sacos de 60 kg
(continuación)*

	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	CAGR (2016/17 - 2019/20)
Perú	250	250	250	249	0.0%
Uganda	240	245	250	249	2.5%
Otros	1 643	1 647	1 631	1 623	0.4%
Países importadores (años cafeteros)	109 637	110 120	114 895	114 372	1.7%
Unión Europea	42 567	44 017	46 129	46 082	1.2%
USA	25 775	26 112	27 759	27 732	2.3%
Japón	7 913	7 750	7 561	7 523	1.1%
Federación Rusa	4 638	4 324	4 506	4 483	4.2%
Canadá	3 783	3 829	3 885	3 846	1.8%
Argelia	2 223	547	555	547	-23.7%
Corea del Sur	2 316	2 371	2 484	2 447	6.3%
Australia	1 847	1 854	1 908	1 879	3.5%
Arabia Saudita	1 430	1 275	1 334	1 314	0.3%
Turquía	1 378	1 376	1 431	1 409	10.9%
Ucrania	1 120	1 252	1 223	1 204	-1.0%
Suiza	1 088	972	1 079	1 074	-1.6%
Noruega	798	729	909	904	0.0%
Sudán	389	605	601	592	-2.9%
Argentina	596	604	582	574	-5.2%
Egipto	555	614	643	633	-1.4%
Sudáfrica	589	638	656	646	6.8%
Moruecos	596	740	741	730	3.1%
Líbano	597	610	656	646	1.6%
Taiwán	713	690	729	718	8.3%
Otros	8 725	9 211	9 525	9 388	4.4%

Los países importadores que forman parte de la ICO son: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, España, Estonia, Eslovaquia, Eslovenia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Japón, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, República Checa, Reino Unido, Suecia, Suiza, Estados Unidos de América y la Comunidad Europea. Donde cinco de sus empresas adquieren casi la mitad de la producción mundial y sus ventas anuales generan beneficios del orden de mil millones de dólares (Bedri, 2018).

1.1.2 Producción de café en El Salvador

El café continúa siendo una actividad de importancia estratégica para la sostenibilidad económica, social y ambiental, a pesar de una pérdida relativa en el impacto dentro de la economía, favorecida por la evolución de El Salvador hacia una de las economías más libres del mundo que ha permitido la reconversión de los sectores productivos (Amaya, 2009).

1.1.2.1 Breve Historia del cultivo del café en El Salvador

El café llegó a este país entre 1800 y 1815. Se empezó a cultivar en las tierras altas de los sistemas montañosos salvadoreños, bajo sombra de árboles de bosque natural, al igual que en su lugar de origen (Etiopía). El primer “boom” de la agroindustria cafetalera del país se produjo 70 años después del inicio del cultivo del café, cuando este sustituyó al añil como principal producto de exportación. En aquella época, el café ya se cultivaba de forma regular en la zona occidental del país, ya que esta área contaba con las mejores condiciones agroecológicas para su desarrollo, además de contar con suficientes asentamientos humanos para cubrir las necesidades de mano de obra (López, 2012).

En 1940, el café representaba ya el 90% del valor total de las exportaciones del país. Entre los años 30 y 40 del siglo XX, la caficultura recibió un decidido apoyo, fomentándose la siembra de nuevas áreas cafetaleras a través de una política crediticia favorable a los caficultores. La modernización de la caficultura se inicia en la década de 1950 y estimulada por altos precios existentes a principios de la misma, los caficultores comenzaron a sustituir la variedad arábica por bournón, un mejor uso de fertilizantes, a manejar la sombra de

cafetales en diferentes formas, a usar nuevos sistemas de poda, a iniciar prácticas anti-erosivas y a elevar la población de arbustos a unos 2,000 cafetos por Manzana

Entre 1950 y 1970 la caficultura salvadoreña fue protagonista de una modernización tecnológica, se introdujeron nuevas variedades, como el bourbon, y se creó el Instituto de Investigación del Café. Resultado de los logros alcanzados en materia de productividad, a mediados de los años 70 El Salvador se convirtió en el quinto productor mundial y cuarto exportador con cosechas cercanas a los 5 millones de quintales (CSC,2020).

La importancia del café de El Salvador ha venido cambiando durante los últimos años. Desde su primera exportación en 1865, el café ha marcado el paso de la actividad económica. De ser la espina dorsal de nuestra economía hacia una fuente de estabilidad social y ahora se ha convertido en el último bastión ecológico. En otras palabras, el café es la divisa ecológica de El Salvador: el producto agrícola que pasó, de ser el recurso vital de nuestra economía, a ser el recurso económico que produce la vida. El cultivo del Café en El Salvador se ha mantenido apegado a sus valores e históricas tradiciones de producción y procesamiento, así como a la adopción de normas, técnicas y tecnologías que lo orienten a obtener una mayor calidad en su producto (Amaya, 2009). Estos factores, junto con dos décadas de estabilidad política, hicieron del país uno de los más productivos en el mundo, gozando de una respetuosa imagen por su calidad. El café de El Salvador, junto al de Guatemala y Honduras, era la pauta para establecer las calidades de otros Suaves, a escala internacional. A estos tres países se les conocía entonces, como los “Tres Jinetes Cafetaleros de Centro América” (López, 2012).

Actualmente el 11% del territorio nacional está cubierto de bosque y el 7% constituido por cafetales y árboles de sombra cultivada y de montaña. Por lo antes expuesto es importante concienciar a la población sobre la importancia del café para el país y el consumo del mismo. A partir del año 2014 se inicia la política de reactivación de la caficultura nacional, por medio de un proceso gradual de renovación del parque cafetalero y otras medidas de soporte al caficultor (CSC, 2020).

1.1.2.2 Producción en El Salvador

En El Salvador hay 165,000 hectáreas dedicadas a la producción de café, cerca del 12% de la tierra cultivable de la nación” (Armas, Cornejo y Murica, 2008). Se estima que al cierre de 2016, “un 11 % del territorio nacional estaba cubierto de bosque y el 7% era constituido por cafetales y árboles de sombra (Linares, 2018).

Chiquillo, Gaitán, y Vargas (2013) afirman que el destino de la producción de café en El Salvador es, y ha sido desde sus inicios, principalmente para la exportación, y en los últimos 10 períodos su cosecha se ha exportado en promedio el 90% del total de lo producido, indicando que la dinámica interna a lo largo de toda la cadena agroproductiva depende y se ve grandemente influenciada por las tendencias y la volatilidad de los precios del mercado internacional; sin embargo y pese a esta dependencia, en la presente investigación la descripción de la dinámica agroproductiva y comercial se centrará en identificar las relaciones e impactos generados en el sector cafetalero nacional, es decir, no se hará énfasis en analizar la dinámica de comercio exterior, pues para ello se tendría que realizar un análisis de actores y dinámicas concebidas en estructuras económicas y sociales ajenas a las del país.

Para efecto de la producción del café como bien de consumo final, se ha estructurado a groso modo en la figura 1.3, un esquema que explica las etapas del proceso productivo del café. La forma de procesar y consumir el grano de café ha sufrido distintos cambios desde sus orígenes y ha estado determinado por acontecimientos pasados. No obstante, hoy existe un proceso de transformación del grano para que éste puede convertirse en un bien de consumo final, y por su misma naturaleza concibe distintas etapas de transformación que llevan al grano a distintos estados, que van desde el grano-uva, grano en pergamino, grano oro y el grano tostado, finalmente es transformado en bebida o consumida según las propias costumbres de cada país que lo importa y consume.

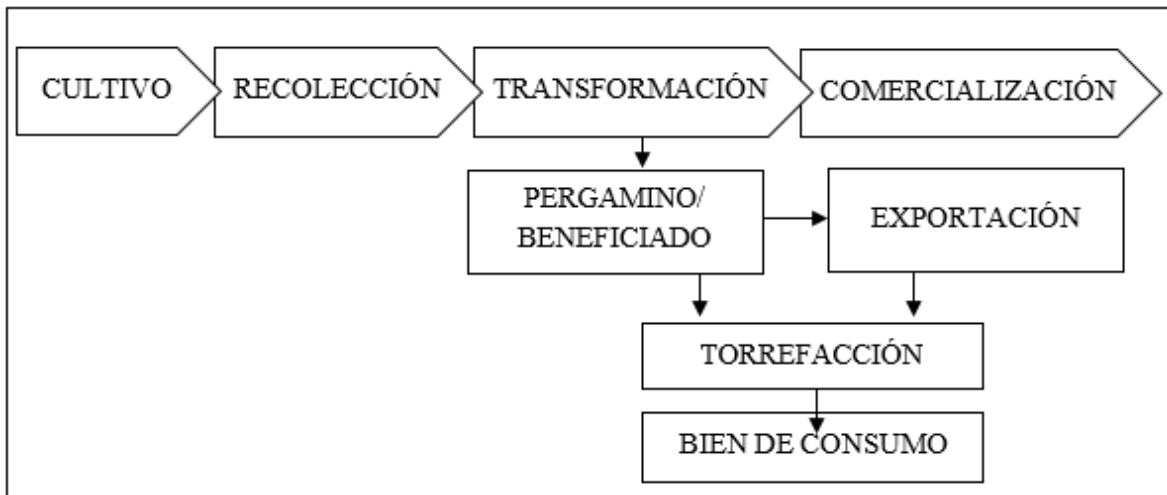


Figura 1.3 Etapa del proceso productivo del café como bien de consumo final (Chiquillo et al., 2013).

Es importante delimitar que el cultivo del café se tiene en 7 de los 14 departamentos del país, la mayor parte de las plantaciones están situadas en el área occidental y central de Santa Ana, Ahuachapán, Sonsonate y La Libertad. También se cultiva algo de café en la zona oriental del país, en los departamentos de San Miguel y Usulután (Armas, Cornejo y Murica, 2008). Específicamente en la actualidad, se definen 6 cordilleras de producción de café de la figura 1.4, las cuales son:

- a) **Alotepec Metapán**, entre Santa Ana y Chalatenango, donde se cultivan unas 2,870 hectáreas de café de variedades pacas, bourbón, pacamara y catimores que se caracterizan por su sabor, acidez y fragancia. Esta cordillera ha logrado un alto grado de posicionamiento en calidad y se compone, en su mayoría, de pequeños productores que procesan el café hasta la fase de pergamino.
- b) **El Bálsamo Quezaltepec**, entre La Libertad, San Salvador y algunos municipios de Sonsonate, se ubica en el centro sur del país y abarca un área cultivada equivalente al 25 % del total del país, en la que hay café bourbon, pacas, pacamara, cuscatleco, acuái y casitic que se caracterizan por su cuerpo, sabor y acidez.
- c) **Apaneca Ilamatepec**, incluye los departamentos de Santa Ana, Sonsonate, Ahuachapán, y abarca al 50 % de los productores y del área total cultivada de café.

En esta zona se cosechan café bourbon, pacas, pacamara, cuscatleco, catuaí, catimores y casitic que tienen un perfil que se caracteriza por su sabor, acidez, cuerpo y fragancia. Es la primera denominación de origen de café salvadoreño, protegida y reconocida en el mercado internacional.

- d) **Chinchontepec**, al centro este del país, en los departamentos de La Paz, San Vicente y Cuscatlán. Se cultivan bourbon, pacas, pacamara, catiscic y cuscatleco, cuyo perfil general se caracteriza por altas notas en cuerpo, sabor y su regusto; es decir, el sabor que queda en la boca después de haberlo probado.
- e) **Tecapa Chinameca**, entre Usulután y San Miguel, abarca el 12 % del total cultivado en el país. En esta zona también se cultiva bourbon, pacas, pacamara, catiscic, cuscatleto y catuaí, en cuyo perfil general predomina su alta fragancia, cuerpo y acidez.
- f) **Cacahuatique**, en los departamentos de San Miguel y Morazán, situados en la parte noreste de El Salvador, en donde se cultiva pacamara, cuscatleto, bourbon, pacas y caturra con un perfil más ácido y con mayor fragancia.



Figura 1.4 Mapa geográfico de producción de café (CSC, 2020)

Tabla 1.6*Historial de la producción del café (CSC, 2020)*

AÑO CAFETERO	PRODUCCIÓN EN QQS ORO UVA
1990/1991	3,537,100.00
1991/1992	3,153,700.00
1992/1993	4,306,200.00
1993/1994	3,403,300.00
1994/1995	3,360,600.00
1995/1996	3,239,100.00
1996/1997	3,305,900.00
1997/1998	3,002,400.00
1998/1999	2,621,900.00
1999/2000	3,712,600.00
2000/2001	2,406,098.00
2001/2002	2,383,076.00
2002/2003	1,963,400.00
2003/2004	1,911,281.00
2004/2005	1,858,020.00
2005/2006	1,935,185.00
2006/2007	1,740,025.00
2007/2008	2,119,810.00
2008/2009	1,985,625.00
2009/2010	1,500,306.00
2010/2011	2,614,000.00
2011/2012	1,624,211.00
2012/2013	1,730,000.00
2013/2014	700,025.00
2014/2015	925,160.00
2015/2016	784,740.00
2016/2017	845,600.00
2017/2018	905,425.00
2018/2019	955,115.00
2019/2020*	705,190.00

Nota: Datos preliminares al 31 de marzo de 2020.

En informes periódicos de estadísticas cafetaleras (Consejo Salvadoreño del Café [CSC], 2020), presenta en la producción de El Salvador desde la década de los 90 en la tabla 1.6 donde se observa la disminución que se ha generado más considerable a partir del año cafetero 2013/14. Mientras que la tabla 1.7, se presenta una aproximación de la producción de El Salvador por meses y años con base a la recepción informada por los beneficiadores de café.

Tabla 1.7

Recepción de café. Informada por los beneficiadores, cosecha 2015/2016 a 2019/2020 (CSC, 2020)

Mes	COSECHAS									
	2015/16		2016/17		2017/18		2018/19		2019/20	
	qq-oro-uva	%	qq-oro-uva	%	qq-oro-uva	%	qq-oro-uva	%	qq-oro-uva	%
Octubre	49,885	6.4	21,580	2.6	24,500	2.7	55,175	5.8	15,865	2.2
Noviembre	278,130	35.4	188,330	22.3	172,910	19.1	296,400	31.0	97,430	13.8
Diciembre	235,845	30.1	311,815	36.9	317,715	35.1	316,150	33.1	238,420	33.8
Enero	125,840	16.0	179,615	21.2	217,835	24.1	163,820	17.2	226,140	32.1
Febrero	48,010	6.1	75,030	8.9	91,360	10.1	61,780	6.5	84,530	12.0
Marzo	20,750	2.6	46,095	5.5	53,210	5.9	36,365	3.8	42,805	6.1
Abril	12,620	1.6	12,545	1.5	12,620	1.4	10,445	1.1		0.0
Mayo y siguientes	13,660	1.7	10,590	1.3	15,275	1.7	14,980	1.6		0.0
Recepción Comparativa	784,740	100	845,600	100	905,425	100	955,115	100	750,190	100

Nota: Datos preliminares al 31 de marzo de 2020

La cosecha 2019-2020 según reportes de los beneficios de café es 24% inferior a lo registrado en la cosecha 2018-2019 a la misma fecha que fue de 929,690 qq-oro uva, apreciándose en el gráfico de la figura 1.5.

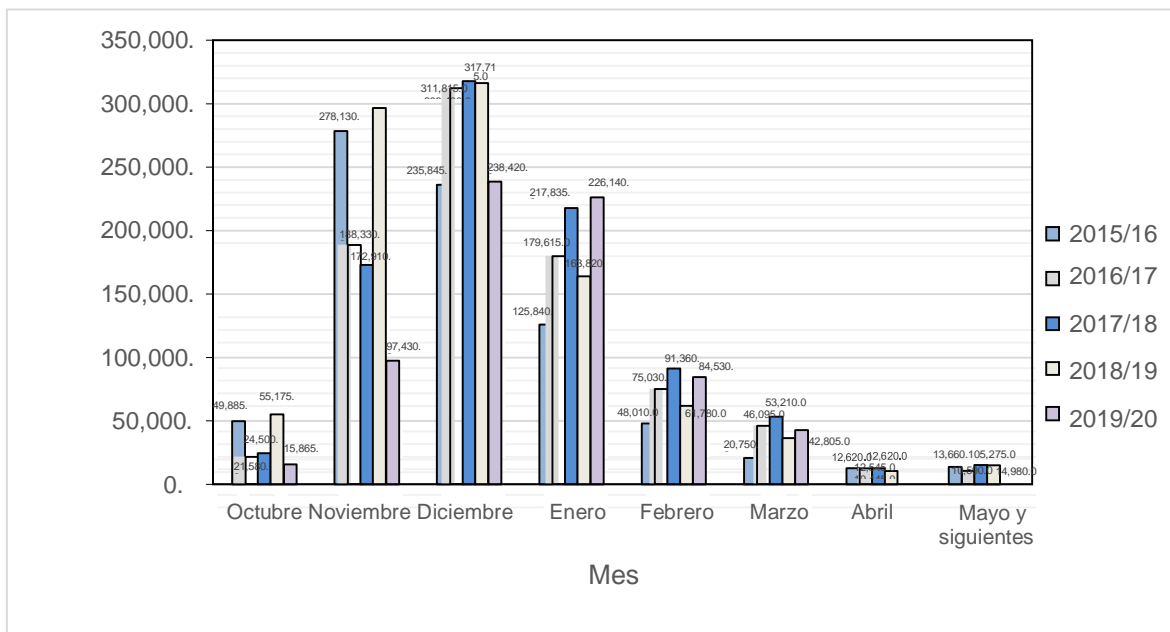


Figura 1.5 Gráfica de la recepción de café. Informada por los beneficiadores, cosecha 2015/16 a 2019/20 (CSC, 2020)

1.1.2.3 Consumo en El Salvador

El Salvador sólo consume el 15 % del café cultivado en el país, mientras que el resto de producción es exportada a Europa o Asia. En la cosecha 2015/2016, el mercado salvadoreño consumió 170,000 quintales de café importados más que los producidos por caficultores locales. Llegando a una afirmación usual que los países productores de café consuman más el producto importado que el local. El consumo en los países productores (de su mismo producto) anda en el mejor de los casos en Brasil en el 33%. La mayor parte de países centroamericanos andan en promedio del 10% al 15% de consumo de su propia producción (E&M, 2017). Con datos de hasta 2016, “se estima que el consumo per cápita anual es de 2.7 kg, es decir que el salvadoreño toma 2.7 kg de café al año” (CSC, 2016). En el balance cafetalero nacional del CSC, reporta que de la cosecha 2018-2019, el mercado salvadoreño consumió internamente 305,000 en cifras de sacos de 60 kg café. De ellos, 90,000 corresponden a la producción nacional, y 215,000 es de importación de la tabla 1.8. Se nota que desde 2015/16 el crecimiento tanto del consumo local es mínimos. En la tabla 1.9 se muestra el mismo balance en cifra de qq oro.

Tabla 1.8*Balance cafetalero nacional 2015/16 a 2018/19 (en miles de sacco de 60 kg) (CSC, 2020)*

Variable	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19
Existencia inicial	10.7	10.1	21.9	13.7
Producción Total	565.0	610.0	660.0	680.0
Consumo Interno	285.0	292.0	298.0	305.0
- De producción nacional	80.0	85.0	85.0	90.0
- De importaciones	205.0	207.0	213.0	215.0
Producción Exportable	485.0	525.0	575.0	590.0
Exportación Total	485.7	513.1	583.0	571.2
- Café Verde	484.6	511.9	582.2	570.1
- Café Elaborado	1.0	1.3	1.0	1.1
Existencia final	10.1	21.9	13.7	32.5

Tabla 1.9*Balance cafetalero nacional 2015/16 a 2018/19 (cifra en miles de qq oro) (CSC, 2020)*

Variable	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19
Existencia inicial	14.0	13.1	28.6	17.8
Producción Total	737.0	795.7	860.9	884.0
Consumo Interno	371.7	380.9	388.7	397.8
- De producción nacional	104.3	110.9	110.9	117.4
- De importaciones	267.4	270.0	277.8	280.4
Producción Exportable	632.6	684.8	750.0	766.6
Exportación Total	633.5	669.3	760.0	745.0
- Café Verde	632.1	667.7	759.4	743.6
- Café Elaborado	1.4	1.6	1.3	1.4
Existencia final	131	28.6	17.8	39.4

Correspondiente a la demanda dada en el consumo de café de la industria extranjera en El Salvador, que posee más del $\frac{3}{4}$ partes del consumo nacional, en la tabla 1.10 presenta un histórico de importaciones de café en función del tipo de café disponible.

Tabla 1.10*Importaciones de café en El Salvador de 1995 a 2019 (cifras en qq-oro) (CSC, 2020)*

Año	Oro	Tostado	Soluble	Total
1995	99.49	25,520.99	7,054.67	32,675.15
1996	206.31	8,286.85	20,455.93	28,949.09
1997	249.58	1,873.90	25,871.43	27,994.91
1988	1,108.56	2,270.71	36,438.35	40,267.62
1999	905.51	1,531.02	29,989.44	32,425.97
2000	11,540.83	1,667.77	35,185.66	48,394.26
2001	8,111.70	3,968.09	37,372.16	49,451.95
2002	1,207.47	4,675.68	49,589.58	55,472.44
2003	8,141.85	8,575.24	153,535.35	170,252.44
2004	14,490.25	12,618.39	153,202.02	180,310.66
2005	7,642.37	14,360.09	158,670.41	180,672.87
2006	11,099.54	32,636.14	176,670.15	220,405.83
2007	1,661.33	20,042.07	232,133.20	253,836.60
2008	4,190.90	18,396.43	236,822.63	259,409.96
2009	136.72	14,883.12	203,662.80	218,682.64
2010	15,202.46	16,800.20	219,532.70	251,535.36
2011	552.03	18,929.84	241,073.58	260,555.45
2012	608.61	16,968.67	214,902.37	232,479.65
2013	545.62	14,772.26	230,468.69	245,786.57
2014	121.90	18,038.67	247,978.87	266,136.44
2015	11,437.80	17,957.55	229,854.26	259,249.61
2016	25,753.95	19,265.51	260,894.48	305,913.94
2017	28.83	12,643.53	263,798.36	276,470.72
2018	4,093.60	12,613.99	266,652.73	283,401.36
2019	3,097.40	7,377.38	196,293.46	206,768.24

Nota: Datos al 31 de agosto 2019

1.1.3 Proceso de beneficiado de café en El Salvador

Antes de entrar en detalles del proceso del beneficiado es necesario definir un esquema estructurado que sirva para distinguir los actores que participan en el sistema de producción cafetalero, dado en la figura 1.6. En El Salvador se destina principalmente para la exportación, en este proceso el café recorre diferentes fases antes de llegar al consumidor.

Chiquillo et al., (2013) consideran que el proceso se divide principalmente en dos fases, observándose que cada eslabón de la cadena genera diversos productos que son insumos para iniciar el proceso del eslabón siguiente. La cadena agroproductiva y comercial del café permite apreciar a detalle el proceso productivo que se genera, constituyéndola en la fase dinámica productiva y la dinámica de transformación y comercialización. En el anexo I se esquematiza la cadena agroproductiva del café generalizada.

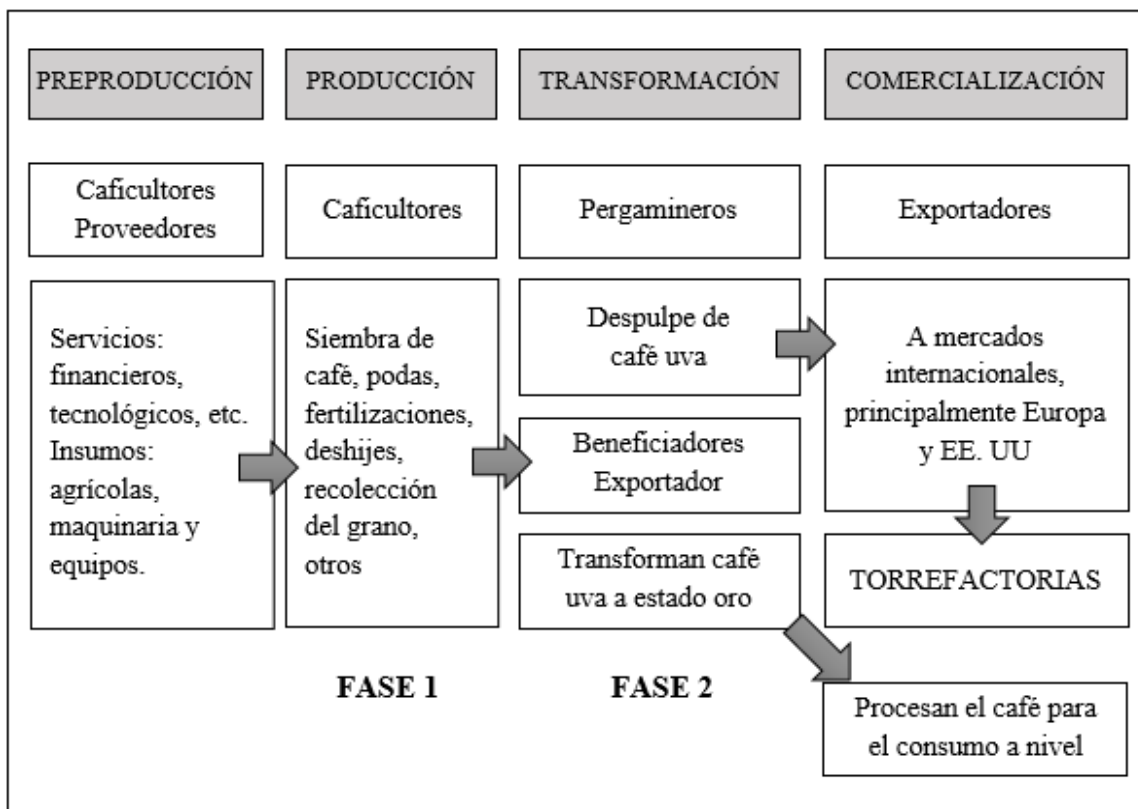


Figura 1.6 Cadena agroproductora del cultivo de café en El Salvador (Chiquillo, Gaitán y Vargas, 2013)

En la primera fase de la cadena agroproductiva del café, se identifican los eslabones de preproducción y producción, por ser las dos etapas previas al proceso de transformación (el estado del grano al finalizar esta denominada fase 1, es en uva). En el eslabón de preproducción del café, se desarrolla toda la gama de actividades y servicios que anteceden al cultivo para el desarrollo de la etapa de producción. Por lo tanto, en esta fase se reconoce a los caficultores como los actores de la producción, quienes en la etapa previa obtienen insumos y servicios de proveedores.

En el proceso de preproducción pueden identificarse todas las actividades destinadas a la siembra de la planta de café, entre las que se tiene la preparación del terreno, trazado, ahoyado y finalmente siembra, hasta la etapa de generación del grano uva termina un proceso dentro del esquema en el cual se da una primera etapa de comercialización, que si bien el grano de café no se encuentra en el estado en el cual es dirigido al consumidor final, hasta este punto los pequeños y medianos productores nacionales pueden ser protagonistas y parte de la cadena agroproductiva, pues se ven completamente ajenos en los siguientes procesos de transformación y comercialización del grano, de esta forma terminando la fase 1.

En la transformación corresponde a la etapa de pergaminado y/o beneficiado del grano en pergamino y grano de oro, finalmente el grano tostado obtenido en la etapa de torrefacción, es transformado en bebida o consumido según las propias costumbres de cada país que lo importa y consume.

Contando en cadena agroproductiva con los siguientes actores o eslabones:

- a) Proveedores de insumos o servicios
- b) Caficultores o Productores de café
- c) Procesadores, Pergamineros o Beneficiadores
- d) Exportadores, Torrefactores nacionales
- e) Compradores, Torrefactores internacionales o importadores.

Según Garza, (2012) existen 15,300 pequeños productores (hasta 25 mz), 856 medianos productores (25.1 a 50 mz) y 839 grandes productores (50.1 mz, con un porcentaje de aporte a la producción nacional de 65.2%, 13.4% y 65.2% respectivamente.

De datos del CSC para el 2012, los procesadores se ubican en un estimado en El Salvador de 102 beneficios registrados, aunque solo se encuentran trabajando 82 beneficios de café que llevan el café hasta transformarlo en oro (beneficiadores). La capacidad instalada de ellos es variable; se encuentran desde una capacidad de procesamiento de 1,500 y más de 250,000 quintales oro. Una cantidad considerable de ellos, no hace uso de la totalidad de su capacidad instalada y tienen integrado el proceso húmedo, seco (patios de secado o secadoras mecánicas) y almacenamiento. Otros también son torrefactores y comercializan café tostado y molido con su respectiva marca en el interior del país. En los últimos años ha habido un auge en la utilización de pequeños beneficios ecológicos por ciertos productores individuales, producto de su propio esfuerzo y/o por la intervención de otras iniciativas gubernamentales o privadas, por ejemplo, a través de: FOMILENIO, TechnoServe, PREMODER, PRODEMOR CENTRO, y otros.

La mayor concentración de beneficios se encuentra en la Región Occidental de nuestro país (Ahuachapán, Santa Ana y Sonsonate); le sigue en su orden la Región Central (La Libertad, La Paz, San Vicente y Chalatenango), donde el departamento de La Libertad es el que más beneficios posee tanto en la Región, como a nivel nacional. Se encuentran registrados 318 beneficios de café pergamino (pergamineros) y se estima que hay una cantidad adicional que aún no se registran. (Garza, 2012)

El Diagnóstico de la Caficultura de El Salvador realizado por PROCAFE en 2009, los caficultores utilizan mayoritariamente en un 97% las variedades Bourbon y Pacas y la edad de las plantas oscila entre 31 y 38 años. Las otras variedades que se cultivan en su orden son: Pacamara, Catisic, Arábigo, Catuai, Caturra; las edades van de los 23 hasta 42 años (Arábigo). Como resultado de lo anterior, se muestra que la edad promedio de los cafetales es de 36 años. Se muestra en la figura 1.7, la distribución de variedades por manzanas de cultivo.

Las variedades de café más cultivadas en el bosque cafetalero nacional continúan siendo la variedad Bourbon que ocupa en promedio el 63% de las fincas y la variedad Pacas con el 34%; en conjunto cubren el 97% de las 217,628 manzanas que conforman el parque cafetalero y tienen una edad promedio que supera fácilmente los 36 años; evidenciando que los cafetales están envejecidos y que no se ha tratado de explotar ni de cultivar otras

variedades que son altamente productivas, resistentes a plagas y con buenas cualidades en la taza; principalmente en las zonas de media altura y bajío (Garza, 2012).

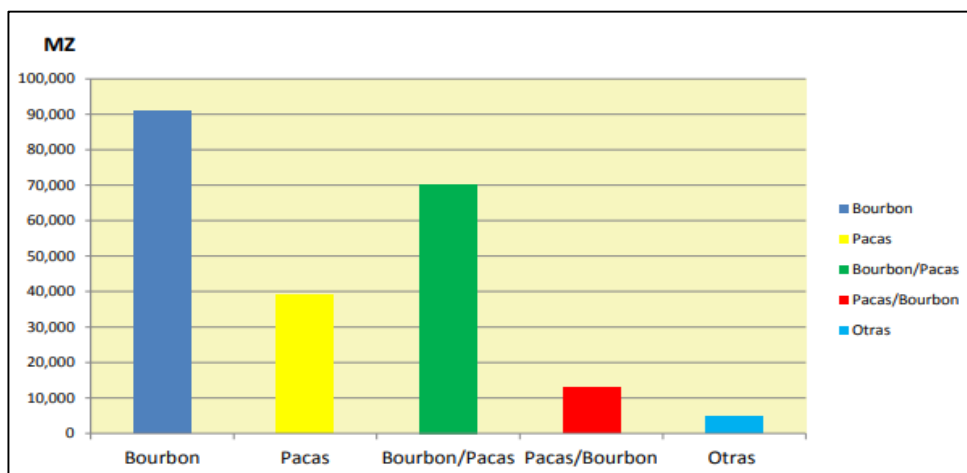


Figura 1.7 Distribución de variedades en el área cafetalera del país (mz) (Garza, 2012)

1.1.3.1 Descripción del Procesamiento del café en los beneficios.

El objetivo del procesamiento del café en los beneficios es quitar los granos de café del fruto (café uva o café cereza) y secarlos para poder tostarlos, cuando se termina ese proceso, el grano de café sin tostar se le llama café oro, café verde, café oro verde, almendra o café crudo (listo para su exportación o torrefacción), estos procesos, además, generan residuos importantes, que hasta en la actualidad se siguen aprovechando de manera estandarizadas o alternativas expuestas en el anexo 1. Para producir el café oro verde existen dos métodos, por vía humedad y por vía seca resumidos en los esquemas de la figura 1.8 y figura 1.9. El resultado de llevar al café en diferentes estados por el recorrido por los beneficios, se presenta en la tabla 1.13. A continuación los procesos que intervienen en los procesos productivos del café oro y la torrefacción del mismo.

I. MÉTODO POR VÍA HUMEDAD (para café suave o lavado)

Este proceso comprende las operaciones de Despulpado, Fermentación o Desmucilaginado, Lavado y Secado. Su resultado es la transformación del café uva o cereza a café pergamino.

Requiere del uso de grandes cantidades de agua, razón por la cual se ha denominado húmedo. Las aguas tienen los siguientes usos:

- a) Transporte de la pila de recepción al sifón clasificador
- b) Movilización del fruto del sifón clasificador a pulperos
- c) Desechar la pulpa
- d) Transporte del grano hacia las pilas de fermentación
- e) Lavado del café fermentado para retirar el mucílago
- f) Separación de flores, piedras, clasificación del grano

Del total del agua involucrada en el proceso húmedo para beneficiar el fruto del café, un 30% es utilizada en arrastre y despulpado del fruto y el resto es usado en la operación del lavado del café fermentado. Las denominadas agua mieles, que poseen un color pardo rojizo y contiene la mayor parte de sustancias solubles de la pulpa y el mucílago. Son generalmente evacuadas por la adición de una corriente de agua limpia, que se incorpora al proceso, una vez que el desecho ha alcanzado una densidad que no permite mayor uso (L. Escobar, L.A. Escobar y Reyes, 2007).

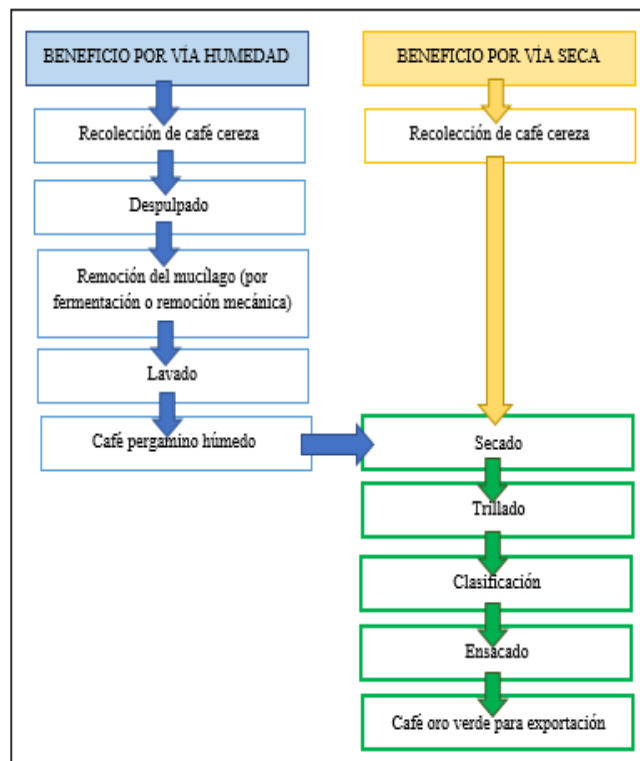


Figura 1.8 Procesos de beneficios utilizados para obtener café oro verde

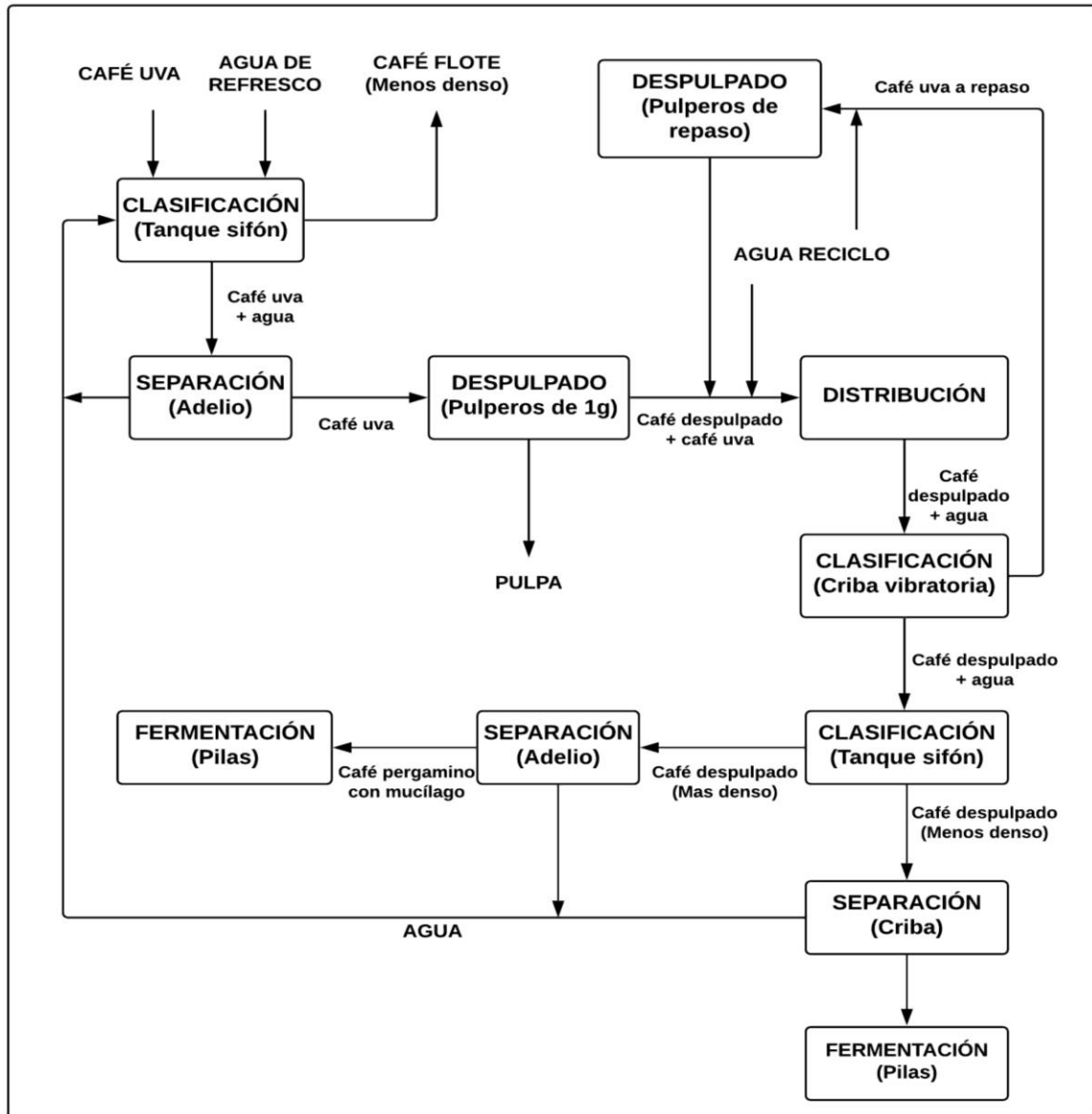


Figura 1.9 Diagrama de flujo de las operaciones de recibo, clasificación inicial, despulpado y fermentado/desmucilaginado (Rico, 2017)

Aunque el café se haya recolectado con cuidado, entre las cerezas maduras se encontrarán algunas cerezas que no estén maduras o no del todo secas, y también algunas piedras y tierra, en general hay que hacer una separación y limpieza preliminar de las cerezas, que deberá tener lugar lo más pronto posible después de la recolección, como, por ejemplo, las pilas de La figura 1.10. Esa operación puede hacerse lavando las cerezas en tanques repletos de agua. Pueden usarse también cribas para separar mejor las cerezas maduras de las que no lo están y las grandes de las pequeñas.

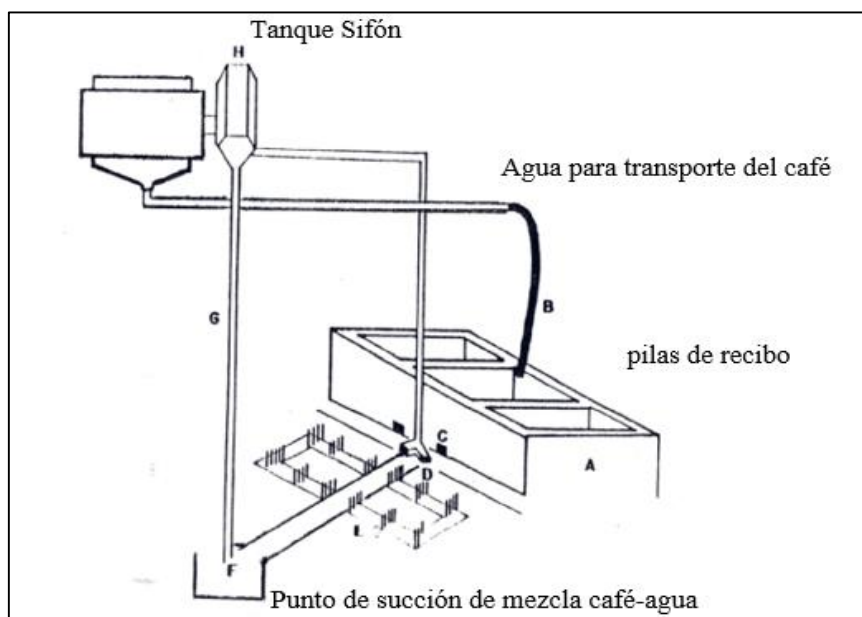


Figura 1.10 Diagrama de las pilas de recibo de café uva y alimentación al tanque sifón. (ICO, 2020)



El método de vía húmeda se usa en general para todos los cafés Arábica, a excepción de lo que se producen en el Brasil y algunos países productores de Arábica que usan el método de vía seca. Se usa rara vez para los Robustas. (ICO, 2020)

El procesado del café natural por vía húmeda ayuda a reducir y endulzar las notas intensas de fruta y amargura que son a menudo la característica más básica de la infusión de robusta. El proceso por vía húmeda ayuda a desarrollar en la bebida «notas suaves untuosas», al contrario de las notas densas «robustas» que se observan en la bebida normal de robusta. En algunos mercados de importación, los robusta de calidad, lavados, han sustituido un porcentaje de arábico lavado en las mezclas de cafés. Estos robustas no sólo proporcionan la espuma y las burbujas tan buscadas en el expés, sino que han contribuido también a reducir el precio de estas mezclas. Los granos de robusta con notas intensas pero limpias de fortaleza y sabor a fruta (pero sin fermentar, es decir dando una infusión neutral) también disfrutan de una aceptación fácil en la elaboración del café soluble (Rey, 2020).

A continuación, un resumen en la tabla 1.11 de las etapas correspondiente al método por vía humedad del procesamiento del café hasta su estado de café oro.

Tabla 1.11



Procesamiento del grano de café por vía húmeda

ETAPA	VIA HUMEDAD	
DESMUCILAGINADO	<p>DESCRIPCIÓN: Debido a que el despulpe se hace por medios mecánicos, quedan residuo de carne del fruto y también el mucílago viscoso que se adhiere al pergamino que recubre los granos. Eso tiene que quitarse por completo para evitar que los granos del café se contaminen con productos resultantes de la degradación de las sustancias mucilaginosas. Para ello existen los métodos de: Fermentación, Ayudas químicas, Ayudas enzimáticas, Sistema mecánico y combinaciones varias.</p> <p>El más utilizado es la fermentación, donde los granos que acaban de ser despulpados se colocan en grandes tanques de fermentación en los que las sustancias mucilaginosas se descomponen bajo la influencia de enzimas naturales hasta que puedan dispersarse y se los lleve el agua. (ICO, 2020).</p>	 <p>Tanques de fermentación</p>
	<p>PROCESO: La eliminación de las sustancias mucilaginosas lleva entre 24 y 36 horas, dependiendo de la temperatura, el grosor de la capa mucilaginosa y la concentración de los enzimas. Hay que someter a juicio cuándo termina la fermentación (evitando la sobrefermentado que baja la calidad del café), que es cuando el pergamino que recubre el grano pierde la textura mucosa y adquiere un tacto más áspero, de “guijarro”.</p> <p>(ICO, 2020). En el proceso cambian las propiedades del mucílago de Hidrogel a Hidrosol. Se asume una digestión enzimática del mucílago por actividad hidrolítica, con posible producción de ácido láctico, con la liberación de calor resultado de reacciones exotérmicas en el consumo de azúcares del mucílago por lo mismos microorganismos. (Rico, 2017).</p>	 <p>Grano de café fermentado</p>

Continúa.

Tabla 1.11



Procesamiento del grano de café por vía húmeda (continuación)

ETAPA	VIA HUMEDAD	
<u>DESPULPADO</u>	<p>DESCRIPCIÓN: Esa operación es la principal diferencia entre los dos métodos, dado que en el método por vía húmeda la pulpa del fruto se separa del grano antes de ponerlo a secar. El despulpe lo hace una máquina que aprieta las cerezas entre planchas fijas y movibles. La carne y la piel del fruto quedan a un lado y los granos, recubiertos de pergamino mucilaginoso, al otro. La operación de despulpado deberá hacerse lo más pronto posible después de la recolección para evitar que el fruto se deteriore, lo que podría afectar a la calidad del grano. (ICO, 2020)</p>	 <p>Despulpadora de café a escala artesanal</p>
	<p>PROCESO: Los granos despulpados pasan a cribas vibradoras que los separan de las cerezas que hayan quedado sin despulpar o que lo hayan sido de forma imperfecta, así como de los pedazos grandes de pulpa que puedan haber pasado con ellas. Se clasifica y termina de separar la pulpa, utilizando una combinación de criba giratoria, tanque sifón y adelio, con consumo de agua de 0.98 gal/qq café uva. (Rico, 2017). Los granos separados despulpados se pasan por canales en los que se lavan con agua y se separan otra vez poniéndolos a flotar antes de que pasen a la siguiente etapa.</p>	 <p>Cribas separadoras de pulpa y grano</p>

Continúa.

Tabla 1.11



Procesamiento del grano de café por vía húmeda (continuación)

ETAPA	VIA HÚMEDA	
LAVADO Y SECADO	<p>DESCRIPCIÓN: Cuando termina la fermentación, se lava el café a fondo con agua limpia en tanques o en lavadoras especiales. El café pergamino lavado tiene en esta etapa un 57% de humedad aproximadamente. Para hacer que disminuya la humedad hasta el nivel máximo del 12,5% se seca el café pergamino o bien al sol, o en una secadora mecánica o combinando los dos métodos</p>	
	<p>PROCESO: El secado al sol se hace en superficies grandes y lisas de ladrillo o de cemento que se llaman patios, o en mesas de alambre de malla fina. Se extienden los granos en capas de entre 2cm y 10cm, y se les da vuelta con frecuencia para conseguir un secado uniforme, debería llevar de 8 a 10 días, según la temperatura y la humedad del ambiente. Poner el café encima de mesas ayuda a que seque con más rapidez debido a la corriente de aire caliente que sube de ese modo. El uso de máquinas de secar con aire caliente se hace necesario a veces para acelerar el proceso. Tomando en cuenta un presecado en patios durante 2 o 3 días, que reduce la humedad a un 35%. En grandes cafetales en los que en plena época de cosecha puede que haya mucho más café del que pueda secarse con eficacia en las terrazas, se hace necesario usar máquinas de secar con aire caliente. No obstante, el proceso requiere mucho cuidado para lograr un secado satisfactorio y económico sin que se dañe la calidad (ICO, 2020).</p>	<p>Con el secado mecánico, el café pergamino se mantiene alrededor de 36 horas en secadoras donde alcanza una humedad óptima de 12%.</p>  <p>El café pergamino también se puede secar en patios, permaneciendo un promedio de 10 días.</p>

Continúa.

Tabla 1.11

Procesamiento del grano de café por vía húmeda (continuación)

ETAPA	VIA HUMEDAD	
TRILLADO Y CLASIFICACIÓN	<p>DESCRIPCIÓN: El trillado o curado que consiste en el descascarado o pelado de la cubierta del grano, eliminando por pulimentos las cascaras plateadas (el pergamino o cascarilla) llevándolo a su fase oro verde, listo para tostarlo, molerlo y finalmente consumirlo (López , 2013). Esta operación se hace en máquinas llamadas trilladoras o descascaradora. Mientras que, la clasificación del grano consiste en separar convenientemente los tipos, teniendo en cuenta la calidad, forma, tamaño y exigencias del mercado exterior del grano.</p>	 <p>Trilladora mecánica de café</p>
	<p>PROCESO: Antes de la trilla se realiza la limpieza del grano, librándolo de objetos duros e impurezas que puedan dañar la máquina y/o la calidad del producto. Hay varios tipos de máquinas trilladoras que varían según la fábrica que la construye y se escoge de acuerdo con las necesidades del beneficio. Después de la trilla se lleva a la clasificación, que consiste de un cilindro de malla y de cribas de acero perforadas, para obtener la separación del grano por tamaño y forma. En complemento se encuentra la maquina catadora que consiste en un separador neumático que, aprovechando los diferentes pesos de las varias clases de café, los separa en varios tipos, que son muy aceptables para dejarlos definitivamente clasificados. Se perfecciona haciendo una escogida a mano en una banda sin fin (Cenicafe, 2013).</p>	 <p>Clasificadora volumétrica (por forma) y densimétrica (por peso)</p>


II. MÉTODO POR VÍA SECA (para café fuerte)

El método por vía seca (también llamado el método natural) es el más antiguo y el más sencillo y requiere poca maquinaria. Es el proceso de secado y trillado del fruto del cafeto o café, este sistema no requiere de uso de aguas en ninguna de sus operaciones

Su propósito es secar la cereza entera. Hay variaciones en cuanto a cómo se lleve a cabo el proceso, dependiendo del tamaño del cafetal, las instalaciones de que se disponga y la calidad final que se desee. A continuación, en la tabla 1.12 se describen las tres etapas básicas de limpieza, secado y descascarillado.

Tabla 1.12



Procesamiento del grano de café por vía seca

ETAPAS	LIMPIEZA	
	<p>DESCRIPCIÓN / PROCESO: Primero, las cerezas que se hayan recolectado se clasifican y limpian, para separar las cerezas que no están maduras de las que están demasiado maduras y de las que están dañadas, y para quitar la suciedad, la tierra, las ramas y las hojas. Eso puede hacerse, por lo general a mano o usando una criba grande. Las cerezas que no se quieran o cualquier otra materia que no pueda aventarse, podrá recogerse de la parte de arriba de la criba. Las cerezas maduras pueden también separarse poniéndolas a flotar en canales de lavado cerca de las superficies de secado</p>	
	SECADO	<p>DESCRIPCIÓN / PROCESO: Las cerezas de café se extienden al sol, o bien en patios grandes de cemento o ladrillo, o en esteras alzadas hasta la altura de la cintura sobre caballetes.</p>

Continúa.

Tabla 1.12

Procesamiento del grano de café por vía seca (continuación)

ETAPAS	SECADO	
	<p>A medida que las cerezas secan, se rastrillan o se da vuelta a mano para secar por igual. Puede llevar hasta cuatro semanas secar las cerezas al nivel máximo de un contenido de humedad del 12,5%, dependiendo de las condiciones atmosféricas. En los cafetales más grandes se hace a veces el secado a máquina para acelerar el proceso después de que se haya secado antes el café al sol durante unos cuantos días.</p> <p>La operación de secado es la etapa más importante del proceso, puesto que afecta a la calidad final del café verde. Un café que haya secado demasiado se volverá quebradizo y dará demasiados granos quebrados durante la criba (los granos quebrados se consideran defectuosos). Un café que no haya secado lo suficiente tendrá demasiada humedad y será proclive a un rápido deterioro ocasionado por hongos y bacterias</p>	
	DESCASCARILLADO Y CLASIFICACIÓN	
	<p>DESCRIPCIÓN / PROCESO: Las cerezas secas se almacenan a granel en silos especiales hasta que se envían al molino, donde se criban, se separan, se clasifican y se meten en sacos. La descascaradora quita de una vez todas las capas exteriores de la cereza seca. De la trilla o descascarillado el café oro pasa a tres tipos de clasificación: neumática (catadoras del viento) que permite separar basura, granos partidos o de menor peso; volumétrica (monitor de zarandas) que separa los granos por tamaño (zaranda 15/64, 16/64, 17/64 y 18/64 de pulgada) y gravimétrica (Oliver) que es la última clasificación y separa por densidad (ICO, 2020).</p>	

Secado de café cereza en patios.

Criba para el descascarillado del café uva secado

El método de vía seca se usa para el 90% aproximadamente del café Arábica que se produce en el Brasil, para la mayoría del café que se produce en Etiopía, Haití y Paraguay, y también para algunos Arábicas que se producen en la India y en Ecuador. Casi todos los Robustas se benefician con ese método, que no es práctico en zonas muy lluviosas, en las que la humedad atmosférica es demasiado elevada o en las que llueve con frecuencia durante la cosecha.

Para ambos métodos, el almacenamiento del café tiene como propósitos: el acopio de café pergamino o cereza previo a la trilla, la cual se planifica de acuerdo a las proyecciones de venta. En esta etapa se debe tener los siguientes cuidados:

- a. Controlar temperatura (18-20 °C), humedad relativa (60-65%) y circulación de aire, esto último es mucho más importante cuando se almacena en trojas de madera.
- b. Usar tarimas de madera cuando se almacena en sacos y estibarlos por partida.
- c. Identificarlo según fecha de ingreso al beneficio y de acuerdo a los resultados de catación.
- d. Supervisión y muestreos de partidas para detectar broca del fruto del cafeto, otros insectos u hongos (Armas, Cornejo y Murica, 2008).

Tabla 1.13

Peso en quintales de los diferentes estados de café que caben por metro cúbico (Armas, Cornejo y Murica, 2008).

Estado del café	Uva fresca	Despulpado	Pergamino lavado	Pergamino al 12% humedad	Café oro al 12% humedad	Pulpa fresca
Cantidad qq/m ³	13.5	18.5	14.6	8.2	15.0	5.5

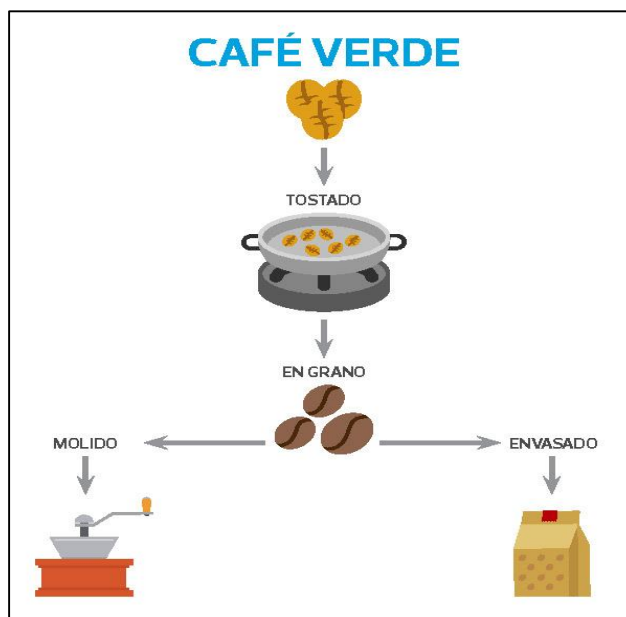


Figura 1.11 Tostado y envasado de café oro verde (OCU, 2020)

III. TORREFACCIÓN

En el país se comercializan tres tipos de productos finales del café: café soluble, café tostado/molido o bebidas preparadas. Las características estratégicas de mercadeo de las empresas y de los productos que se ofertan son diversas, dependiendo del segmento al que son orientadas. En el mercado existen 45 tostadores de café registrados en el CSC, entre pequeñas, medianas y grandes empresas; que tuestan y venden el café en diferentes presentaciones dentro y fuera del país. Entre las empresas torrefactoras nacionales más reconocidas en el mercado están: Quality Grains S.A. de C.V., Planta de Torrefacción de Café V (Plantosa), Comercial Exportadora (COEX), Sociedad Cooperativa de Cafetaleros de San José La Majada de R.L., Sociedad Cooperativa Cuzcachapa de R.L., Sociedad Cooperativa de Cafetaleros de Ciudad Barrios de R.L., entre otras (Garza, 2012).

El grano de café verde no tiene olor ni sabor y no es más que una pálida y verde sombra del futuro que le espera en forma de grano marrón oscuro. Todo el aroma y el sabor que disfrutamos en el café se crea al tostar el grano. Los granos verdes de café se calientan de 8 a 15 minutos a una temperatura de entre 180°C y 240°C, según el grado de tueste que se quiera. Cuanto más se tuesta el café, más oscuro es su color.

Al tostarlo tiene lugar una reacción química: el almidón se convierte en azúcar, las proteínas se descomponen y toda la estructura celular del grano se altera. El proceso de calentamiento hace que se desprenda el aceite del café, o lo que se llama "cafeol", que es la esencia del café. Esa esencia del café es lo que gozamos en la taza. Es también volátil y soluble en agua, por lo que, una vez que el grano de café ha sido tostado hasta que se pone oscuro, el sabor puede verse dañado por la humedad, la luz y, en especial, por el oxígeno. El tueste tiene una parte de arte, una de ciencia, y varias de juicio. En cantidades industriales, el proceso es cuidadosamente controlado, pero, en cantidades más pequeñas, el juicio lo es todo. Cuanto más alto el grado de tueste, más uniforme será el sabor resultante.

El café puede estar muy tostado, medianamente tostado o poco tostado, y se usan algunos otros términos de definición del grado de tueste, tales como el de europeo en los Estados Unidos. Algunos granos son más apropiados para ciertos tuestes. Un grano etíope ligero perdería su carácter si estuviese muy tostado, mientras que para algunos granos mexicanos puede ser beneficioso estar muy tostados (ICO, 2020).

En la figura 1.12 y figura 1.13 se muestra el proceso de crudo a café tostado y café molido de este a empacado y puesto en salas de ventas e ilustrado en esencia en la figura 1.11.

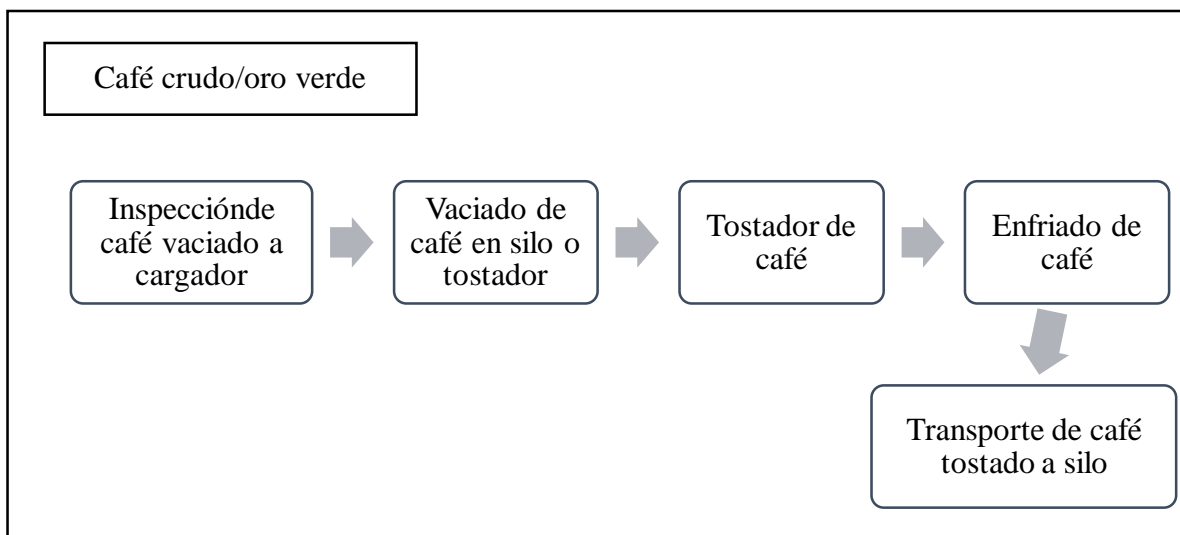


Figura 1.12 Diagrama de operaciones en el proceso de Tostado de café (Garza, 2012)

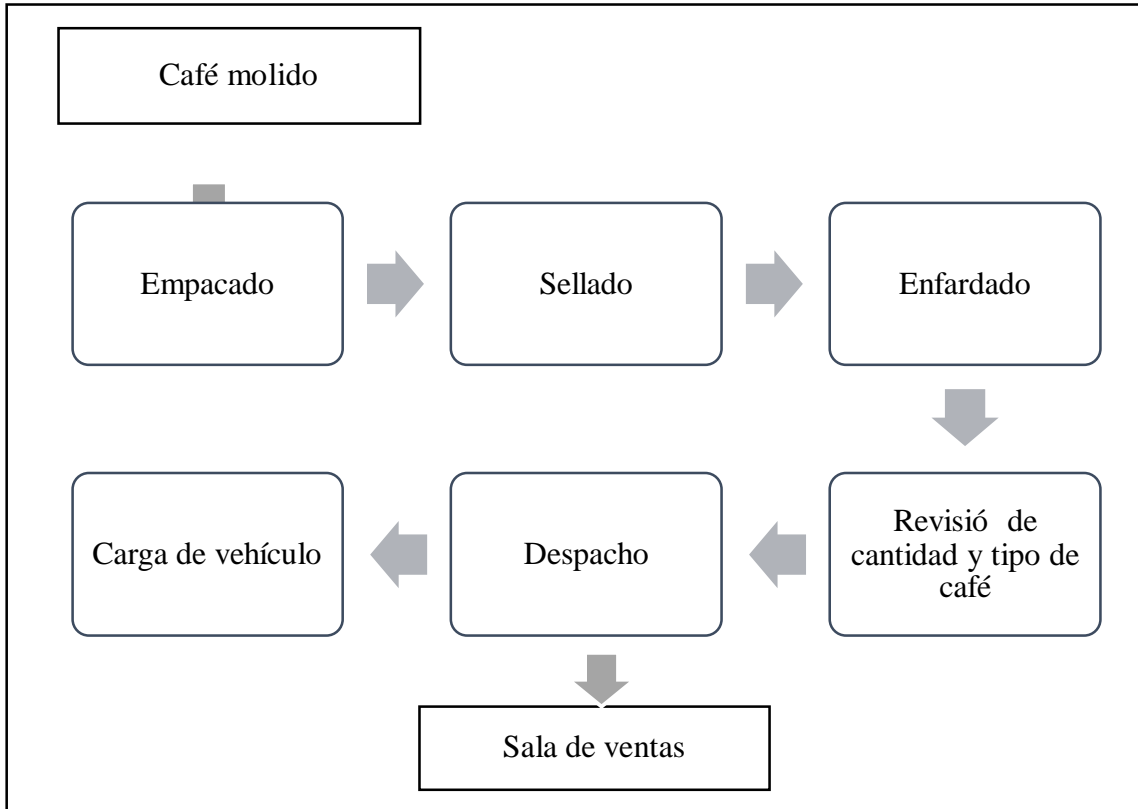


Figura 1.13 Diagrama de operaciones en el proceso del molido de café. (Garza, 2012)

1.2 Fruto del café, Morfología y Propiedades

El fruto del cafeto es similar a una pequeña “cereza” o “drupa”, observado en la figura 1.14 y figura 1.15. En principio son de color verde, y en la medida en la que van madurando se convierte en rojo; o en algunos casos de color amarillo. En el interior de cada fruto hay dos semillas separadas por un surco; estos son los granos del café, los cuales se encuentran protegidos por una película plateada y recubiertos por una piel de color amarillo.

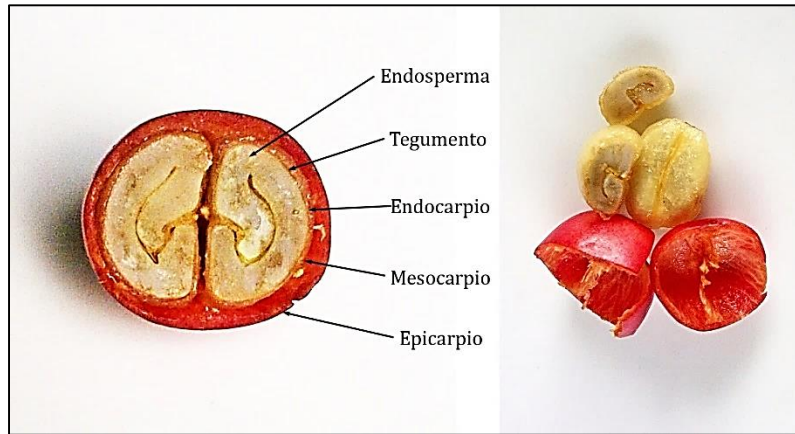


Figura 1.14 Corte transversa de un grano de café. (Sanz, 2018).

Internamente el fruto del cafeto lleva la siguiente estructura:

- i. **Endosperma:** Es la semilla, el grano de café como tal. Es la parte del fruto que, una vez tostada y molida, se utiliza para la producción de la bebida del café.
- ii. **Tegumento:** o Testa, también llamado piel plateada. Es una cubierta o película muy delgada y de color plateado.
- iii. **Endocarpio:** es una cubierta dura que se denomina pergamino o cascarilla, y una vez que se ha secado la semilla se separa del grano de café.
- iv. **Mesocarpio:** o Mucílago, es una sustancia gelatinosa y azucarada que recibe el nombre de baba o mucílago, la cual queda una vez el café es descerezado
- v. **Epicarpio:** o Exocarpio, una cubierta o piel exterior del fruto, conocida como pulpa del café. Puede ser de color rojo o amarillo.

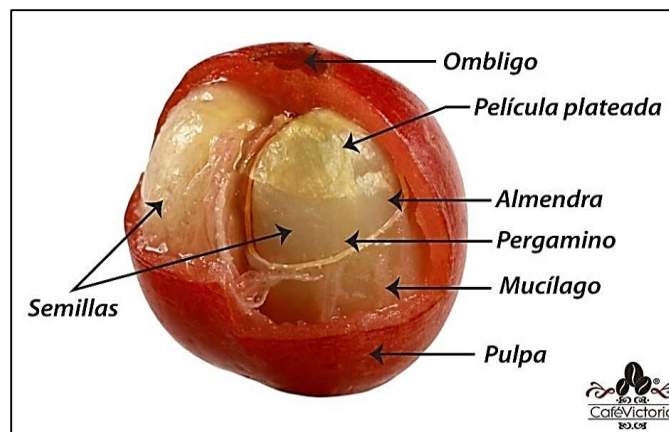


Figura 1.15 Composición del fruto de café. (Sanz, 2018).

El cafeto tiene la particularidad de que puede albergar flores, frutos verdes y frutos maduros de manera simultánea. Estas plantas necesitan climas tropicales; calurosos y con abundante agua, con una temperatura del ambiente comprendida entre los 15° y los 29° centígrados. Un arbusto de café comienza a dar sus primeros frutos a los dos años de edad; alcanzando sus cosechas óptimas luego de sus cuatro o cinco años de sembrado.

1.2.1 Propiedades físicas-mecánicas

Conocer las características físicas del fruto de café (*Coffea arabica* L), en diferentes estados de madurez, permite determinar el tiempo exacto de cosecha que produzca los mayores rendimientos de café pergamino y tomar previsiones sobre el manejo poscosecha. La densidad aparente, el ángulo de reposo, la masa, las dimensiones, hasta el color de la epidermis de frutos. Las propiedades físicas dependen del estado de madurez del fruto, a excepción del ángulo de reposo donde no hay diferencia significativa en la masa y dimensiones (largo y ancho), los frutos secos presentan los valores menores, seguidos de los inmaduros y posteriormente los pintones-maduros.

Las propiedades físicas evaluadas podrían ser usadas para la discriminación entre diferentes estados de madurez con fines de clasificación, pues existe evidencia de la correlación entre grado de madurez y calidad en taza del café. (Juarez, 2018).

Además, el conocimiento de las características físicas del fruto del cafeto, son requisito indispensable para el diseño de equipos nuevos de cosecha, selección y despulpado. (Chandrasekar & Viswanathan, 1999), mencionan que no hay influencia en las características físicas (dimensiones, masa y densidad aparente) por estado de maduración del fruto, contrario a lo reportado por (Marín, Arcila, Montoya y Oliveros, 2003), quienes, al evaluar el color de la epidermis, encontraron una diferencia significativa por estado de madurez.



Figura 1.16 Estado de madurez: inmaduro (verde), pintón-rojo y seco den fruto de café. (Juarez, 2018).

Suarez (2012) realizó un ensayo donde se estudiaron la densidad aparente, el ángulo de reposo, la masa de 50 frutos, las dimensiones del fruto de café, en tres estados de madurez: inmaduro, pintón-maduro y seco, expuestos en la figura 1.16. Se usaron muestras de 1.5 kg de café cereza de las variedades Colombia, Costa Rica y Oro azteca, cosechadas en la misma fecha. A cada muestra se le determinaron las características físicas: densidad aparente, ángulo de reposo, masa y dimensiones del fruto. Para cada característica física estudiada en los tres estados de maduración y variedades, se realizó un análisis de varianza y se corrió la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95% para la separación de medias por estado de madurez. A las variables de dimensión (de las tres variedades y estados de maduración se les determinó intervalos de confianza con un nivel de confianza del 95%.

Los resultados de la tabla 1.14 dado los frutos de café de las variedades, provenientes del mismo predio y las mismas condiciones de cultivo y de cosecha, varían por efecto de la variedad y del grado de madurez.

Así, la densidad aparente es significativamente mayor en los frutos inmaduros de las variedades Costa Rica y Oro Azteca en comparación con sus frutos secos o pintones maduros. Mientras que en la variedad Colombia no hay diferencia significativa entre los frutos inmaduros o pintones-maduros. El ángulo de reposo sólo varía significativamente en los frutos inmaduros de las variedades Colombia y Costa Rica (18.85° y 20.18° , respectivamente). La masa de 50 frutos de café varía por variedad, pero principalmente por grado de madurez, aumenta al pasar de inmaduro a pintón-maduro y disminuye al secarse. Similarmente, los frutos pintones-maduros tienen las dimensiones más altas (largo= 16.31 mm y ancho= 14.88 mm) en comparación con los frutos inmaduros o secos.

Tabla 1.14*Características físicas de frutos de café cosechados, Veracruz, México (Juarez, 2018)*

Variedad	Estado de maduración	Densidad aparente (kg/L)	Ángulo de reposo (°)	Masa de 50 frutos (g)	Dimensiones	
					Largo (mm)	Ancho (mm)
Colombia	Inmaduro	0.69	18.85	56.33	14.51	11.16
Costa Rica		0.64	20.18	61.00	15.39	11.75
Oro Azteca		0.64	15.09	59.33	14.64	12.15
Colombia	Pintón-maduro	0.67	17.35	94.66	16.31	14.25
Costa Rica		0.60	15.98	90.66	16.14	14.10
Oro Azteca		0.62	16.29	99.33	16.03	14.88
Colombia	Seco	0.49	17.45	24.33	12.43	9,14
Costa Rica		0.49	16.30	30.00	13.59	10.24
Oro Azteca		0.419	15.24	22.00	12.32	10.00

1.2.2 Composición del café

1.2.2.1 Composición física del grano café cereza

El grano del café cereza conociendo sus capas o estructuras posee porcentajes en su composición, como los referidos en las tablas 1.15.

Tabla 1.15*a) Composición física del grano de café % peso (Rico, 2017)*

Componente	%Peso fresco	%Humedad	%Peso seco
Grano cereza	100	65.5	34.5
Pulpa	43.2	77.0	9.94
Mucílago	11.8	88.5	1.35
Cascarilla	6.1	32.0	4.15
Café verde	38.9	51.0	19.06

b) Distribución porcentual de las estructuras principales del café en cereza. Base seca (Restrepo, 2015)

Estructuras	Arábigo	Borbón	Mezcla
Pulpa	26.5	29.6	28.7
Cascarilla	10.0	11.2	11.9
Mucílago	13.7	7.5	4.9
Fruto de café	50.0	51.7	55.4

Con respecto a los sólidos, en las pruebas de sabor tendientes a evaluar la calidad de café, se utiliza generalmente 7.5 g de café molido por taza. De esta cantidad, solamente se recupera 1.8 g de sólidos por taza, lo cual es un 23.5% constituido casi en su totalidad por el residuo de la infusión (Restrepo, 2015).

1.2.2.2 Composición química del grano de café verde oro

El café verde oro contienen agua, materias minerales, sobre todo fosfatos y sulfatos de calcio, magnesio, potasio y sodio. Los glúcidos (azúcares) representan más de la mitad (en peso) de las semillas desecadas. Los principales son *galactomananos*, *xilanos*, *hemicelulosa* y *celulosa*. Entre un 10% y un 15% de los granos secos son lípidos: glicéridos de los ácidos palmítico, esteárico, oleico y *linoleico*. La fracción lipídica no saponificable (~5%) está representada por esteroides y *diterpenos* (*cafestol* y *kahwéol*). En el grano de café también se hallan pequeñas cantidades de ácido cítrico, málico y oxálico. Además, de ácidos fenólicos, siendo el más importante de ellos el ácido clorogénico que está combinado con la cafeína formando un complejo, clorogenato de potasio y cafeína.

Posee compuestos nitrogenados como las bases *púricas*, principalmente cafeína y otras en muy pequeñas cantidades se encuentran *xantina*, guanina, adenina y teobromina. La cafeína también puede hallarse de forma natural en el té, cola, maté y guaraná (López, 2015).

Los granos de café verde oro o almendra de las variedades de *Coffea arabica* L. contienen una mayor cantidad de lípidos y de sacarosa que *Coffea canephora* (Robusta), mientras que

en la composición de Robusta se destaca el mayor contenido de polisacáridos, cafeína, ácidos clorogénicos y cenizas.

Por su parte, los granos de café tostados contienen varios de los compuestos químicos que se encuentran en la almendra, aunque en diferentes concentraciones; y, además, se detectan cientos de otras sustancias que se forman en las diversas reacciones, mediante el calor, durante la tostación. La especie, la madurez, la fermentación, el secado, el almacenamiento, la tostación y el método de preparación de la bebida influyen en la composición química y en la calidad del sabor, acidez, cuerpo, amargo, dulzor y aromas de una taza de café. Se indica en la tabla 1.16 cada grupo del componente químico del café verde oro, de acuerdo a su especie.

Tabla 1.16

Promedios de la composición química del grano de café verde oro según especie, % base seca (*Puerta, 2011*).

Componente químico	Arábica (%)	Robusta (%)
Polisacáridos	50.8	56.40
Sacarosa	8.00	4.00
Azúcares reductores	0.10	0.40
Proteínas	9.80	9.50
Aminoácidos	0.50	0.80
Cafeína	1.20	2.20
Trigonelina	1.00	0.70
Lípidos	16.20	10.00
Ácidos alifáticos	1.10	1.20
Ácidos clorogénicos	6.90	10.40
Minerales	4.20	4.40
Compuestos aromáticos	Trazas	Trazas

Puerta (2011) afirma la descripción de los siguientes grupos químicos de la composición del fruto de café:

a) Agua

El contenido de agua del grano influye en todos los procesos del café, en particular en la germinación, crecimiento, fermentación, secado, almacenamiento, transporte, trilla y tostación. El café pergamino debe secarse hasta un contenido de humedad entre 10% y 12%, con el fin de mantener su estabilidad química y microbiológica durante el almacenamiento, evitar daños del grano en la trilla, y también para obtener buenas características sensoriales en la tostación del café.

b) Carbohidratos

Los carbohidratos incluyen los monosacáridos como la glucosa, fructosa, ribosa, manosa; los disacáridos como la sacarosa, lactosa y maltosa; los oligosacáridos como la rafinosa y los polisacáridos como el almidón, la celulosa, el glucógeno, las gomas y las sustancias pécticas. Los monosacáridos y algunos disacáridos como la lactosa y la maltosa son azúcares reductores, pueden oxidarse para formar alcoholes y ácidos en las fermentaciones o reaccionar con los aminoácidos en la tostación, para formar las melanoidinas. Los principales polisacáridos del café almendra son el manano o galactomanano (polímero de manosa y galactosa), que constituye el 50% de los polisacáridos del grano, el arabinogalactano (polímero de galactosa y arabinosa) un 30%, la celulosa (polímero de la glucosa) un 15%, y las sustancias pécticas un 5%. Los granos de café maduros y sanos contienen más sacarosa que los inmaduros y defectuosos. La principal diferencia en la composición de carbohidratos entre especies de café, es el mayor contenido de sacarosa en Arábica (6% a 9%) y en Robusta (3% a 7%).

c) Lípidos

Los lípidos reaccionan de diferentes maneras, por ejemplo, los ácidos grasos reaccionan con alcoholes para formar ésteres y agua; los triglicéridos con bases para formar jabón y glicerina, y también se hidrolizan mediante calor o con enzimas para producir glicerina y ácidos grasos; los ácidos grasos insaturados se hidrogenan y saturan. Además, los lípidos se oxidan en

condiciones de oxígeno, luz, altas temperaturas y presencia de metales catalizadores, así, se rompen los enlaces insaturados, se forman radicales libres y se producen aldehídos, cetonas y alcoholes que, en general, tienen olores desagradables, como el rancio. Para controlar la oxidación de los lípidos del café es necesario almacenar los granos en condiciones frescas y secas, sin luz directa y, en el caso del café tostado y molido, controlar la exposición al oxígeno. El café Arábica contiene menos ácidos grasos libres que el café Robusta, y en los granos almacenados hay más ácidos grasos libres que en los granos frescos. Los triglicéridos contienen principalmente ácidos linoleico y palmítico, y conforman el 75% de los lípidos del café. La materia insaponificable constituye cerca del 20% al 25% de los lípidos del café y en los diterpenos predomina el ácido palmítico. Los esteroides conforman el 2,2% de los lípidos del café de ambas especies, y contienen principalmente β -sitosterol, stigmasterol, campesterol, avenesterol. El colesterol constituye el 0,11% del peso seco del grano de café almendra y el 0,044% en el café Robusta.

d) Compuestos nitrogenados

El nitrógeno constituye entre el 1,30% y el 3,23% del peso seco del grano de café almendra cultivado en Colombia, con un promedio del 2,05%, y en el café tostado del 1,51% a 2,14%, con un promedio del 2,10%.

e) Proteínas

El contenido total de proteínas es similar entre las especies de café y están conformadas por 50% de albúminas que son solubles en agua y 50% de globulinas insolubles. El contenido total de aminoácidos libres es mayor en granos maduros que en inmaduros y en Robusta que en Arábica, aunque algunos aminoácidos están en menor cantidad en el grano de café maduro, que inmaduro. En granos de café almacenados a altas temperaturas se presenta mayor contenido de aminoácidos libres. Las enzimas que contienen los granos de café pueden catalizar las degradaciones de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos clorogénicos del mismo grano.

f) Alcaloides

El café contiene varios alcaloides que contribuyen al sabor amargo del café como son la cafeína, la trigonelina y otros en menor concentración como paraxantina, teobromina y teofilina. El café Robusta contiene más cafeína (2,1%) que Arábica (1,3%). Por su parte, la trigonelina se encuentra en mayor cantidad en Arábica (0,6% a 1,3%) que en Robusta (0,3% a 0,9%). Los contenidos de paraxantina, teobromina y teofilina varían de 3 a 344 mg/kg café almendra y son mayores en Robusta que en Arábica.

g) Ácidos clorogénicos

Corresponden a muchos ácidos fenólicos hidroxicinámicos, principalmente el ácido quínico de la quina y el café; el cafeico de arándanos, manzana, cidra, orégano, verbena, tomillo, albahaca, cúrcuma, diente de león, aceitunas y café; el clorogénico o cafeoilquínico (CQA) que es el más abundante en el café y que también se encuentra en arándanos y manzanas; y los dicafeoilquínicos (di-CQA) de la alcachofa, la achicoria y los girasoles. En los granos de café se han hallado más de 40 ácidos clorogénicos, en especial ésteres del ácido quínico como CQA, di-CQA y ácido feruloilquínico (FQA). Los contenidos de ácidos clorogénicos son mayores en Robusta que en Arábica, pero no se han encontrado diferencias según la fertilización, ni la altitud. Los granos de café inmaduros contienen generalmente más di-CQA que los maduros, y los granos sanos mayor cantidad de ácidos clorogénicos. Los CQA constituyen el 95% de los ácidos clorogénicos del grano de café almendra Arábica, el 5-CQA es el más abundante. El promedio del contenido de ácidos clorogénicos del café maduro Arábica de Colombia varía entre 5,24% a 7,61% y difiere de Robusta, que varía entre 7,45% y 10,59%.

h) Ácidos alifáticos

Después de los clorogénicos, los ácidos más abundantes del café almendra son los carboxílicos alifáticos como cítrico, acético y málico, seguidos del ácido fosfórico, presentados en la tabla 1.17 y otros 35 ácidos.

i) Cenizas

Las cenizas del café se determinan mediante la calcinación del grano seco y molido. El contenido de cenizas es mayor en el café Robusta que en Arábica, y mayor en granos obtenidos del beneficio seco que del beneficio húmedo. El contenido de cenizas en las variedades de café presentadas varía de 3,36% a 5,73%, con un promedio de 4,13% y en el tostado entre 3,05% y 5,25%, con un promedio de 4,36%. La tabla 1.18 muestra el promedio de ceniza de variedades de café oro verde y entre otros componentes del mismo.

El contenido de potasio en los granos de café almendra Arábica de la variedad Colombia varía entre 1,23% y 2,55% con un promedio de 1,85% y en el tostado es en promedio de 1,99%, con un rango de 1,09% a 2,91%. El potasio representa alrededor del 40% al 45% del peso de las cenizas del café almendra, el azufre el 7,9%, el magnesio el 3,9%, el fósforo el 3,4% y el calcio el 2,1%; estos cinco elementos conforman el 63% del peso de las cenizas del café. El contenido de azufre del grano de café disminuye durante la tostación por la formación de los compuestos volátiles azufrados.

j) Compuestos aromáticos

En el aroma del grano de café almendra se han encontrado cerca de 300 compuestos volátiles; la mayoría corresponde a piridinas, furanos, aminas, aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos y varios compuestos azufrados.

Tabla 1.17 Contenido de ácidos en granos de café verde oro, según la especie, % base seca (Puerta, 2011)

Ácidos	Arábica (%)	Robusta (%)
Cítrico	1.16 a 1.38	0.67 a 1,00
Málico	0.46 a 0.67	0.25 a 0.38
Fosfórico	0.11 a 0.11	0.14 a 0.22
Oxálico	trazas a 0,2	trazas a 0.2
Succínico	trazas a 0.15	0.05 a 0.35
Fórmico	trazas a 0.14	trazas a 0.39
Acético	Trazas	trazas a 0.2

Tabla 1.18 Promedios de la composición química del grano de café verde oro de variedades. % base seca (Puerta, 2011).

Variedad de café	Fibra (%)	Lípidos (%)	Cafeína (%)	Ácidos clorogénicos (%)	Ceniza (%)
Bordón	21.75	15.27	1.15	7.37	3.78
Caturra	18.85	13.98	1.13	6.97	3.39
Colombia fruto amarillo	18.45	13.07	1.16	7.55	3.49
Colombia fruto rojo	16.69	14.27	1.19	7.42	3.52
Robusta	15.53	11.42	2.10	8.08	3.96

1.3 Productos derivados de la industria del café.

Los principales productos que se derivan del café procesado son:

- a) Café tostado torrefacto
- b) Extracto de café instantáneo soluble
- c) Café descafeinado
- d) Café neutralizado
- e) Café liofilizado

Cada uno con sus propias características, dadas por sus procesos y condiciones de producción y al mercado que van destinados, se describen a continuación:

1.3.1 Café tostado torrefacto

Al tostar el café se hincha, pierde peso y desprende un agradable aroma. La coloración más o menos intensa del grano indica el grado de torrefacción, se distribuye en grano para moler en pequeñas cantidades al momento de consumo o molido listo para colocar.

El café tostado tiene diferentes grados de tostado, los cuales son:

- i. Ligerero o pálido: es el tostado característico del café enlatado, también es utilizado para los granos de delicado sabor. En ambos casos, los granos tienen una superficie seca de color canela.
- ii. Medio ciudadano o americano: Es el tostado para todo uso. Los granos son de un color café claro con superficie seca. Aunque esta preparación puede tener ciertas cualidades ácidas, su sabor tiende a ser simple.
- iii. Intenso: es el favorito de muchos comercios especializados en café, debido a su sabor balanceado entre uno fuerte y uno dulce. Los granos son de color castaño y muestran partes aceitosas.
- iv. Tostado Oscuro, francés u continental: tiene un sabor agradable, los granos semidulces son color chocolate y brillan por el aceite.
- v. Espresso: es el más oscuro de todos los tostados, sus granos casi negros, tienen una brillante superficie aceitosa. Todas las cualidades de acidez y los sabores específicos del café se eliminan, pero su sabor fuerte se mantiene. (Mena y Tigreros, 1997)

También se encuentra en el mercado cuatro rangos de color de tostado válidos para clasificar su grado de tostado (National Coffee Association de EE. UU [NCA], 2020), detallados en la tabla 1.19 y mostrados en la figura 1.18 en respectivo orden.

Tabla 1.19*Rangos de tueste de café tostado torrefacto (NCA, 2020)*

RANGO DE TUESTE	CARACTERÍSTICAS
CLARO	<p>Tiene una acidez muy alta, se caracterizan por una acidez más pronunciada e intensa combinada con una taza clara y suave. En tuestes claros el proceso de caramelización no afecta en mayor medida. Asimismo, los tuestes claros preservan más su sabor original. En granos de alta calidad las notas del tueste no penetran el espectro del sabor original, pero cuando los cafés de baja calidad se tuestan así, los problemas de calidad se vuelven más evidentes. A pesar del potencial de ofrecernos una grandiosa taza de café, los granos tostados de manera incorrecta pueden revelar algunas notas amargas combinadas con astringencia (sensación de sequedad en la boca).</p>
MEDIO	<p>Pasar los granos de un tueste claro a un tueste medio puede aumentar la intensidad de los aromas, la dulzura y la acidez, si bien este último por lo general alcanza un auge durante el tueste medio-claro, los compuestos de otros sabores aparecen de una manera más equilibrada que en los tuestes claros. Como consecuencia de sus sabores equilibrados, los cafés de tueste medio se usan en protocolos de catación en cafés de especialidad para determinar las diferentes calidades de sabores y sus intensidades.</p>
MEDIO / OSCURO	<p>Al aumentar el tueste un poco más, se reduce la intensidad de la acidez, así como la complejidad de los aromas. Las notas del tueste se vuelven más evidentes y el cuerpo se hace más pesado. Ya que el café se carameliza durante el tostado, por lo general aparecen notas más amargas, la complejidad general puede reducirse acercándose más a un perfil de sabor similar al del chocolate.</p>

Continúa.

Tabla 1. 19*Rangos de tueste de café tostado torrefacto (continuación)*

RANGO DE TUESTE	CARACTERÍSTICAS
OSCURO	Un café de tueste oscuro no debe confundirse con un café quemado, una equivocación general que he percibido en el pasado, aparecen las notas amargas de la caramelización que cubren el perfil de sabor original en mayor medida. La acidez se reduce de manera significativa, dejando únicamente un rastro de los originales, puede revelar notas a chocolate o semillas de cacao, su amargura y sabores provocadas por quemado como humo o cenizas deben evitarse.

Por lo tanto, el desarrollo de sabores y la intensidad de los sabores están sujetos al grado de tueste del grano de café oro, esto se puede verificar en la gráfica de la figura 1.17. Además, el sabor de un café dependerá enormemente de su origen, procesamiento y el proceso de preparación.

En algunos países es la torrefacción como en Italia o Francia se usa de manera sinónima como tueste de café, en otros países, como España, se refiere a un proceso en donde se le agrega azúcar o melaza durante el proceso de tueste, el azúcar se sobrecarameliza a altas temperaturas durante el tueste y puede crear sabores amargos.

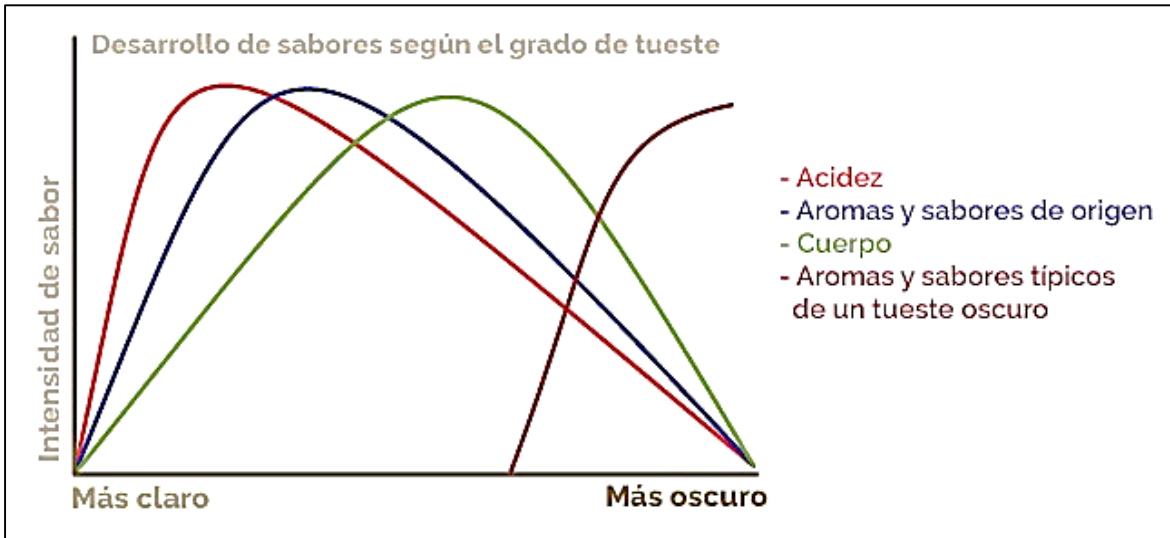


Figura 1.17 Grado de intensidad de los sabores y aromas con respecto al grado de tueste (*Enterprises, 2011*)



Figura 1.18 Grados de tostado de café (*Mattia, 2017*).

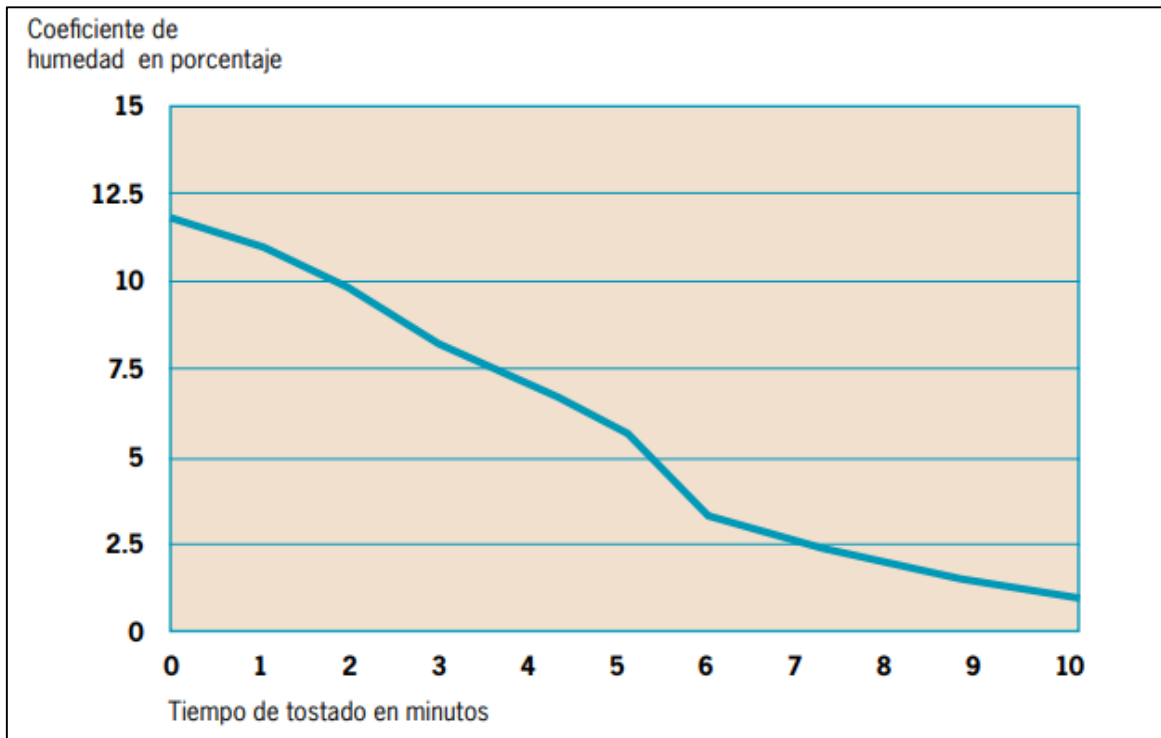


Figura 1.19 Reducción de agua (hidrólisis) de café arábica durante el tostado (*FórumCafé, 2020*)

En contraste, el aumento de volumen, la masa, dicho de otra manera, el peso no se incrementa, sino que se reduce durante el tostado. El grano pierde masa en forma de agua y cascarilla por un lado y en forma de sustancia seca por otro. Esta pérdida contiene CO_2 , monóxido de carbono (CO), nitrógeno, ácidos volátiles y compuestos aromáticos volátiles (hidrocarburos, CH). En conjunto, el peso se reduce entre un 12 y un 23%. De hecho, cuando se obtiene un color más oscuro en el tueste, mayor resulta la pérdida de masa, que es lo que se conoce como merma. En la figura 1.19 se aprecia que el mayor porcentaje de reducción proviene del agua: la dehidrólisis de una humedad original del 10 al 12% se pasa a una humedad residual del 0,5 al 3,5%, tiene lugar en dos pasos durante el proceso de tueste: hasta 100°C el agua no contenida en la superficie se evapora. Por encima de 100°C empieza la primera fase de evaporación (*FórumCafé, 2020*).

1.3.2 Extracto de café instantáneo soluble

Producto de polvo soluble en agua, obtenido por parcial o total evaporación de la infusión de café tostado. Contiene como aproximadamente 2.5% de cafeína y 4% de humedad. Para la elaboración de café soluble se utiliza percoladores gigantes de acero y enormes filtros para colarlo, el agua es eliminada por un proceso de deshidratación que consiste en proyectar corrientes de aire a temperaturas elevadas sobre el café líquido, a medida que el agua se evapora, se van formando pequeñas gotas sobre las paredes metálicas del cilindro, que posteriormente se convierten en un polco muy fino, este es recolectado y empacado al vacío. En la figura 1.20 se detalla los procesos que se llevan a cabo en el café instantáneo. La mayoría de los cafés instantáneos se procesan con granos de inferior calidad extractados al máximo, por lo que la mayor parte del aroma y sabor se pierde, luego se adicionan aceites aromáticos a molido. Para la elaboración de café soluble existen diferentes etapas, presentadas en el anexo II, a continuación, se esquematizan las principales etapas:

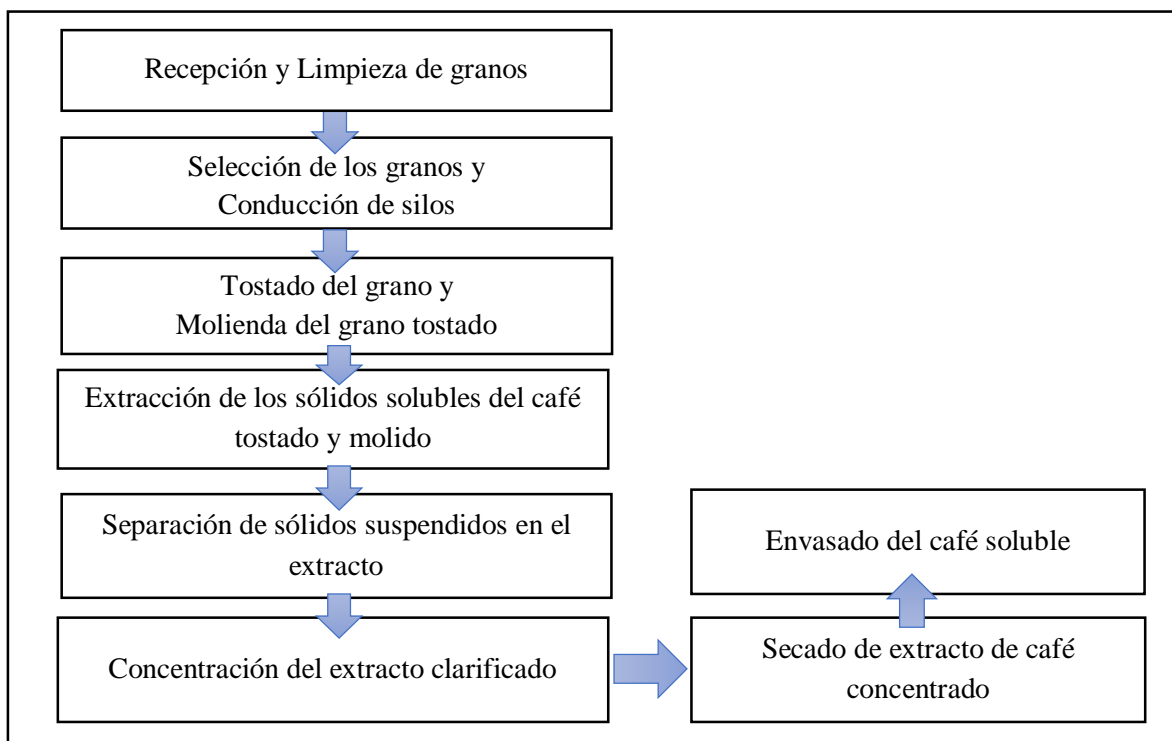


Figura 1.20 Diagrama de elaboración de café instantáneo (Galindo, 2011)

1.3.3 Café descafeinado

Café crudo o tostado torrefacto que ha sido desprovisto de si cafeína, tendrá como máximo 0.1% de cafeína. El proceso se realiza mediante el uso de un solvente natural llamado acetato de etilo a partir de café verde oro, se utiliza también como agente descafeinizante al dióxido de carbono, cloruro de metileno, grasas y aceites.

El café verde oro descafeinado es sometido a los procesos técnicos para la producción de café soluble aglomerado, tales como tostón, molido, extracción, concentración, secado, aglomeración y empaque. El beneficio de este producto para los consumidores es disminuir los efectos estimulantes de la cafeína sobre el organismo en general y sobre el sistema nervioso en particular.

Existen principalmente dos métodos usados para descafeinizar, ambos métodos utilizan una sustancia descafeinizante, son los siguientes:

- a) Proceso Directo: los granos se evaporizan o remojan en agua, luego se mezcla el agente descafeinizante. Finalmente, los granos se evaporan y secan para remover el agente descafeinizante.
- b) Proceso Indirecto: El agua se mezcla con los granos vaporizados para extraer la cafeína. El agua cafeinada se separa luego de los granos y se le adiciona un agente descafeinizante, una vez retirada la cafeína del agua, esta se reintroduce a los granos para reponer cualquier sabor que haya sido retirado en el proceso.

El diagrama de la figura 1.21 se da un proceso con solvente orgánico para la descafeinación como el cloruro de metileno, el cual tiene los siguientes parámetros de operación:

- i. Vapor: 30 minutos a 110 °C
- ii. Prehumedecimiento: 66°C para 42% agua p/p
- iii. Extracción cafeína: 66°C por 10 horas a 4 lb de solvente orgánico/lb café verde
- iv. Vapor para retirar solvente orgánico: 30 minutos.

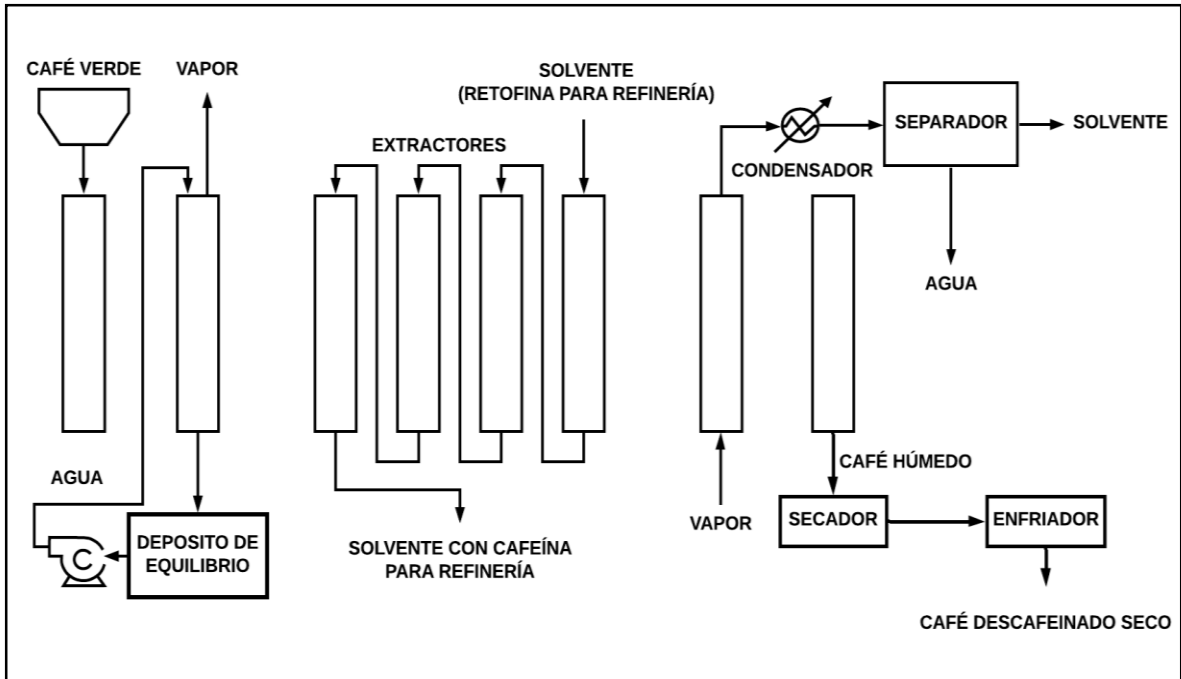


Figura 1.21 Proceso de descafeinación con solvente orgánico (Mena y Tigreros, 1997)

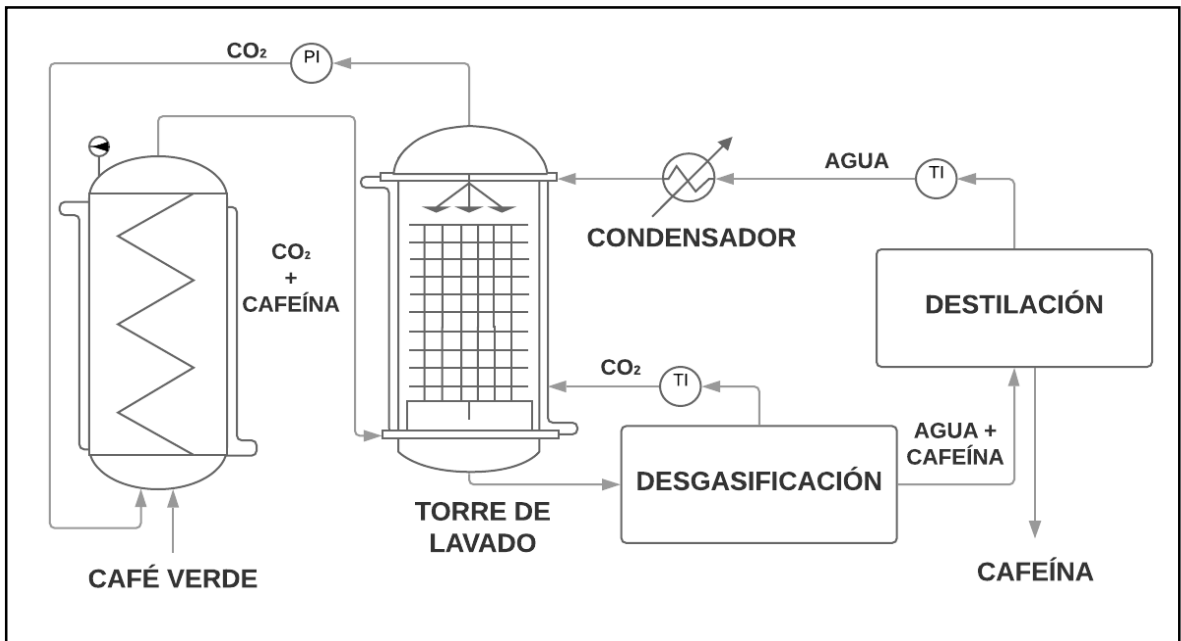


Figura 1.22 Proceso de descafeinación con gases supercríticos (Mena y Tigreros, 1997)

Un proceso alternativo se encuentra en la figura 1.22 con los gases supercríticos con fluido-solvente selectivo, a usar CO₂ las ventajas están en la selectividad, atoxicidad y baja temperatura de extracción, posee los siguientes parámetros de operación:

- a) Punto crítico CO₂: 31°C / 73 Bar
- b) Extracción: 80°C / 180 Bar
- c) Tiempo de transferencia de la cafeína a CO₂: 10 horas (contenido residual de cafeína: 0.02%) (Mena y Tigreros, 1997).

1.3.4 Café neutralizado

Producto desarrollado en Colombia el cual elimina la acidez, convirtiéndolo en un producto neutro, especial para aquellas personas afectadas por problemas de hiperacidez gástrica. La diferencia en el proceso de producción con respecto al café soluble, es la neutralización de la acidez del extracto por medio de la adición de un neutralizante de grado alimenticio, continuando con el secado, aglomeración y el empaque. Este producto es conocido de tiempos atrás en mercados europeos y norteamericanos, donde ha sido bien recibido por muchos consumidores.

1.3.5 Café liofilizado

El procedimiento es el mismo que el del café soluble, con la diferencia de que el café líquido se congela a 40°C bajo cero. La placa de hielo resultante se pica muy fina y se introduce en cámaras sometidas a presión, donde bajo el efecto del vacío y del calor, los cristales de hielo se transforman por sublimación en gránulos de café que se disuelven instantáneamente cuando se ponen en contacto con el agua. La liofilización es un proceso mediante el cual el café es deshidratado sublimando el agua casi en su totalidad, cuando la sublimación termina, es decir, cuando el hielo ha sido extraído completamente, comienza la etapa de absorción, en la que se extrae el agua absorbida por los sólidos. En esta etapa se puede incrementar la temperatura hasta un punto en que no se afecten las características del producto.

Para que este proceso se realice se requiere una congelación previa del producto, la manera como se efectuó esta congelación incide en forma definitiva en el producto final.

Es importante también mencionar entre los productos derivados del café la llamada infusión de café, que es la preparación de agua caliente o vapor de café tostado y molido, libre de sustancias extrañas. (Mena y Tigreros, 1997). En figura 1.23 señala las etapas de este proceso.

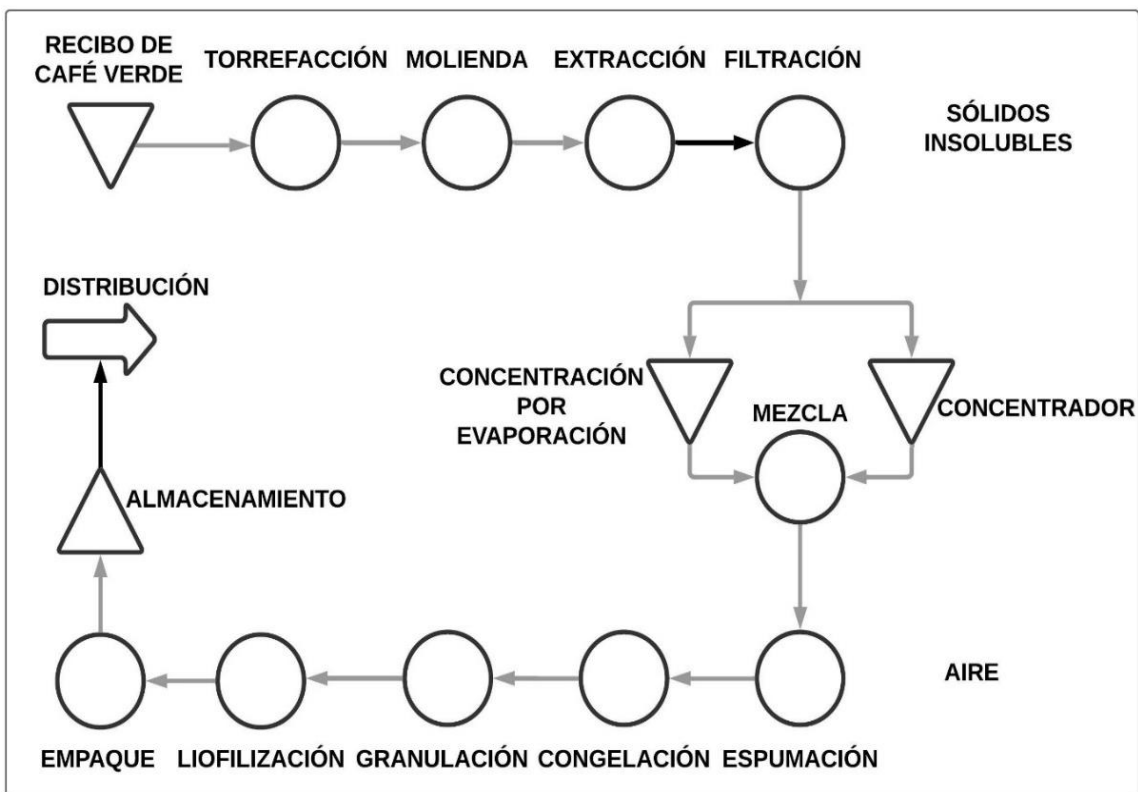


Figura 1.23 Etapa del proceso industrial del café (Mena y Tigreros, 1997)

CAPÍTULO II. RESIDUO DE CAFÉ: BORRA DE CAFÉ

2.1 Residuos provenientes a partir del café tostado y molido

En general en la agroindustria del café solamente se utiliza el 9.5 % del peso total del fruto en la preparación de bebidas y el 90.5% son subproductos vertidos a los cuerpos de aguas contaminándolas y disminuyendo la posibilidad de vida de los ecosistemas, o se realiza un almacenamiento en la época de recolección y luego son retirados de estas instalaciones entrando a contaminar el suelo; se calcula que aproximadamente son vertidos a campo abierto 2 millones de toneladas de pulpa y 420,000 toneladas de mucilagos que bien podrían incrementar la cadena de valor en los sistemas productivos y no seguir contaminando el medio ambiente. Se ha tratado de adoptar métodos de utilización como materia prima en la producción de concentrados para las industrias porcícolas y ganaderas, en preparación de bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectinas, enzimas pépticas, proteínas y abonos

La pulpa es el primer producto que se genera en el procesamiento del fruto, la utilización de la pulpa siempre ha constituido un problema tanto en el beneficio en seco como en el húmedo, puesto que los granos secos constituyen sólo la tercera o cuarta parte del peso de los frutos frescos. Donde las plantas de procesado se hallan cerca de la plantación, se ha hecho uso del subproducto como abono orgánico en un mínimo porcentaje. En unas cuantas regiones ha encontrado un mercado limitado como un suplemento alimenticio para el ganado. Sin embargo, en ningún caso se ha utilizado más que una pequeña fracción de los millones de toneladas producidas cada año, quedando la mayor proporción de este subproducto para ser simplemente podrido en pilas o para ser arrojado a las corrientes de agua cercanas. Los altos costos de producción en la industria cafetalera y las sanciones impuestas por las corporaciones autónomas sobre vertimientos puntuales hacen que se replantee el manejo de este tipo de subproducto al igual que el mucilago que son los más contaminantes como ocurre en la mayoría de las empresas productoras de café donde se arrojan estos residuos sin ningún tratamiento.

El mucilago del café, representa en base húmeda el 14.85% del peso del fruto seco. El cisco, es el endocarpio del fruto formado por la cascarilla (cisco) y la película plateada con

excelentes propiedades combustibles, representa 4.2% del fruto seco, tiene un poder calorífico de 17.90 MJ/kg. 41 (Suarez, 2012).

La tabla 2.1 coloca los residuos que se obtienen en el proceso industrial del café.

Tabla 2.1

Residuos obtenidos en el proceso industria del café, base 1000 g (Suarez, 2012).

Proceso	Residuo obtenido	Perdida en g
Despulpado	Pulpa fresca	436
Desmucilaginado	Mucilago	140
Secado	Agua	161
Trilla	Pergamino película plateada	42
Torrefacción	Volátiles	22
Preparación de bebida	Borra	104
Pérdida total	Residuos	905

Llegando a residuo doméstico generado por el consumo de café tostado y molido comercial, es decir, el sedimento que deja el café en un filtro una vez que ha sido preparado y colado, y en las fábricas de café soluble, correspondiendo la fracción insoluble del grano tostado, representa el 10% del fruto fresco, es la borra de café. (Suarez, 2012) Contiene una gran cantidad de agua, restos de cafeína, materias grasas y colorantes; la broza de café es un material liviano, amargo, de aspecto poroso e insoluble en agua; está formado por un tejido de consistencia semileñoso esponjoso de color café claro. La borra de café está compuesta de 7,5 - 15,0% de proteína, 2,0 - 7,0% de grasa y 21 - 32% de carbohidratos; pero además contiene sustancias como la cafeína y otros compuestos fenólicos (Guerra y Meléndez, 2009). Los desechos sólidos del café en cuanto a sus contenidos residuales de ácido clorogénico, ácido cafeico, cafeína, trigonelina y ácido nicotínico siendo estos contenidos del orden de 10, 100, 8, 74 y 10% del peso obtenido de la misma sustancia en el café tostado molido. Estos antecedentes auguran la presencia en la borra de café de las sustancias mencionadas (Angeles, 2009).

2.1.1 Generalidades sobre la borra de café

Si bien, cada residuo generado en el procesamiento del café puede utilizarse para generar subproductos, se puede decir de la borra de café lo siguiente:

- a. Se denomina borra al residuo proveniente de la extracción de los compuestos solubles del grano del café tostado en la manufactura del café instantáneo en un proceso típico, los granos de café tostado y molido son tratados con agua a temperaturas entre 175 y 180 °C y presiones entre 14 a los 16 bares para extraer el material soluble conformado por sustancias que constituyen el cuerpo y demás propiedades organolépticas de la bebida del café (Cevallos y Guerrero, 2017). Además, provienen del uso cotidiano de las cafeteras independiente de sus tipos, es la parte insoluble que queda en las cafeteras después de preparar la bebida, se observa en la figura 2.1
- b. Comparándolo con la pulpa este residuo posee mayor contribución dentro el proceso de café que la borra de café, el cual en su mayoría se encuentra en rellenos sanitarios, y utilizado como materia prima del abono orgánico, reduciendo el uso de fertilizantes químicos en su cultivo; el mucílago por su parte, a verse sometido a proceso de fermentación requiere procesamiento químico para ser conservado.
- c. Su recolección puede realizarse de manera eficiente, puesto que está concentrada en gran medida en fábricas de café soluble y liofilizado, junto con establecimientos comerciales e instituciones y empresas del sector privado y público, donde se prepara la bebida (Diaz, 2009).
- d. Por su composición química la borra es un desecho muy contaminante puesto que posee una demanda de oxígeno muy alta (Villanta, 2016).



Figura 2.1 Borra de café generado en cafeteras

2.1.2 Composición y propiedades fisicoquímicas de la borra del café

La borra de café es un subproducto derivado de la comercialización del grano tostado que se obtiene durante la preparación de la bebida, y en esta se puede llegar a obtener una concentración significativa de compuestos polifenólicos como son los ácidos clorogénico y feruloilquínico, entre otros. Debido al alto contenido de sustancias bioactivas reportado en el grano de café, se ha dado un interés especial en la borra, con el fin de obtener extractos ricos en estos compuestos y que puedan ser usados como material de partida o para el desarrollo de nuevos productos, con un alto contenido de fitoquímicos de elevada capacidad biológica. En la tabla 2.2 se presenta la composición de borra, analizada para uso de combustible:

Tabla 2.2

Análisis de borra de café utilizada como combustible (Angarita, 2013)

Componentes	%p/p	Componente	%p/p	Componente	%p/p
Humedad	7-8	Ácido tánico	0,90	Valina	9,0
Proteína cruda	10-12	Acido palmítico	43,2	Metionina	2,0
Fibra cruda	35-44	Ácido palmitoléico	0,40	Isoleucina	6,3
Nitrógeno libre	13-18	Acido esteárico	9,70	Leucina	13,4
Ceniza	0,25-1,0	Ácido oléico	14,0	Tirosina	4,2
Calcio	0,08	Ácido linoléico	37,0	Fenilalanina	8,3
Magnesio	0,01	Ácido arachídico	3,8	Lisina	2,9
Potasio	0,04	Ácido gadoléico	0,4	Histidina	2,2
Sodio	0,03	Ácido behénico	0,2	Arginina	Trazas
Fósforo	0,01	Acidos grasos libres	7,6	Hidroxiprolina	1,0
Manganeso	26,8 ppm	Yodo	85-93	Glicina	7,6
Zinc	10,0 ppm	No. de saponificación	185-193	Serina	1,9
Cobre	35 ppm	Peróxido	11-17	Acidoglutámico	18,6
Cloruros	-	Aminoácidos (proteína)	-		
Selenio	0,26 ppm	Alanina	6,2		

El análisis fisicoquímico de la borra de café como insumo para el desarrollo de los prototipos, se realizan en un laboratorio de análisis de alimentos y se hace con el fin de conocer las características básicas de la borra de café, tales como pH, el contenido de fibra, proteína, grasas, humedad y carbohidratos. Estos análisis dan información que sirve como indicador de calidad o parámetros de medición para una producción estandarizada, previamente se somete a un proceso de secado y se recoge la cantidad en base seca para su posterior análisis.

Hecho de Café (s.f.) indica en la tabla 2.3 un análisis proximal fisicoquímico de la borra de café, con sus respectivos métodos de análisis con base de 500g de borra de café en el laboratorio Colfrigos de la ciudad de Bogotá, con el propósito de formular productos para la piel.

Tabla 2.3

Resultado de pruebas de laboratorio de borra de café para productos del cuidado de la piel (HechodeCafé, s.f.)

Análisis Realizado	Resultado	Límite de detección	Unidades	Método utilizado
Humedad	0.8	0.02	G	Secado con estufa. AOAC 925.10
Proteína	14.2	0.1	G	Kjeldahl AOAC 974.29
Grasa total	12.0	0.02	G	Hidrolisis ácida AOAC 996.01
Ceniza total	1.6	0.02	G	Calcinación AOAC 923.06
Fibra cruda	38.5	0.05	G	Digestión ácido/base, calcinación
Carbohidratos totales	32.9	-	G	Cálculo por diferencia
Calorías	296	-	Kcal	Determinación indirecta factor Atwater

Valencia (2009) reporta en la borra de café con un rango de pH de 5.8 a 6.2 y un poder calorífico llega a 29,01 MJ/kg en borra seca (combustible sólido), superando las creces a los demás subproductos del café. En el anexo III se muestra el poder calorífico de cada subproducto de café.

Agudelo (2002) indica que la borra de café es capaz de poseer un rendimiento de producción de Etanol de 207 ml ETOH/kg borra seca dando una solución alcohólica al 10% v/v, utilizando deslignificación con sacarificación y fermentación simultánea.

2.2 Antecedentes del aprovechamiento actual de la borra de café

Los aprovechamientos de la borra de café se mantienen en un constante análisis para definirlo como materia prima más apropiado para dar valor agregado y así contribuir a la gestión del residuo, y de cierta forma la mitigación de los daños producidos en el medio ambiente con los gases de efecto invernadero. En consecuencia, los estudios realizados se enfocan en usos industriales como alternativa natural de aprovechamiento, pero su uso en realidad está presente en disposiciones domésticas y en los desechos sólidos.

Existe una necesidad de llevar a cabo propuestas prácticas e innovadoras para el desarrollo de productos viables que se ajusten a la disponibilidad en cantidad del residuo a tratar, cuyo resultado se proponga a la sustitución de materiales, materia prima o alcanzar productos terminados, con estos ideales se estructura los estudios realizados a la borra de café para su valorización y exploración de su potencial, de esta forma aumentando su sostenibilidad en el ciclo económico.

En la actualidad, se tienen productos derivados desde usos cosméticos hasta estudios de generación de energía eléctrica por gasificación del residuo; los usos domésticos más rudimentarios como fuente de abono orgánico para jardines, biocombustible en forma de pellet, llegando a lo más tecnológicos e innovadores como la producción de papel por su alta concentración de celulosa, bioadsorbente de los principales contaminantes en aguas, en la industria alimenticia como colorante y producto para la gastronomía.

CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y USOS POTENCIALES DE LA BORRA DE CAFÉ

Los usos potenciales de la borra de café se mantienen en un constante análisis para definirlo como materia prima más apropiado para dar valor agregado y así contribuir a la gestión del residuo. Existe una necesidad de llevar a cabo propuestas prácticas e innovadoras para el desarrollo de productos viables que se ajusten a la disponibilidad en cantidad del residuo a tratar, cuyo resultado se proponga a la sustitución de materiales, materia prima o alcanzar productos terminados, con estos ideales se estructura los estudios realizados a la borra de café para su valorización y exploración de su potencial, de esta forma aumentando su sostenibilidad en el ciclo económico.

En la misma corriente del aprovechamiento de la borra de café, los estudios realizados vienen enmarcados en la investigación de sacar a relucir sus propiedades como material de uso en la industria para diferentes fines. Por lo tanto, se pueden enlistar de la siguiente forma, diversas alternativas desde las más convencionales a las especializadas, detallándose en los próximos numerales:

Usos en la Agricultura

- A) Abono/compostaje
- B) Mejorador de suelos
- C) Acolchado
- D) Sustrato
- E) Ahuyentador de plagas
- F) Fertilizantes de Liberación controlada

Usos en la Industria química y energética

- A) Bioadsorbente
- B) Biodiesel
- C) Biocombustible sólido
- D) Biogás

- E) Bioetanol
- F) Gasificación
- G) Aceite
- H) Papel/cartón
- I) Colorante natural
- J) Carbón activado

Usos en la Industria de Alimentos

- A) Colorante comestible

Otros usos

- A) Cosméticos
- B) Aromatizante/ambientador
- C) Desarrollo gastronómico
- D) Elaboración de estructuras

3.1 Usos en la agricultura

En la agricultura está presente principalmente en forma de abono y compostaje, ya que la borra de café es materia orgánica fresca y, por tanto, contiene muchos nutrientes, entre ellos nitrógeno, el más importante de todos los nutrientes para las plantas, junto con el potasio y magnesio.

A) Abono/compostaje

Según estudios agrícolas y la experiencia de los cultivadores, el café es una buena opción tanto como nutriente orgánico como en una mezcla fertilizante, teniendo un pH de ácido entre 5.8 - 6, lo cual es bueno para el cultivo. Contienen más del 2% de nitrógeno, 0,06-0,3% de fósforo y 0,6-1% de potasio. Esta proporción es adecuada para las fases vegetativa y de floración, incluso si la baja cantidad de fósforo (en forma de ácido fosfórico) no proporciona suficiente alimento para la exigente etapa de la floración. Un buen florecimiento requiere fósforo de otras fuentes.

Para utilizarlo como abono para las plantas no debe mezclarse directamente con la tierra (en pequeñas cantidades sí), ya que, si se hace, fermentará en el suelo, pudiendo ocasionar problemas sanitarios. Lo ideal es compostarlo primeramente para que se transforme en una sustancia estable repleta de nutrientes y materia orgánica (compost), pero que ya no va presentar problemas de fermentación. Es posible esparcirla sobre el suelo a modo de cobertera, en cuyo caso tardará más tiempo en descomponerse, pero también aportará algunos nutrientes que serán llevados hacia el interior del suelo por el agua de lluvia o de riego.

B) Mejorador del suelo

Contribuye a la fertilidad del suelo aportando nutrientes, también lo hace mejorando su estructura, su capacidad de retención de agua y su pH, entre otras cosas. Mejora la estructura y la retención de agua gracias a que ayuda a aumentar el porcentaje de materia orgánica del suelo. En el caso del pH, tiende a bajarlo ya que se trata de una sustancia ligeramente ácida. Esto resulta interesante en suelos alcalinos (pH elevado) o cuando se cultivan plantas acidófilas, es decir, que requieren o prefieren un suelo ácido. Es el caso de la mayoría de los frutos del bosque y gran parte de las hortalizas.

Además de anterior, los posos de café son muy apreciados por las lombrices, por lo que, al añadirlos al suelo, estas los consumirán y excretarán el apreciado abono conocido como humus de lombriz. En este sentido, se puede emplear como parte del alimento para estos animales en lombricultura.

C) Acolchado

Este uso no requiere de ninguna espera ni preparación. Se trata de esparcirlos alrededor de las plantas para cubrir el suelo con ellos, de forma que se acumule una capa de al menos 1 o 2 cm de espesor. Esta capa actuará como una barrera protectora del suelo que ayudará a retener la humedad de este, evitará que se forme una costra dura en la superficie, y algo muy interesante, dificultará el nacimiento de "malas hierbas" al impedir el paso de la luz. Además, emplearlo como acolchado tiene otra ventaja indirecta, y es que parece ser un buen repelente de plagas como los caracoles y las babosas, pero esto lo veremos más abajo.

D) Sustrato

Al tratarse de un material poroso que retiene gran cantidad de agua, pero que también la drena bastante bien, puede ser utilizado como sustrato para sembrar en él distintas semillas, para plantar esquejes, etc. Con propiedades muy parecidas a los anteriores, y a diferencia de la tierra común, no contiene hongos patógenos, que suelen infectar las semillas o las plantas cuando se han sembrado directamente en tierra. Se puede mezclar con otros materiales como arena, perlita, vermiculita o humus de lombriz y otros abonos. Antes de usarlo como sustrato conviene lavarlo bien con agua para retirar los restos de café que hayan podido quedar retenidos en los posos.

E) Ahuyentador de plagas

Los caracoles y babosas no disfrutan de los paseos sobre posos de café, por su textura granular. Estos animales se desplazan sobre una mucosa que segregan en la parte baja del cuerpo, por eso necesitan de una superficie lisa o húmeda para poder moverse, los gránulos de la borra de café se adhieran a sus mucosas complicándoles el avance, al igual que ocurre con la ceniza de madera y otras sustancias en forma de polvo o gránulos finos, como el aserrín o la cáscara de huevo triturada (MundoHuerto, s.f.).

F) Fertilizantes de Liberación controlada

La borra de café puede ser utilizada como base en la formulación de fertilizantes de liberación controlada (FLC), aumentando la eficiencia de los nutrientes en la producción agrícola y al mismo tiempo reincorporando material orgánico al suelo (Cogua, 2019).

Cogua (2019) reporta que la eficiencia en la retención de nutrientes de las formulaciones a base de borra de café respecto a los fertilizantes convencionales, de mayor a menor es: $B_2+HPO_4^{-2}$, $B_1+NH_4NO_3$, $B_2+NH_4NO_3$, B_1+KCl , B_2+KCl , siendo B_1 y B_2 , la borra de café que ha sido secada con gases de chimenea para cogeneración energética y la borra de café que sale justamente después de la extracción de las moléculas solubles del café, respectivamente, obtenida de una planta de producción de café instantáneo.

La definición de un fertilizante de liberación controlada de nutrientes establece que un FLC es una formulación que pasados 28 días de su aplicación ha liberado máximo el 75% de la fase activa del fertilizante. La liberación de los nutrientes depende de múltiples variables como: humedad, temperatura precipitaciones, entre otras.

3.2 Usos en la Industria química y energética

A) Carbón activado

El carbón activado es un término general que denomina a toda una gama de productos derivados de materiales carbonosos, preparados artificialmente a través de un proceso de carbonización, para que exhiban un elevado grado de porosidad y un área superficial interna excepcionalmente alta. Las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad de eliminación de sustancias y baja selectividad de retención.

El carbón activado es un material poroso a partir de materiales abundantes en carbón, por medio de distintas formas de activación, química, física y fisicoquímica, como la reacción con gases oxidantes (como CO_2 o aire), o con vapor de agua; o bien a un tratamiento con adición de productos químicos como el H_3PO_4 , durante o después de un proceso de carbonización, con el objeto de aumentar su porosidad. Posee una estructura cristalina

reticular similar a la del grafito, es extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados, por gramo de carbón.

El carbón activado tiene gran utilidad en las industrias como la textil, cuero, papel, plásticos, y otras, usan colorantes para sus productos, como resultado de esta actividad se genera una considerable cantidad de aguas residuales (Vila, 2016).

Estos se ejecutan en confecciones de diversos tipos de filtros: en recuperación de gases, eliminación de olores y colorantes en aguas residuales, filtración de agua en el proceso de potabilización y adsorción de iones de metales. También, utilizado en procesos hidrometalúrgicos, se recupera los metales preciosos a partir de lodos o soluciones cianuradas que contienen los complejos iónicos

La remoción de cianuro, este proceso de adsorción es sensible al pH, dando el mayor porcentaje de adsorción de 54.68% alcanzado con un valor de pH de 8, incrementado conforme la dosificación de carbón activo y el tiempo de contacto (Arangurí, 2019).

Con respecto a un estudio usando carbón activado a partir de borra de café en efluentes contaminados del colorante azul marino directo (AMD), Vila (2016) reporta que la remoción del colorante AMD, empleando solo borra de café, el mayor porcentaje de remoción corresponde al 43,8% a una concentración de 6 mg/dm³ usando 1,0 g de borra. Este porcentaje mejora significativamente con el carbón activado con ácido fosfórico al 20% m/v, llegando a remover porcentajes mayores al 85%.

B) Bioadsorbente

La adsorción es un método que se utiliza para eliminar los componentes de una mezcla gaseosa o líquida. El componente a separar se liga de forma física o química a una superficie sólida. El sólido recibe el nombre de adsorbente y el componente que se adsorbe en él se denomina adsorbato. La adsorción es un fenómeno de transferencia de masa y constituye una alternativa para la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales. En los cuales por lo general se desea retirar una impureza o un contaminante presente en el medio acuoso. Entre los requisitos que debe tener un material sólido para que pueda ser usado como

adsorbente se encuentran, gran superficie específica (gran porosidad), bajo precio, alta capacidad de adsorción y selectividad entre otros.

En contraste, la bioadsorción es un término que describe la eliminación de metales pesados por la unión pasiva o no viviente de biomasa a partir de una solución acuosa. Esto implica que el mecanismo de eliminación no está controlado metabólicamente. Mientras que, la bioacumulación describe un proceso activo mediante el cual la eliminación de metales requiere la actividad metabólica de un organismo vivo. Existe confusión con respecto al uso de los términos “bioacumulación” y “bioadsorción”. Con base en el estado de la biomasa, bioacumulación se define como un fenómeno sobre células vivas y bioadsorción como un fenómeno sobre celular muertas.

En los últimos años se ha diversificado la utilización de biomasa muerta (bioadsorbentes) como cascaras de coco, piñas de pino, la hoja de café, cascarilla de arroz, cascarilla de moringa oleífera, etc. Las cuales además de ayudar a reducir el problema de la toxicidad, presentan ventajas económicas, tanto de mantenimiento evitando el suplemento de nutrientes. Sin embargo, las células vivas pueden presentar una variedad más amplia de mecanismos para la acumulación de metales. El proceso de bioadsorción involucra una fase sólida (sorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente el agua) que contiene el material que van a ser sorbido (sorbato, iones metálicos, compuestos orgánicos). Este proceso continúa hasta que se establece un equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato enlazado al sólido. La afinidad del sorbente por el sorbato determina su distribución entre las fases sólida y líquida

La complejidad de la estructura de los materiales bioadsorbentes, implica que existen diferentes maneras por las cuales el metal puede ser capturado por los poros del adsorbente. Los mecanismos de bioadsorción son por tanto variados y dependen en cada caso del metal y del material sorbente. Cuando el proceso de bioadsorción ocurre en fase líquida generalmente se debe a las interacciones entre los solutos en solución y los grupos funcionales en la superficie del sorbente sólido. En todos los casos, los procesos de adsorción dependen de la naturaleza de la sustancia que se va a eliminar, de su estructura, características del sorbente y de condiciones experimentales.

La borra de café representa un residuo sólido al cual generalmente, permiten plantear que este residuo puede ser utilizado como material adsorbente. Por ejemplo, el residuo exhibe una buena capacidad para la retención del cromo trivalente presente en soluciones acuosas. Con una remoción entre el 68 y el 75%, para concentraciones máximas de 100 ppm del metal en la solución inicial (Angarita, 2013).

Considerando que la borra de café tiene un contenido residual de las sustancias propias de la bebida de café, es posible que estos contenidos residuales jueguen un rol de sustancias adsorptivas en la borra de café, aumentando su capacidad adsorbente; por esta razón, se podría explicar la incidencia de la temperatura de tostación del café verde en la capacidad adsorbente de la borra de café. (Angeles, 2009)

El verdadero reto en el campo de la bioadsorción es la identificación del mecanismo que gobierna la remoción de metales pesados por biosorbentes. Por lo tanto, la identificación de los grupos funcionales presentes en las biomásas y el estudio de los factores que afectan el proceso de bioadsorción (pH, concentración del ion metálico, tiempo de contacto, velocidad de agitación, superficie de contacto y dosis del materia sorbente) deben ser investigados. (Dávila, 2012)

La tabla 3.1 indica estudios e investigaciones de la borra de café de su capacidad de adsorber metales pesados como: Arsénico (V), Cadmio (II), Plomo (II) y Cromo (III), en cuerpos de agua contaminados con ellos, dando una eficiente remoción decentes en función de sus parámetros de operación.

Tabla 3.1

Investigaciones de procesos de bioadsorción de metales pasados mediante borra de café

Sorbente	Eficiencia de remoción	Tiempo óptimo de residencia	pH óptimo	Referencia
Arsénico (V)	65.26 % (2 µg/g borra de café)	2 h	4.697	(Proaño y Ramiro, 2011)
Cadmio (II)	43.3 mg/g borra de café	10 h	6.5	(Angeles, 2009)
Plomo (II)	68.3 mg/g borra de café	2 h	4.0	(Angeles, 2009)
Cromo (III)	55.55 mEq/100g de borra de café	30 min	5.8-5.5	(Guerra y Meléndez, 2009)

C) Biodiésel

El biodiésel es un combustible renovable, biodegradable y no tóxico que consiste en una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites vegetales o grasas animales, obtenidos por transesterificación de los triglicéridos, catalizada por ácidos o bases en presencia de alcoholes de cadena corta como metanol y etanol. El biodiésel es más costoso que los combustibles fósiles, lo cual ha limitado su utilización. El costo de producción de biodiésel se deriva principalmente del costo de la materia prima, el cual puede representar entre el 70-95% del costo total, principalmente por que se utilizan aceites vegetales de grado alimentario como materia prima. Sin embargo, el costo puede ser reducido usando materia prima de bajo costo, que no compiten con la producción de alimentos, el café siendo uno de los productos agrícolas cultivado en gran extensión en el mundo. Utilizado principalmente para la preparación del café como bebida (infusión), a partir de granos molidos, contando que la borra de café es el principal desecho de la industria y comercios dedicados a esta actividad (Urribarrí, y otros, 2014).

Este producto entra en los biocombustibles líquidos son usados en motores de encendidos por chispa (etanol y metanol) y en motores diésel (aceites vegetales y mezclas de ésteres metílicos, y la mezcla convencional de combustible diésel). Procesos convencionales de obtención de biodiésel se llevan a cabo mediante el uso de catalizadores básicos, normalmente homogéneos, y a partir de aceites vegetales refinados comestibles. Sin embargo, este modo de operación conlleva importantes desventajas, que pueden ser superadas mediante el uso de catalizadores ácidos heterogéneos. En este sentido, el reciente desarrollo de catalizadores sólidos ácidos basados en grupos sulfónicos y su utilización en procesos de obtención de biodiésel a partir de aceites vegetales ha demostrado la elevada actividad que presentan dichos materiales en reacciones de transesterificación de triglicéridos con metanol, la base del proceso de producción de biodiésel.

La producción de biodiésel a partir del aceite extraído de residuos de café tostado y molido, usando como disolvente para la extracción, de dicho aceite, dietil éter o etanol; la transformación del aceite en biodiésel se da mediante un proceso de transesterificación por catálisis ácida. La evaluación de la efectividad de extracción de aceite con dietil éter o etanol, se prueba con la caracterización del aceite extraído empleando los siguientes parámetros:

índice de acidez, estabilidad a la oxidación, viscosidad (40°C), índice de saponificación, densidad a 15°C, contenido en metales, perfil de ácidos grasos, contenido en agua, índice de yodo, análisis elemental, destilación simulada, cromatografía de capa fina y cantidad de materia saponificable (Risco, 2010).

Un estudio hecho por Rodríguez (2015) el potencial energético como biodiesel, por su contenido de aceites oscila su rendimiento entre 17 %, a partir de la borra que deja el café tostado y molido en los hogares, universidades y cafeterías. La borra fue sometida a secadores conductivos a 50 °C por 48 horas; posteriormente, se realizó la extracción del aceite con etanol al 96 % a 60 °C y bajo agitación de 600 revoluciones por minuto (rpm).

En el 2000, en Brasil, realizó un estudio para obtener aceites a partir de la borra de café, utilizando extracción con alcohol etílico como solvente, alcanzando unos rendimientos en el proceso del 82%, con una relación etanol: borra de 7:1 y una temperatura de 75°C, equivalentes a 25,6 kg de aceite/100 kg de borra seca. Si se considera una conversión a Biodiésel del 75%, se tendrían 19,2 kg de biodiésel, daría un rendimiento de 7,2 MJ/kg de borra seca. (Valencia, 2009). En el anexo IV se detallan los principios y productos de los procesos de transformación de la biomasa, como el biodiesel y demás alternativas para su aprovechamiento energético.

D) Biocombustible sólido

En forma de pellet, la borra puede convertirse en un biocombustible sólido. El proceso de peletización se define como la aglomeración de una biomasa en partículas más grandes o pellets, mediante esfuerzos mecánicos, presión, calor y humedad. Se realiza usualmente con biomásas lignocelulósicas como residuos de madera y agrícolas.

Dentro de los factores que afectan la peletización está la humedad de la biomasa, la presión de peletización, la temperatura del proceso y el tamaño de grano de la materia prima utilizada. La peletización se realiza mediante extrusión, siendo la propia lignina de la biomasa la que actúa como aglomerante, aunque en algunas ocasiones es necesario utilizar un porcentaje de otras biomásas o sustancias que actúen como pegamentos, tales como almidones, aserrín, lignosulfato, entre otros.

Aunque la borra tiene diferentes usos, la peletización resulta ser una opción interesante. Mediante la peletización se obtienen biocombustibles sólidos, los cuales son una materia prima densificada que da solución al problema del requerimiento energético. Con la densificación no solo se logra ayudar al proceso de combustión (aumentando el poder calorífico), sino también ayudar a solucionar los problemas asociados a la carga, transporte y almacenamiento del producto (aumentando la densidad).

Por tanto, pueden ser utilizados en la generación de energía a nivel doméstico e industrial. Para que los pellets puedan ser utilizados como un producto comercial, deben cumplir con las normas internacionales (ASTM, DIN, EU, etc.) donde se definen parámetros como la humedad, poder calorífico, resistencia a la abrasión, tamaño de partícula y forma de los pellets. La utilización más común de estas briquetas puede aplicarse para la generación de energía calorífica por lo tanto puede ser utilizado para calefacción, estufas de leña, para la generación de agua caliente, para utilización en barbacoas, etc.

En algunas fábricas de café soluble después de llevar la borra hasta una humedad del 15%, es utilizada como combustible en las calderas o para hacer carbón activado. Su valor calorífico esta entre 24,91 MJ/kg y 29,01 MJ/kg, mostrado en la tabla 3.2, que está en el rango del poder calorífico del carbón y superando a otros materiales utilizados.

Los parámetros a evaluar en los pellets son el contenido de cenizas, materia volátil, humedad, presión de peletización, poder calorífico superior y dureza de los pellets. Se estima que en los mejores pellets son aquellos elaborados con un contenido de humedad del 4% y 2% de aceite de palma como aglomerante, que reportan un poder calorífico de 23,54 MJ/kg, y una dureza de 3,13 kg, la cual se mide como la resistencia a la compresión de los pellets (Vargas, 2018).

Tabla 3.2*Características de combustión de diferentes biocombustibles sólidos (Vargas, 2018).*

Biocombustible sólido	Contenido de humedad (%)	Cenizas (%)	Poder calorífico (MJ/kg)
Phalaris arundinacea	4.7	5.5	19.5
Paja de trigo	8.6	7.9	17.617
Residuos de algodón	4.8	3.1	19.652
Residuos de soya	5.8	4.7	18.770
Residuos sólidos municipales	-	4.4	17.2
Pellets de madera	7.6	0.5	19.0
Pellets de cortezas	7.8	3.7	20.1
Tronco de madera	15, 26, 28	0.3	19.0
Carbón	4.6	4.7	26.070

E) Biogás

El biogás es un combustible que se genera con la degradación de la materia orgánica. Es muy habitual que se produzca en lugares como vertederos, que acumulan grandes cantidades de residuos sólidos que sufren procesos de descomposición (Tuset, 2019).

Se genera naturalmente o artificialmente por la digestión o degradación de materia orgánica mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas), en un proceso anaeróbico, es decir, en ausencia de oxígeno molecular. Está compuesto, fundamentalmente, por metano (CH₄), que varía aproximadamente entre 50% y 70%, y dióxido de carbono (CO₂), que varía entre 30% y 40%, a lo que se agrega la presencia de otros gases con porcentaje inferiores a 1%. La mayor o menor proporción de estos elementos dependerá del tipo de materia orgánica y de cómo se genera. Naturalmente, la digestión anaeróbica es muy frecuente en los humedales, fondos de lagos y otras aguas detenidas, por lo que se la conoce como “gas de pantano”, debido a la liberación de metano. En general, este biocombustible tiende a ser muy similar en su composición, por cuanto se produce a partir de reacciones químicas sobre elementos relativamente semejantes. Para la producción de biogás no existirían limitaciones en términos de materia orgánica. La madera o residuos leñosos son

desaconsejables, debido a que, por su contenido de lignina, presentan mayores dificultades para su descomposición anaeróbica, requiriendo de tratamientos enzimáticos. Son más apropiados para aplicaciones termoquímicas (Gutierrez, 2007).

En la producción de biogás, se tiene datos estimados de obtención entre 250 y 300 L/kg de sólidos volátiles de la borra, con un contenido de metano entre 52% y 62%, lo que equivale a un potencial calorífico de 5,90 MJ/kg de borra seca (Vargas, 2018).

F) Bioetanol

A partir de la separación de compuestos orgánicos presentes en la borra se puede producir etanol o alcohol etílico, insumo indispensable en la fabricación de numerosos productos.

Para lograr la producción del alcohol etílico a partir de la borra de café es necesario separar dos polímeros que posee el material vegetal: la lignina y la celulosa, esta última compuesta por moléculas de glucosa, que es de donde se extrae el alcohol. Tradicionalmente este proceso se realiza a base de catalizadores inorgánicos como los ácidos, los cuales tienen un impacto agresivo y tóxico al medioambiente.

Unimedios (2019) reporta en su artículo que el proceso inicia con la remoción de la lignina para trabajar solo con la celulosa, que es la fuente más importante de biomasa renovable disponible en la naturaleza. A partir de la separación de estos polímeros, indispensable en industrias como la producción de combustibles, que emplean materias primas que se agotan progresivamente, en especial el petróleo.

Obtener etanol por sacarificación y fermentación simultánea de la borra deslignificada, es decir después de la separación de la celulosa, fue la ruta que siguió el investigador para extraer el alcohol a partir del residuo de la borra de café. Se transforma la celulosa a etanol en una sola etapa, para lo cual empleó un complejo celulolítico y un microorganismo fermentativo resistente a altas temperaturas.

La obtención de una solución alcohólica con una concentración media de etanol del 10% v/v, a partir de borra de café, mediante procesos de sacarificación y fermentación simultánea, a partir del subproducto deslignificado. Estudios hechos a escala de laboratorio por Agudelo (2002) permitieron determinar, a partir de muestras de borra de 6g, que por cada 56,98 g de

celulosa se pueden obtener hasta 27,85 g de Etanol, siendo el contenido de celulosa en la borra es del 33,62%, lo que nos permite calcular que por 1 kg de borra seca se pueden obtener hasta 164 g de etanol. Teniendo en cuenta la densidad del etanol 791,5 g/L, se pueden obtener 207 ml de Etanol por cada kg de borra seca, equivalente a 4,42 MJ/kJ.

G) Gasificación

La gasificación no consiste en un proceso de combustión ni de incineración, en cambio, es un proceso que produce compuestos más útiles y de mayor valor a partir de material biomásico. Los procesos de combustión y gasificación convierten la materia biomásico en gases. Los objetivos de la combustión comprenden la descomposición térmica del combustible y genera calor. En contraste, el objetivo de la gasificación consiste en convertir la materia combustible en productos de mayor valor y más amigable con el ambiente, que pueden ser utilizados en una gran variedad de propósitos, incluyendo la síntesis de combustibles y la producción de energía. Los elementos que se encuentran en el material biomásico como carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno son convertidos en un gas de síntesis compuesto principalmente por monóxido de carbono, hidrógeno, agua y dióxido de carbono principalmente

Los residuos sólidos de los procesos de combustión y gasificación también son significativamente diferentes. El principal residuo de la gasificación a baja temperatura se compone de un material sólido con alto contenido de carbono comúnmente denominado como “char”; este residuo se compone por carbón sin reaccionar y material mineral presente en la biomasa. Además, este material es una fuente importante para la producción de carbón activado, que puede ser utilizado como absorbente. Por el caso de la gasificación de altas temperaturas el residuo principal consiste en una escoria que se compone de material inorgánico de la biomasa que se alimenta a gasificador y no puede ver vaporizado. En gasificadores con temperaturas de operación mayores a las del punto de fusión de las cenizas, estos residuos se vitrifican

La primera etapa del proceso de gasificación consiste en el secado de la materia prima, en esta sección se aprovecha el calor del reactor y de los gases de salida para que la biomasa sea secada. Posteriormente se genera una descomposición termoquímica que genera compuestos

volátiles y gases como CO, CO₂, NH₄ e H₂, además de alquitranes (“la celulosa es el mayor contribuyente a la generación de alquitranes” (Diaz, 2009)), hidrocarburos y residuos carbonizados. Normalmente se denomina como zona pirolítica, ya que la mayor parte de las reacciones no requieren de oxígeno para su desarrollo.

Se encuentra la zona de combustión, donde se inyecta un agente gasificante al proceso que puede ser aire, oxígeno puro, vapor de agua o incluso CO₂, de manera que se puede agregar a sistema calor mediante gases calientes como es el caso de la inyección de vapor y CO₂. Finalmente a aumentar la temperatura del sistema se pasa a sección de gasificación en donde se favorecen las reacciones gas-gas y sólido-gas de gasificación deseadas para la obtención fina del gas de síntesis.

En el diagrama se representan las secciones del proceso de gasificación de acuerdo a la altura del lecho de biomasa, así como la temperatura esperada y principales reacciones químicas para cada sección del proceso. Es importante tomar en cuenta que cada sección del proceso de gasificación se encuentra asociada a un ámbito de temperaturas específicas, por lo que para gasificadores de lecho fijo es posible notar claramente cada sección a lo largo del reactor. Para el caso de gasificadores de lecho fluidizado y flujo forzado debido a su configuración y condiciones de operación, no es posible diferenciar o separar cada zona específica a lo largo del reactor (Castillo, 2014)

Una representación gráfica de las secciones del proceso de gasificación de acuerdo a la altura del lecho de biomasa se puede observar en la figura 3.1.

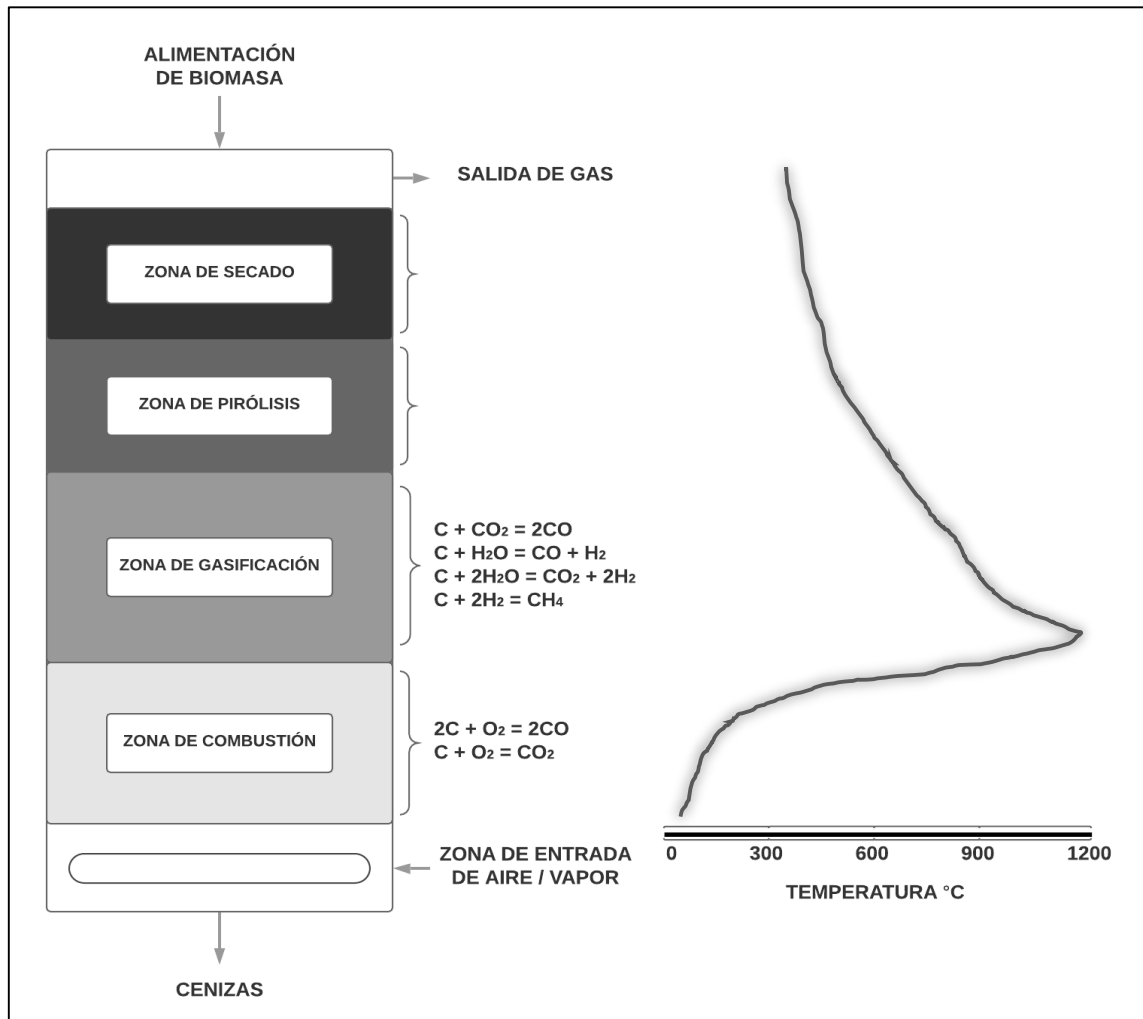


Figura 3.1 Secciones del proceso de gasificación para un gasificador tipo updraft (Castillo, 2014).

La identificación y caracterización de propiedades fisicoquímicas representa una etapa fundamental durante su investigación y aplicación, dado el análisis composicional determina en su la calidad, las aplicaciones potenciales y los problemas ambientales relacionados a cualquier combustible. La selección de los parámetros se realiza con base en lo establecido por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), la Agencia Internacional de Energía (IEA), normativas nacionales y otras fuentes, es importante mencionar que las propiedades fisicoquímicas de la biomasa son relevantes para el diseño adecuado del proceso.

No obstante, debido a la gran variabilidad de la biomasa, aún no se encuentra metodologías estandarizadas para el desarrollo de la totalidad de los análisis de caracterización requeridos para el caso de biomásas herbáceas o residuos agroindustriales. Es por ello, que muchos procedimientos analíticos para la borra de café se aproximan en las normas correspondientes a las establecidas para el caso de la madera (Gómez, 2018). En el anexo V muestra algunos procedimientos analíticos en la caracterización fisicoquímica de la biomasa usada para combustible.

Además del análisis fisicoquímico, las características físicas como la densidad real y aparente de los materiales, permiten conocer la densidad energética del material, de donde se evalúan aspectos clave del proceso como el transporte y almacenamiento del combustible. La cascarilla de café presentó una densidad real de $1,212 \text{ kg/m}^3$ y una densidad aparente de 314 kg/m^3 , estos valores son mayores a los correspondientes a la borra de café de 958 kg/m^3 y 124 kg/m^3 respectivamente. Debido a su estructura plana y su baja resistencia mecánica la cascarilla de café presenta una porosidad del lecho de 0.741, este valor es menor con respecto a la borra de café que presenta una porosidad de 0.870 (Castillo, 2014).

H) Aceite

El café tostado presenta un contenido de aceite fijo que varía entre 12% y 18% en peso, dependiendo de la variedad de café de que se trate. El aceite fijo contenido en el grano de café tostado tiene una composición química similar a la de muchos aceites vegetales comestibles tales como el de la semilla de algodón, soya, maíz, coco, oliva y linaza, entre otros; es líquido a temperatura ambiente y presenta una porción grande de insaponificables que varían del 7% al 12%. Al extraer este aceite, parte significativa del contenido aromático del café tostado, que varía según el método de extracción usado, sale con él. Existen algunos métodos de extracción con los cuales se obtiene un aceite con una alta carga volátil, la cual puede emplearse en diversos usos, principalmente en la rearomatización del café soluble. (López, 2007) Siendo el aceite de café un producto obtenido de la semilla triturada, contiene principalmente los ácidos grasos de palmítico, oleico y linoleico, la mayoría de los ácidos grasos que se encuentran como glicéridos en las grasas naturales pueden ser saturados o no saturados, estos tres ácidos grasos son los principales constituyentes en aceites y son los que

determinan sus propiedades (Arevalos, 1970). Solamente un 1% del aceite pasa a la bebida y la mayor parte queda en los residuos de extracción (Cenicafe, 2013).

Los rendimientos de extracción de aceites utilizando bencina de petróleo sobre café con diferentes tiempos de torrefacción arrojaron unos valores en el rango de 27 a 37g/250g de café tostado, equivalente al 10-15%. Para el caso del aceite extraído de la borra de café los rendimientos promedio fueron del 10%, comprobándose que muy poco aceite pasa a la bebida y que éste puede recuperarse casi completamente de la borra. De igual el café de calidad inferior se lograron obtener entre 70 a 150 kg de aceite/tonelada, el cual presentó un color oscuro. (Valencia, 2009)

Arévalo (1970) reporta que, de una tonelada de borra de café base seca, se da un rendimiento de aceite de 16%, equivalente a 320 lb de aceite, usando como solvente el éter de petróleo (también se puede utilizar hexano). El aceite extraído, con un alto número de saponificación, puede ser utilizado en la elaboración de jabones suaves, El ácido linoleico se encuentra en mayor porcentaje en el aceite de café y por su estructura química, que contiene dos dobles enlaces, y así dos puntos de mayor reactividad del oxígeno, es por esta razón que el aceite de café tiene propiedades secantes, como lo contiene el aceite de linaza y el aceite de semilla de soya; su similitud con este último, son fundamentos básicos para que pueda utilizarse en acabados y como aceite comestible.

Mientras que, Cenicafe (2013) expresa una extracción a partir de desperdicios de fábricas de solubles, los cuales se secaron en estufa y se extrajo el aceite por reflujo también de éter de petróleo, durante una hora y media. El rendimiento fue de 9% a 10% de aceite en promedio.

Es importante considerar influencia de externo como hongos en la borra de café, con 5 días después de generarlo en la preparación de la bebida, se da un aceite que solidifica después de la evaporar complemente el solvente y el permaneció líquido en 1 a 2 días el aceite de las borras. El olor se caracteriza por ser rancio, lo cual revela una perturbación por microbios, presumiblemente por hongos. Las borras no estériles que se dejan más de 10 días almacenadas, se observa el crecimiento espontáneo de pinucillum y el aceite solidificado

I) Papel/cartón

Los vegetales están constituidos básicamente por holocelulosa, lignina, resinas, aceites volátiles, ceras, taninos, proteínas, lípidos, ácidos, minerales y agua. La holocelulosa está constituida por celulosa (40 al 60%) y hemicelulosa (15-35%) la cual es utilizada para fabricar papel (García y Riaños, 1999).

La celulosa es el compuesto orgánico más común en la tierra y es el principal componente estructural de la pared celular en la biomasa. Su contenido en las plantas varía de un 90% para el algodón a un 33% para la mayoría de las plantas. Este compuesto es un homopolímero lineal de elevado peso molecular y grado de polimerización. Debido a su estructura la celulosa posee alta resistencia y altamente insoluble

La hemicelulosa forman cadenas ramificadas de menor grado de polimerización que la celulosa, por lo tanto, no posee zonas cristalinas. Además, los puentes de hidrógeno son menos eficaces, lo que hace que las hemicelulosa sean más accesibles a ataque de reactivos químicos y a la descomposición. A diferencia de la celulosa, no solo contiene unidades de glucosa, también están compuesta por diferentes unidades de monosacáridos como la pentosa y hexosa (Castillo, 2014).

La lignina es rica en carbono y está presente en un 20-25% en los vegetales; las resinas, las ceras y los taninos se hallan en cantidades variables, dependiendo del tipo de material vegetal. El agua generalmente constituye el 20 a 35% de las maderas. En el grano de café verde la mayor reserva de polisacáridos se encuentra en la pared celular constituida típicamente por microfibrillas de celulosa, envuelta por una fase continua de lignina, pectinas y hemicelulosa.

Su fraccionamiento solo es posible mediante la ruptura de los enlaces físicos, que ocurre debido a fuerzas secundarias, a los efectos polares acumulados por largas cadenas de polisacáridos y de algunos enlaces químicos covalentes de los compuestos. En la industria se utilizan métodos mecánicos, semi-químicos, químicos y biológicos para separar la celulosa de los otros componentes de la pared celular, según el uso y las características del material vegetal. A pesar de que los residuos de borra de café están constituidos por compuestos que pueden tener interés comercial, las mismas fábricas lo utilizan como combustible en las calderas (13% de la producción), otra parte es incinerada sin uso definido (27%) y el resto

equivalente al 60% o se utiliza en rellenos sanitarios. La borra de café tiene un contenido apreciable de fibra (57-71%), que puede aprovecharse para la producción de pulpas celulósicas ya sea para producir papeles, o como materia prima en la elaboración de productos con base en celulosa utilizando métodos químicos ampliamente conocidos, contemplados en anexo VI (García y Riaños, 1999).

Extraer su contenido celulósico brinda la oportunidad de producir papel y cartón, barnices celuloideos, seda artificial y muchos otros compuestos, reemplazando otras materias primas que causan impactos ambientales (Díaz, 2009).

Las condiciones óptimas del proceso recaen en las etapas de los procesos de maceración, decoloración, extracción, digestión y blanqueo, utilizado para aislar, purificar y caracterizar las pulpas celulósicas a partir de borra de café.

El uso de celulosa para obtener papel y cartón se puede implementar y reutilizar el residuo en la misma cadena productiva del café, permitiendo cerrar ciclos al utilizar sus propios residuos.

Sus posibles aplicaciones dentro de la cadena productiva, se tiene las siguientes:

- a. Empaques de papel para café soluble
- b. Envases para bebidas (vasos desechables de cartón)
- c. Filtros de papel para preparar bebidas
- d. Individuales de papel
- e. Servilletas
- f. Bandejas de cartón para contener y sostener bebidas
- g. Caja de cartón
- h. Bolsas de papel
- i. Productos publicitarios
- j. Material de papelería

Los contenidos celulósicos sobresalen en cantidad en cada uno de los residuos mostrados en la tabla 3.3, en el caso del pergamino y la borra de café poseen los más altos contenidos.

Tabla 3.3

Contenido celulósico en residuos de café (Díaz, 2009)

Residuo	% Celulosa y hemicelulosa
Pulpa de café	30%
Mucílago	17%
Pergamino	57%
Borra	36%

J) Colorante Natural

Los colorantes son incorporados a un sustrato o productos en diversas industrias, este adquiere un color relativamente permanente, siendo estos solubles en el medio que se aplica; da al producto final una característica propia.

El uso de los pigmentos naturales como colorantes depende de sus costos de extracción de fuentes naturales. La borra de café entra como un colorante natural de origen vegetal.

Durante la extracción sufren las mismas reacciones que en su aplicación: oxidación, foto oxidación, formación o pérdida de complejos metálicos, isomerización. Además, en altas concentraciones pueden precipitarse y polimerizarse y son menos estables que los colorantes inorgánicos.

Cevallos y Guerrero (2017) informan que el uso de borra de café resulta un colorante caramelo al 89% de humedad por medio del uso de dos tipos de solventes, etanol al 96.8% y cloroformo, dando un rendimiento de generación del colorante de 10,15%. Esto con la aplicación de un proceso de extracción sólido-líquido que se basa principalmente en la interacción de la muestra y el disolvente es decir la separación de una mezcla de sustancias por disolución de cada componente.

Dicho colorante natural puede ser utilizado en industria farmacéuticas en algunos productos farmacéuticos y jarabes, producción de cosméticos, y pinturas.

3.3 Usos en la Industria de Alimentos

A) Colorante comestible

En la actualidad el interés y demanda de los colorantes naturales ha tenido un aumento significativo en el mercado de nuevos productos; debido a que es asociado a un uso seguro en el alimento con beneficios en la salud. La borra de café es capaz de aplicar extracción de un colorante alimenticio rojo, haciendo un análisis fisicoquímico de pH, concentración de iones calcio, con y sin luz y temperatura, así se logra visualizar la variación del color y el contenido de antocianinas totales, además, es importante tener en cuenta la cinética de la reacción de degradación de las antocianinas manoméricas totales, presentes en el extracto ante el efecto de la temperatura.

En la borra de café de la variedad *Coffea arabica*, se pueden encontrar cuatro clases principales de polifenoles: flavanoles, ácido hidroxicinámico, flavonoides y antocianinas. Para el año 2010, se habían logrado identificar la presencia de las antocianinas, cianidina-3-rutinósido y cianidina-3-glucósico y su aglicona como las principales antocianinas, las cuales son las responsables de brindar los colores violetas o rojo oscuro cuando el grano está maduro. Las antocianinas son un grupo de pigmentos de color rojo, hidrosolubles, ampliamente distribuidos en el reino vegetal (Ortíz, Reza, Chew y Meza, 2014).

Están ampliamente presentes en alimentos tales como las uvas, manzanas, arándanos, moras, fresas, cerezas, uvas, rábanos, maíz morado, entre otros. Son flavonoides que pertenecen a una gran familia de polifenoles presentes en las plantas y que dan los colores a muchas frutas y flores observadas en la naturaleza. Su estructura se basa en un esqueleto de 15 carbonos que forman un anillo cromado que lleva un segundo anillo aromático B en la posición 2; ésta se complementa con una o más moléculas de azúcar unidas en diferentes posiciones de hidroxilación de la estructura básica. Por lo tanto, las antocianinas son: antocianidinas + azúcares → antocianinas. La presencia de azúcar confiere a la molécula de antocianinas una gran solubilidad y estabilidad. En la figura 3.2 representa la fórmula molecular de las antocianinas.

La degradación de las antocianinas puede ocurrir durante su extracción, su procesamiento y almacenamiento. Por lo tanto, un conocimiento correcto de los factores que rigen la

estabilidad de antocianinas, es decisivo en términos de una aplicación en matrices de alimentos con función como colorante. (Villanta, 2016)

De acuerdo a, Campos (2018) el pigmento obtenido de residuos de café es una buena alternativa como fuente natural de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante. La obtención del pigmento para productos alimenticios a partir de residuos de café, es una alternativa para el aprovechamiento de este desecho orgánico, que a la vez permite fomentar el uso de colorantes naturales como aditivos en alimentos.

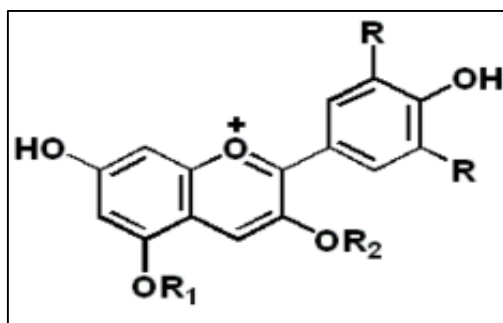


Figura 3.2 Estructura general de las antocianinas. R1 y R2 pueden ser H o azúcares, R pueden ser OH o H. (EcuRed, 2017)

3.4 Otros usos

A) Cosméticos

Las principales propiedades que el café que otorgar sobre la piel son sus efectos desintoxicantes y diuréticos. Sus primeros usos fueron para tratamientos de mesoterapia, donde se descubrió que el efecto de la cafeína sobre las varices era realmente bueno y ayudaba a una mejor circulación de las piernas y al mismo tiempo evitaba la aparición de nuevas varices (Gonzales, 2010).

Hecho de Café (s.f) ha formulado a partir de la borra de café jabones exfoliantes, exfoliantes corporales y mascarillas capilares, visto en la figura 3.3



Figura 3.3 Jabón exfoliante, exfoliante corporal y mascarilla capilar a base de borra de café, respectivamente (*HechodeCafé, s.f.*)

Siguiendo análisis fisicoquímicos y microbiológicos, normativas y reglamentos establecidos para cosméticos, con excelentes resultados para la piel, como exfoliantes, anticelulíticas, reafirmantes, energizantes, rejuvenecedoras (es un antioxidante, por lo que frena la acción de los radicales libres, mantiene los tejidos de la piel jóvenes y evita la aparición prematura de signos de envejecimiento), desodorizante aportando un agradable aroma a la piel. La cafeína es una de las mejores sustancias para combatir las ojeras oscuras, ya que reactiva la microcirculación sanguínea de la zona, descongiona y reduce la inflamación, también se ha descubierto que la cafeína bloquea el efecto del DTH, que es una hormona que potencia la pérdida de pelo.

Al utilizar la borra de café ayudará que el cuero cabelludo se oxigene y quede libre de todos los químicos, siliconas y residuos que se hayan podido acumular afectando a su buen crecimiento. En el anexo VII se define los ingredientes y su pH para su uso en productos del cuidado de la piel.

La borra del café posee fibra y compuestos fenólicos, unos micronutrientes. De hecho, la composición de esta material resulta 500 veces más poderosa que la vitamina C, lo que constituye una actividad antioxidante muy elevada. Por ello, es ideal utilizar este residuo como exfoliante para el cutis y cuerpo. Su textura ligeramente áspera permite eliminar las células muertas de la piel, estimulando su renovación; y al ser un antioxidante natural, protege de los radicales libres (García, 2008)

B) Aromatizante/ambientador

Dentro del mundo de las composiciones aromáticas, se utilizan esencias puras naturales, esencias naturales que han sido rectificadas, aceites esenciales naturales y sintéticos, aromatizantes todos ellos combinados con otra serie de productos químicos como alcoholes, o disolventes, empleados a la hora de elaborar perfumes y ambientadores.

Son muy pocos los aromatizantes naturales totalmente puros que puedes encontrar en las típicas varitas de incienso, aceites esenciales, perfumes, o ambientadores. Cuando se habla de aroma para referirse a un olor en general, mientras que cuando hablamos de fragancia se trata de un olor muy agradable que puede incluso ser intenso, pero que no se mantiene de forma continua. Las esencias por su parte son moléculas olorosas producidas por unas glándulas que se encuentran en la composición de determinadas plantas que están catalogadas como aromáticas, y que se extraen principalmente con procesos de destilación y de expresión.

Como resultado del proceso de destilación de algunas plantas se obtienen moléculas aromáticas que se recogen en forma de gotas, que es el aceite esencial, y para que este sea puro, debe contener un 100% de estas moléculas naturales, en proporciones adecuadas para mantener el equilibrio de la composición, sometidos a determinadas temperaturas, y tiempos de proceso. En la industria de la perfumería y ambientación, para reducir costes de producción, se utilizan habitualmente aceites esenciales reconstituidos en los que existe una mezcla de moléculas aromáticas procedentes de la destilación de plantas variadas (Pro-air, 2018).

El aroma del café es debido a la alta cantidad de compuestos odoríferos que presenta el café tostado, por efecto de transformaciones y degradaciones químicas, logradas al someter el café verde a un proceso térmico (tostión) (López, 2007).

El café se encuentra dentro de los aromas llamados marrones derivan su nombre del color de la materia prima de donde se obtienen. Predominan los aromas de chocolate, que en la actualidad tienen múltiples variedades y mezclas que se pueden preparar en el laboratorio de fragancias y para crear aromas personalizados.

Son muy populares los aromas derivados del café y caramelo, con muchas opciones, tales como: expreso, capuchino, café moca. Por último, los frutos secos también tienen sus aromas, aunque son menos usados en la industria de alimentos y bebidas (Pro-air, 2018).

El aroma persistente de la borra de café es un buen repelente de insectos, babosas, caracoles y hormigas, y puede ser capaz de alejar a los visitantes indeseados en tus plantas. Y con solo agrega a la compostera, es eficaz para combatir las mosquitas y los olores que suelen aparecer a medida que las frutas y vegetales se van degradando (García, 2016).

En este contexto, con una taza de borra de café y colócalo en la parte posterior de la nevera durante un par de semanas, se convierte en un absorbedor de olores.

C) Desarrollos Gastronómicos

Las borras de café siguen teniendo entre 3.59 a 8.09 miligramos de cafeína por cada 1 gramo de borra de café, además de gran intensidad de sabor en cualquier preparación que se utilicen, como en productos de pastelería, biscochos y galletas, hacen de este “residuo” un producto de alto valor gastronómico.

Se han valorado distintas técnicas para poder utilizar las borras por completo, técnicas muy cotidianas como la cocción de vegetales en borras para aromatizar cualquier preparación o técnicas más complejas como la fermentación; siendo finalmente desarrolladas: la cocción en horno, la kombucha (bebida fermentada), el crecimiento de hongos comestibles en sustrato de café y finalmente un aromatizante de caldo en base al micelo/borras/heno o paja, logrando un ciclo completo (Prado, 2017)

D) Elaboración de estructurales

Hecho de café (s.f) ha demostrado que, a partir de la transformación del café se pueden obtener elaboraciones estructurales del mismo como, por ejemplo, en cerámicas, tipo vasijas, porcelanas, artesanías de todo tipo, marcos para cuadros, bases tipo madera, vaciados, aglomerados, y con todo tipo de mezclas que enriquezcan los resultados de los mismos, para producir pisos, puertas, bases de madera, comedores, mesas, sillas, divisiones, vasijas, pocillos, entre muchos otros etc. Los aglomerados son materiales estables y de consistencia uniforme, tienen superficies totalmente lisas y resultan aptos como bases para enchapados.

Utilizando una prensa y materiales de insumo como urea formaldehído, melanina, almidón, sulfato de amonio y fibras naturales. Se somete a un proceso de secado con el fin de llevarla a un rango de entre 5 y 10% de humedad a temperatura ambiente, el proceso puede tardar de 3 a 4 días, realizado con la norma ASTM D 4442-07 “métodos de prueba”, el cual cubren la determinación del contenido de humedad de la madera maciza, las chapas y otros materiales a base de madera, incluidos aquellos que contienen adhesivos y aditivos químicos, sometido a pruebas de resistencia, aglomeración, variando porcentajes de sus componentes, temperaturas y presiones. presentadas en la figura 3.4 y figura 3.5. En el anexo VIII se presenta el proceso de elaboración de estas tablas.



Figura 3.4 Resultado de las pruebas a las tablas a partir de borra de café (HechodeCafé, s.f.)



Figura 3.5 Obtención final de la tabla a partir de borra de café (HechodeCafé, s.f.)

3.5 Condiciones de generación de la borra de café

El mercado mundial del café se ha caracterizado históricamente por la concentración existente a nivel de empresas comercializadoras y tostadoras. Aunque a raíz del rápido crecimiento de los cafés especiales han aumentado los tostadores en pequeña escala, los grandes volúmenes de café siguen siendo comercializados por las multinacionales que tradicionalmente han dominado esas actividades. En esta última década han ocurrido aún más fusiones y adquisiciones de estas empresas a nivel global, aunque también han surgido nuevos competidores. (Figueroa, Pérez y Godínez, 2015)

Con este panorama sumado al consumo de café a nivel de consumidor final que lo componen por empresas, instituciones públicas y privadas, restaurantes, aeropuertos, establecimientos de panadería y repostería, cafeterías, hogares consumidores de café tostado y molido, etc. Haciendo a la borra un residuo de gran alcance, donde sus disposiciones finales, convergen en depositarlas en los jardines o lugares indiferentes con tierra, más próximos y su descarte con los desechos sólidos urbanos, provocando la descomposición del residuo y en efecto malos olores, contaminación por gases invernaderos en cierta medida, por su inadecuada disposición.

Las condiciones que se generan recaen principalmente en su nivel de humedad, tanto por el agua agregada para preparar la bebida como la humedad del ambiente que es adquirida por la borra de café, además eso causa que la borra adquiera impurezas microbiológicas y hongos que en ocasiones no son favorecedores para su aprovechamiento.

SEGUNDA PARTE

ESTUDIO EMPÍRICO DE LA

VALORIZACIÓN DEL

RESIDUO

CAPÍTULO IV. GENERACIÓN DE LA BORRA DE CAFÉ EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.

4.1 Organización del campus central de la Universidad de El Salvador

La Universidad de El Salvador (UES), es la institución de educación superior más grande y antigua de El Salvador, y la única universidad pública del país. Cuenta con 9 facultades en el Campus Central de San Salvador (Ciudad Universitaria) y 3 más a nivel nacional que en conjunto imparten 169 carreras de educación superior. (UAIP-UES, 2015). En el anexo IX y anexo X se presenta el organigrama institucional y croquis, respectivamente.

4.1.1 Entorno geográfico

La UES se encuentra ubicada entre la Autopista Norte, Calle Circunvalación Universitaria y la Avenida Don Bosco. Rodeada de zonas comerciales, habitacionales, institucionales, de Salud y de Educación. Las calles de acceso al campus central se encuentran en la 19 Avenida Norte, Autopista Norte, calle Circunvalación Universitaria, Avenida Don Bosco o calle San Antonio Abad y el Bulevar de los Héroes. Está localizada, por tanto, en una zona urbana desarrollada que cuenta con todos los servicios básicos (electricidad, Alcantarillados de aguas negras, aguas lluvias, recolección de desechos sólidos); se podría decir en el aspecto social que se encuentra en colonias de zonas vulnerables, por el cierto grado de peligro y delincuencia, además, en el aspecto físico por estar cerca de una quebrada al lado norte del campus.

4.1.2 Facultades del campus central de la UES

En la tabla 4.1 se presenta la información sobre las Escuelas/Unidades, Edificios, así como de la composición del recurso humano (número de personal académico y administrativo) de las 9 facultades y las oficinas centrales del campus central de la UES (UAIP-UES, 2015).

En el anexo XI y anexo XII se presenta detalladamente la cantidad de personal administrativo y docente.

Tabla 4.1*Composición y cantidad del personal docente y administrativo de las facultades del campus central de la UES*

Facultad	Escuelas/Unidades	Edificios	Cantidad de personal		
			Docente	Administrativo	Total
Facultad de Medicina	Escuela de Medicina Escuela de postgrado Escuela de Tecnología Medica	Aula de enfermería Biblioteca Edificio de medicina	150	390	540
Facultad de Ciencias Económicas	Edificio Administrativo de Economía Edificio de Administración Edificio de Aulas de Economía Proyección social	Escuela de Administración de Empresas Escuela de Contaduría Pública Escuela de Economía Escuela de Mercadeo Internacional Escuela de postgrados	96	64	160
Facultad de Ciencias y Humanidades	Edificio de Arte y Cultura Edificio de Periodismo y Letras Edificio de Psicología y Educación Escuela de Trabajo Social Escuela de Trabajo Social Auditorio N°3 Auditorio N°4 Aulas de Humanidades Edificio Administrativo Edificio Administrativo de Ciencias y Humanidades	Administración Financiera Unidad de Planificación CENIUES Intendencia Administración Académica Escuela de Artes Plásticas Escuela de Ciencias Sociales Escuela de Posgrado	-	-	567**
Facultad de Jurisprudencia y ciencias sociales	Aulas de Derecho Socorro Jurídico Edificio de Jurisprudencia y Ciencias Sociales	Acceso a la Información Pública Administración Financiera Escuela de Ciencias Jurídicas Escuela de Relaciones Internacionales Posgrado Recursos Humanos	115	43	158

Continúa.

Tabla 4.1*Composición y cantidad del personal docente y administrativo de las facultades del campus central de la UES (Continuación)*

Facultad	Escuelas/Unidades	Edificios	Cantidad de personal		
			Docente	Administrativo	Total
Facultad de Ingeniería y Arquitectura	Auditórium Miguel Mármol Biblioteca de Ingeniería y Arquitectura CIAN Edificio Administrativo Edificio de Ingeniería Civil Edificio de Ingeniería Eléctrica Edificio de Ingeniería Mecánica Edificio de potencia Edificios de aulas B, C y D Intendencia Unidad de Ciencias Básicas	Escuela de Arquitectura Escuela de Ingeniería Civil Escuela de Ingeniería Mecánica Escuela de Ingeniería Industrial Escuela de Ingeniería de Sistemas Informáticos Escuela de Ingeniería Eléctrica Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos Escuela de posgrado	100	192	292*
Facultad ciencias Agronómicas	Edificio Administrativo de Agronomía Ciencias Agronómicas Aulas y Maestrías Laboratorio de Recursos Naturales Laboratorio de Empaques y Embalaje	Unidad de Posgrado y Educación Continua Departamento de Desarrollo Rural Departamento de Fitotecnia Departamento de Medicina Veterinaria Departamento de Protección Vegetal Departamento de Química Agrícola Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente Departamento de Zootecnia	75	100	175
Facultad de Odontología	Edificio Administrativo Edificio de Aulas y Laboratorios Auditórium de Odontología	Dirección de Educación Odontológica Dirección de Clínicas	66	74	140

Continúa.

Tabla 4.1*Composición y cantidad del personal docente y administrativo de las facultades del campus central de la UES (Continuación)*

Facultad	Escuelas/Unidades	Edificios	Cantidad de personal		
			Docente	Administrativo	Total
Facultad de Química y Farmacia	Administración Académica Laboratorios Aulas Biblioteca	Departamento de Química e Industrial Departamento de Química, Física y Matemática Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica Departamento de Bioquímica y Contaminación Ambiental Departamento de Desarrollo Académico Administración Académica	54	95	149
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas	Edificio de Biología Edificio de Física y Matemáticas Auditorio de Ciencias Naturales y Matemáticas Edificio de Química Laboratorio de Química Oficinas de MINED y Aulas de Ciencias Naturales Departamento de Matemáticas	Escuela de Matemáticas Escuela de Química Escuela de Física	63	114	177
TOTAL, DE PERSONAL (En las 9 facultades)			2,358		

*Datos actualizados en 2017 por unidad de acceso a la información pública de la FIA-UES

**Dato dado directamente de la facultad en cantidad total

4.1.3 Instancias centrales de la UES

La Institución universitaria consta de instancias o dependencias centrales que ejecutan actividades administrativas y administrativas-académicas, relacionadas con el cumplimiento de las funciones de gobierno universitario y de administración del funcionamiento general de la universidad a través de unidades, jefaturas, secretarías. Estas instancias se ubican en los edificios de oficinas centrales y de rectoría. La cantidad de personal que labora en las mismas considerando un estimado de 200 personas. A continuación, se listan las unidades, jefaturas, secretarías por las que están compuestas las dependencias centrales:

- a. Rectoría
- b. Vicerrectoría Académica
- c. Vicerrectoría Administrativa
- d. Secretaria General
- e. Consejo Superior Universitario
- f. Asamblea General Universitaria
- g. Defensoría de los Derechos Universitarios
- h. Fiscalía General
- i. Bienestar Universitario
- j. Complejo Deportivo
- k. Unidad de Estudios Socioeconómicos
- l. Unidad de Recursos Humanos
- m. Soporte Técnico, Redes y Servicios
- n. Académica Central
- o. Auditoría Interna
- p. Librería Universitaria
- q. Secretaria de Comunicaciones
- r. Archivos Central
- s. Cabina Radio YSUES
- t. Consejo de Becas
- u. Postgrado
- v. UACI-UES
- w. Secretaria de Arte y Cultura
- x. Secretaria de Planificación
- y. Contabilidad, Presupuesto, Tesorería
- z. Unidad Financiera Institucional
- aa. Desarrollo Físico
- bb. Instituto de Estudios Históricos
- cc. Instituto de Formación y Recursos Pedagógicos (INFORP-UES)
- dd. Unidad Técnica de Evaluación
- ee. Unidad Técnica de Gestión de Calidad
- ff. Centro de Estudios de Género
- gg. Gerencia General
- hh. Conciliaciones y Depuraciones Bancarias
- ii. Educación a Distancia
- jj. Centro de Salud Universitario
- kk. Estación Meteorológica
- ll. Fondo Universitario de Protección
- mm. Unidad de Ingreso Universitario
- nn. Cooperativa Universitaria
- oo. Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD)
- pp. Librería

4.2 Metodología para el estudio

El estudio está enfocado en estimar una tasa de generación de la borra de café extraída de cafeteras, específicamente en cafeteras secretariales para dar más homogeneidad a los resultados; además, se tratan dos tipos de café, siendo el tipo A el grupo donde entra el café proporcionado en el campus central de la UES a los docentes y administrativos. Previo a esto se hace un análisis teórico donde utilizando la información del inciso 4.1 y los factores de conversión de las etapas del café dado por ICO (2011), se da una cantidad de borra de café en función del número de personal docente y administrativo en todo el campus central.

Dado la magnitud del área de estudio, se toma a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA-UES) como una muestra representativa del campus central, por lo tanto; para el cálculo de la tasa de generación de la borra se guía en la información proporcionada por dicha facultad, replicando las condiciones para la generación de la borra de café, se sigue la preparación estándar de la bebida de café en cafetera, con la proporción de 10 g de café tostado y molido por 240 ml de agua (una taza), con esto se escala a cantidades que en la cotidianidad se preparan en cada ciclo de funcionamiento de la cafetera, en consecuencia se genera la borra de café, tomando el dato en gramos generados, llevándolo a triplicado. Con los resultados y la cantidad de café tostado y molido empacado en un año académico que se brinda en FIA-UES, se procede a obtener la tasa de generación de borra de café anual.

4.2.1 Planteamiento metodológico para la investigación diagnóstica de la generación de borra de café en el campus central de la UES.

ICO (2011) dispone de factores de conversión teóricos de diferentes estados del grano de café, desarrollados a continuación para el café tostado y molido y los sólidos secos del café contenidos en el café líquido borra de café:

$$\begin{aligned} \text{Grano verde} &= \text{Peso neto de café tostado} * 1.19 \\ \text{Grano verde} &= \text{Peso neto de borra de café base seca} * 2.60 \end{aligned}$$

Para 1 kg de Café tostado.

$$\begin{aligned} 1 \text{ kg de café tostado} * 1.19 &= 1.19 \text{ kg de grano verde} \\ \frac{1.19 \text{ kg de grano verde}}{2.60} &= 4.58 \times 10^{-1} \text{ kg de borra de café} \end{aligned}$$

Es decir, que por cada 1 kg empacado de café tostado se genera aproximadamente 0.458 kg de borra de café en base seca.

La CSC (2016) reporta que el per cápita de El Salvador para el año 2016 es de 2.70 kg, tomando en cuenta el dato con una aproximación hasta la fecha, se tiene que cada salvadoreño consume 2.70 kg anuales de café, dando como resultado 1.24 kg de borra de café por persona. En la tabla 4.2 se presenta la borra de café teórica generada entre las facultades y oficinas centrales de la UES, de acuerdo al consumo de café per cápita.

Nota: No se separa entre consumo de café soluble y café tostado, por lo tanto, se asume que los 2.7 kg son provenientes del consumo de café tostado y molido, y que todo el personal consume café proporcionado por la UES durante sus horas laborales, para efectos de cálculos a groso modo.

Ejemplo de cálculo:

$$\text{Factor: } 0.458 \text{ kg de borra de café / kg de café tostado y molido}$$

Para Facultad de Ingeniería y Arquitectura

$$292 \text{ personas} \times \frac{2.70 \text{ kg de café tostado y molido}}{\text{persona}} = 788.4 \text{ kg de café tostado y molido}$$

$$788.4 \text{ kg de café tostado y molido} \times \frac{0.458 \text{ kg de borra de café}}{\text{kg de café tostado y molido}} = 360.9 \text{ kg de borra de café}$$

Tabla 4.2

Consumo de café molido y tostado en el campus central de la UES al año

Consumidores	Cantidad neta de personal	Consumo de café tostado y molido, per cápita anual (kg)	Cantidad de borra generada anual (kg)
Facultad de Medicina	540	1,458	667.3
Facultad de Ciencias Económicas	160	432	197.7
Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Sociales	158	426.6	195.3
Facultad de Ingeniería y Arquitectura	292	788.4	360.9
Facultad de Ciencias y Humanidades	567	1,530.9	700.7
Facultad de Ciencias Agronómicas	175	472.5	216.3
Facultad de Odontología	140	378	173.1
Facultad de Química y Farmacia	149	402.3	184.1
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas	177	477.9	218.7
Oficinas Centrales	200	540	247.2
TOTAL	2,558	6,907	3,161.2

El consumo estimado teórico de café tostado y molido en el Campus Central de la UES se encuentra en 6,907 kg anuales, en efecto esto provoca la generación de residuo de borra de café respectivo con unos 3,161.2 kg al año.

Tomando como objeto de estudio representativo para el Campus Central a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, de esta forma poder definir y predecir la situación real que se presenta con la borra del café que se están generando, es importante analizar el consumo de café tostado y molido, como primer punto en la búsqueda de alternativas de aprovechamiento y valorización de los residuos, por tanto, este diagnóstico está enfocado a partir de datos de compra-consumo de café tostado y molido, proporcionados por la unidad financiera de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA), anualmente se compran en la unidad financiera entre 600 lb a 800 lb de café tostado y molido en empaques individuales, para efectos de análisis posteriores, se atenderá este dato con el promedio de dichas cantidades de 700 lb al año.

La logística de la compra de café tostado y molido es establecida por la Unidad de Adquisiciones y Contrataciones Institucionales (UACI), la unidad financiera de cada facultad solicita al año el café tostado y molido en presentación de 1 lb de Café gourmet “Las Tinieblas estate” y “Coscafé”, siendo distribuidos según la demanda y consumo de las Unidades y Escuelas de las facultades del campus, indiferente a cada cuanto tiempo se solicita el insumo.

4.2.2 Tasa de generación de la borra de café

Para estimar la tasa de generación de la borra de café, por kg de café tostado y molido, se dictó el siguiente procedimiento, por triplicado:

- Pesar el café tostado y molido (C), precisión ± 0.1 g.
- Medir el volumen de agua que se agrega a la cafetera.
- Hervir el café de acuerdo con el ciclo de la cafetera.
- Medir el volumen total de la bebida de café.
- Pesar los residuos sólidos de la bebida (B), es decir la borra húmeda.

La tasa de generación borra de café a partir del consumo de café tostado y molido, se calcula así:

$$\text{Tasa de generación de borra de café [T]} = C/B$$

[kg de borra de café seca/kg empacado de café tostado y molido].

En este procedimiento se usó dos tipos de café: tipo A (Don Kafé, café bourbón cultivado en Santa Ana) y tipo B (Café gourmet selectos, cultivado en la finca la Hondurita en Alotepec en Metapán, San Ana), mostrados en la figura 4.1. Usando una cafetera secretarial Waringpro de 55 tazas y de 120 V, con la cantidad de 10 g de café por taza de café (240 ml) y 20 minutos por ciclo de la cafetera; dando los resultados en la tabla 4.3.



Figura 4.1 Café tipo A y tipo B utilizados para calcular la tasa de generación de borra de café

Tabla 4.3

Resultados de las pruebas de tasa de generación de la borra de café en cafetera secretarial

Tipo	N° Prueba	Peso de café tostado y molido (g)	Cantidad de agua (L)	Cantidad de bebida (L)	Peso de borra de café (g)	T de cafetera terminado el ciclo (°C)	T de borra a extraerla (°C)
A	1	100	2.4	2	320.7	85	50.5
	2	100	2.4	1.9	320.7	85	60
	3	100	2.4	1.9	330.7	85	60
Promedio				1.93 (2220 g)	324.03 ± 5.77	85	56.8
Masa de borra seca (74.73%*)					81.88 g		
B	1	50	1.2	750	130.7	85	46
	2	50	1.2	750	120.7	85	42
	3	50	1.2	750	120.7	85	45
Promedio				750 (980 g)	124.03 ± 5.77	85	44.3
Masa de borra seca (70.91%*)					36.08 g		

*Resultados de contenido de humedad se encuentra en el capítulo VI

Tasa de generación de borra de café, preparando la bebida de café en cafetera secretarial de los dos tipos de café se tiene que:

$$Tasa\ para\ la\ borra\ de\ café\ tipo\ A = \frac{81.88}{100} = 0.818 \frac{kg\ borra\ de\ café\ seca}{kg\ café\ tostado\ y\ molido}$$

$$Tasa\ para\ la\ borra\ de\ café\ tipo\ B = \frac{36.08}{50} = 0.7216 \frac{kg\ borra\ de\ café\ seca}{kg\ café\ tostado\ y\ molido}$$

En el caso del tipo A de café tostado y molido, para estimar las pérdidas que se dan en la extracción de la borra de café de la cafetera, a continuación, el balance de masa global:

$$m_{café\ tostado\ y\ molido} + m_{agua} = m_{bebida} + m_{borra\ húmeda} + m_{pérdidas}$$

$$100g + 2440g = 2220g + 324.03g + m_{pérdidas} \qquad m_{pérdidas} = 4.03g$$

Por lo tanto, es posible establecer la cantidad de borra de café en promedio anual en la FIA-UES, considerando que se consume en totalidad el café solicitado y la gama de café (tipo A), que se proporciona en la facultad, es la siguiente:

$$m_{borra\ generada/año} = 0.8188 \frac{kg_{borra\ de\ café\ seca}}{kg_{café\ tostado\ y\ molido}} * m_{café\ tostado\ y\ molido\ consumido/año}.$$

$$m_{borra\ generada/año} = 0.8188 \frac{kg_{borra\ de\ café\ seca}}{kg_{café\ tostado\ y\ molido}} * 317.51\ kg_{café\ tostado\ y\ molido\ consumido/año}.$$

$$m_{borra\ de\ café\ generada/año} = 259.98\ kg$$

Considerando que el consumo se realiza en los 10 meses de mayor actividad en el campus.

$$m_{borra\ de\ café\ generada/mes} = 26\ kg\ de\ borra\ de\ café\ seca$$

Con pérdidas por extracción y traslado alrededor de 4.03g de borra húmeda por cada 324.03g de borra húmeda extraída, es decir, 12.4 mg de perdida por cada g de borra húmeda.

4.2.3 Generación de borra de café en el campus central de la UES

De acuerdo con las 700 lb de café tostado y molido de consumo anual por los 292 miembros del personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura se puede estimar el consumo total del Campus Central de la UES para un personal docente y administrativo que se ubica alrededor de 2,558 miembros, en 2,781.52 kg de café tostado y molido anuales. Además, teniendo en cuenta que la tasa experimental de conversión es de 0.818 kg de borra por kg de café tostado y molido se estima una generación anual del residuo en 2,277.50 kg en base seca.

CAPÍTULO V. CARACTERIZACIÓN DE BORRA DE CAFÉ

5.1 Planteamiento metodológico para la caracterización de la borra de café

Las opciones de aprovechamiento de la borra de café documentadas en capítulo III, la tasa de generación estimada de borra de café en el campus central UES del capítulo IV y la caracterización del residuo como: humedad y densidad entre otros parámetros dependiendo de la disponibilidad bibliográfica de estas mismas, desembocan en parte de los atributos para la selección del producto como alternativa a desarrollar.

5.2 Diseño de instrumentos metodológicos para la caracterización

La caracterización de la borra de café se llevó a cabo mediante ensayos que permitieron los análisis más próximos para la determinación de humedad, densidad de masa aireada y densidad compactada; con el propósito de contrastar sus valores con los ya establecidos en trabajos de investigación previos; además, se tomó en cuenta valores referenciales de parámetros como pH, contenido de ceniza, sólidos volátiles, y sólidos solubles.

Los ensayos para la caracterización de la borra de café se realizaron con dos tipos de café tostado y molido, las misma utilizadas para el rendimiento en el capítulo V. Los ensayos se especifican a continuación:

5.2.1 Contenido de Humedad

El proceso de experimentación para determinar el contenido de humedad en base húmeda (%Hbh) implementado con una adaptación de la norma NTC 2558 en la borra de café. Se siguió el procedimiento del diagrama del anexo XIII.

La fórmula de cálculo para reportar los datos de humedad según la norma es la siguiente:

$$\%Hbh = \frac{\text{peso perdido}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

Además, la expresión de humedad en base seca porcentual (Martínez y Lira, 2010) se calcula como:

$$\%Hbs = \left(\frac{\%Hbh10}{100 - \%Hbh} \right) \times 100$$

En la tabla 5.1 se observan los datos obtenidos en el ensayo del contenido de humedad en borra de café extraída de la separación de la bebida de café con su contenido sólido, y a vez comparando el dato promedio con datos referenciado bibliográficamente.

Tabla 5.1

Resultados del contenido de humedad en borra de café

Tipo de café	Pruebas	Muestra húmeda (g)	Muestra seca (g)	%Humedad (base húmeda)	Promedio	Contenido de Humedad (base húmeda) referenciadas
A	1	25	7.1	71.68	74.73 ± 2.51%	75.75% (Cevallos y Guerrero, 2017) 75% - 85% (Campo, s.f) 57.43% ± 1.16% (González y Murcia, 2020)
	2	25	6.0	76.05		
	3	25	6.0	75.98		
	4	25	6.2	75.19		
B	1	25	7.6	69.50	70.91± 1.48%	56.70 % (Gomes, Pereira , Fonseca y Da Silva, 2014) 41.85 % (Paredes, 2019)
	2	25	6.9	72.38		
	3	25	7.2	71.36		
	4	25	7.4	70.39		

La humedad base seca de los promedios del tipo A y B es de 295.73% y 243.76%, respectivamente, esto significa que la masa de agua presente en la borra de café húmeda es más de 2 veces su masa seca.

5.2.2 Densidad aparente

El ensayo para determinar la densidad de masa aireada o aparente, realizado mediante el procedimiento establecido en la norma ASTM E727-02 adaptada a la borra de café, se establece en el anexo XIV. Los resultados obtenidos a una humedad de 74.73% y 70.91% respectivamente se encuentran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2

Resultados de la determinación de la densidad aparente de la borra de café

Tipo de café	Pruebas	Volumen (ml)	Masa (g)	Masa/Volumen (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)	Densidad aparente referenciada
A	1	240	155.7	648.75	655.69 ± 12.02	N/A
	2	240	145.7	669.58		
	3	240	155.7	648.75		
B	1	240	210	875	881.94 ± 12.02	
	2	240	210	875		
	3	240	210	895.83		

5.2.3 Densidad aparente compactada

La determinación de la densidad aparente compactada se realizó mediante la metodología utilizado en la Universidad Miguel Hernández de Elche para el análisis de sustratos, dado su similitud con la turba de coco utilizada, se adapta a la borra de café. Se siguió el diagrama presentado en el anexo XV. La tabla 5.3 presenta los resultados a una humedad de 74.73% para el tipo A y 70.91% para el tipo B.

Tabla 5.3*Resultados de la determinación de la densidad aparente compactada de la borra de café*

Tipo de café	Pruebas	Volumen (cm ³)	Masa (g)	Masa/Volumen (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)	Densidad aparente referenciada (kg/m ³)
A	1	335.36	280	834.92	834.92	570 (base seca) (González y Murcia, 2020)
	2	335.36	280	834.92		
	3	335.6	280	834.92		
B	1	221.11	200	904.50	904.50	
	2	221.11	200	904.50		
	3	221.11	200	904.50		

5.2.4 Otros parámetros de caracterización

Los restantes parámetros de caracterización de la borra de café tomados de diferentes investigaciones realizadas en las últimas décadas con diversos enfoques en el aprovechamiento y estudio de la borra de café. En la tabla 5.4 se detalla su procedimiento y valores reportados

Tabla 5.4

Contenido de ceniza, pH, sólidos volátiles, sólidos solubles, carbón fijo y tamaño de partícula de la borra de café

Parámetros	Normas	Procedimiento	Datos referenciados
pH	N/A	<p>El pH se determina por el método potenciométrico directo usando un pH-metro, para lo cual se necesitó preparar la muestra, basándose en el procedimiento de la preparación de la suspensión de una muestra de tierra, adaptándola a la borra de café de la siguiente manera:</p> <ol style="list-style-type: none"> En un beaker de 100 ml colocar la muestra hasta 20 ml y transferido a un frasco con tapadera o un balón volumétrico. Añadir 50 ml de H₂O destilada. Tapar y agitar manualmente por inversión para romper la capa de la muestra formada, más o menos 6 veces. Agitar por 5 minutos manualmente. 	5.8 – 6.2 (Valencia, 2009)
Contenido de ceniza	AOAC 923.03 o ASTM D3172-13	<ol style="list-style-type: none"> Calentar un crisol con tapa de porcelana limpio en un horno eléctrico o mufla a 550°C durante 3 horas. Dejarlo reposar a temperatura ambiente durante 1 hora y pesarlo Repetir el paso a) hasta obtener un peso constante (W₁). Tener presente que el tiempo de incineración debe ser de 1-2 horas. Pesar con precisión aproximadamente 3 g (S) de muestra en el crisol con tapa de peso constante conocido. Colocar el crisol con la muestra en un horno eléctrico o mufla a 550°C e incinerar la muestra calentando el crisol hasta que se formen cenizas de color blanco o blanco grisáceo brillante (W₂) Colocar el crisol de porcelana tapado con la muestra en un desecador, dejarlo reposar a temperatura ambiente durante 1 hora y pesarlo. Repetir los pasos c) a e) hasta obtener un peso constante del crisol que contiene la muestra. Aplicar la fórmula: $[(W_2 - W_1) / S] \times 100$ 	<p>2.97% (Paredes, 2019)</p> <p>2.36 ± 0.002% (González y Murcia, 2020)</p> <p>0.60% (Gomes, et al.,2014)</p> <p>0.25% (Cevallos y Guerrero, 2017)</p>

Continúa.

Tabla 5.4

Contenido de ceniza, pH, sólidos volátiles, sólidos solubles, carbón fijo y tamaño de partícula de la borra de café (Continuación)

Parámetros	Normas	Procedimiento	Datos referenciados
Sólidos volátiles	ISO 18123:2015	<p>a) Se pesa el crisol vacío con su respectiva tapa (M1).</p> <p>b) Se destapa el crisol, pesar 1 g de muestra de biomasa en el crisol y luego se vuelve a tapar el crisol (M2).</p> <p>c) Se configura la temperatura de la mufla para que llegue a 900 °C ± 10 °C.</p> <p>d) Se coloca el crisol tapado con la muestra en la mufla a 900 °C ± 10 °C por 7 min ± 5 segundos. <u>Nota:</u> Una vez introducido el crisol en la mufla, se debe recuperar la temperatura de 900 °C ± 10 °C antes de haber transcurrido los 4 min desde que se ingresó nuevamente el crisol a la mufla.</p> <p>e) Se retira el crisol tapado de la mufla y se lo deja enfriar sobre una superficie termo resistente durante 10 min.</p> <p>f) El crisol es traspasado a un desecador de vidrio y se lo deja enfriar hasta temperatura ambiente.</p> <p>g) Se pesa el crisol a temperatura ambiente con una aproximación de 0.1 mg (M3).</p> <p>h) Aplicar: $[(M2 - M3) / (M2 - M1)] \times 100$.</p>	<p>75.15 ± 0.52% (González y Murcia, 2020)</p> <p>72.15% (Tangmankongworako, 2019)</p> <p>15.24% (Paredes, 2019)</p>
Sólidos solubles	AOAC 973.21- 1974*	<p>Los sólidos solubles de una muestra pueden realizarse por tres métodos:</p> <p>a) Gravimétrico*</p> <p>b) Conductímetro</p> <p>c) Refractómetro</p>	N/A

Continúa.

Tabla 5.4

Contenido de ceniza, pH, sólidos volátiles, sólidos solubles, carbón fijo y tamaño de partícula de la borra de café (Continuación)

Parámetros	Normas	Procedimiento	Datos referenciados
Carbón fijo	ISO 18123:2015	<p>a) Se pesa el crisol vacío con su respectiva tapa (M1)</p> <p>d) Se destapa el crisol, pesar 1 g de muestra de biomasa en el crisol y luego se vuelve a tapar el crisol (M2).</p> <p>e) Se configura la temperatura de la mufla para que llegue a 900 °C ± 10 °C.</p> <p>f) Se coloca el crisol tapado con la muestra en la mufla a 900 °C ± 10 °C por 7 min ± 5 segundos. <u>Nota:</u> Una vez introducido el crisol en la mufla, se debe recuperar la temperatura de 900 °C ± 10 °C antes de haber transcurrido los 4 min desde que se ingresó nuevamente el crisol a la mufla.</p> <p>g) Se retira el crisol tapado de la mufla y se lo deja enfriar sobre una superficie termo resistente durante 10 min.</p> <p>h) El crisol es traspasado a un desecador de vidrio y se lo deja enfriar hasta temperatura ambiente.</p> <p>i) Se pesa el crisol a temperatura ambiente con una aproximación de 0.1 mg (M3).</p> <p>j) Aplicar: $[(M2 - M3) / (M2 - M1)] \times 100$.</p>	<p>75.15 ± 0.52% (González y Murcia, 2020)</p> <p>72.15% (Tangmankongworako, 2019)</p>
	ASTM D3172-13	<p>La determinación del carbono fijo (CF) con la norma ASTM está basada en las propiedades de humedad relativa (HuR), contenido de ceniza (C) y contenido de materia o sólidos volátiles (MV), los datos se reportan según la fórmula, a continuación:</p> <p>$\%CF = 100 - (\%HuR + \%C + \%MV)$.</p>	<p>2.85% (González y Murcia, 2020)</p>

Continúa.

Tabla 5.4

Contenido de ceniza, pH, sólidos volátiles, sólidos solubles, carbón fijo y tamaño de partícula de la borra de café (Continuación)

Parámetros	Normas	Procedimiento	Datos referenciados																																	
Tamaño de partícula	N/A	<p>La utilización de tamices donde cada luz de malla tiene su determinado tamaño de partícula, con el equipo de tamizado vibratorio. El porcentaje de la masa retenida en cada tamiz, se calcula de la siguiente forma:</p> $\% m_{\text{retenida en tamiz } N^{\circ}x} = \frac{m_{\text{retenida en el tamiz}}}{m_{\text{total tamizada}}} \times 100$	<table border="1" data-bbox="1318 545 1843 951"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N° Tamiz</th> <th rowspan="2">Abertura (mm)</th> <th colspan="2">Promedio</th> </tr> <tr> <th>g</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>70</td> <td>0.210</td> <td>89.8</td> <td>92.29</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>0.177</td> <td>7.41</td> <td>7.61</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0.149</td> <td>0.057</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>0.125</td> <td>0.0096</td> <td>0.008</td> </tr> <tr> <td>140</td> <td>0.105</td> <td>0.024</td> <td>0.025</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total</td> <td>97.30</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> <p>Más del 90% de la masa tamizada es retenida en el primer tamiz, en efecto, el diámetro de partícula de la borra de café es superior a 201 µm (Paredes, 2019)</p>				N° Tamiz	Abertura (mm)	Promedio		g	%	70	0.210	89.8	92.29	80	0.177	7.41	7.61	100	0.149	0.057	0.06	120	0.125	0.0096	0.008	140	0.105	0.024	0.025	Total		97.30	100
N° Tamiz	Abertura (mm)	Promedio																																		
		g	%																																	
70	0.210	89.8	92.29																																	
80	0.177	7.41	7.61																																	
100	0.149	0.057	0.06																																	
120	0.125	0.0096	0.008																																	
140	0.105	0.024	0.025																																	
Total		97.30	100																																	

CAPITULO VI. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

6.1 Planteamiento metodológico para la selección de alternativas de valorización de la borra de café generada en el campus central de la UES.

La valorización estratégica de residuos sólidos del café tostado y molido como elemento de un entorno ambientalmente sostenible, es un proceso que implica la recuperación y reutilización de materiales a través del desarrollo de planes de acción, iniciando desde la recolección, almacenamiento, valorización y tratamiento hasta la disposición final de desechos, como se muestra en la figura 6.1 por lo que, se planteará una metodología que vaya desde la recolección de los residuos del café tostado y molido, hasta la disposición final de los desechos del proceso de valorización.

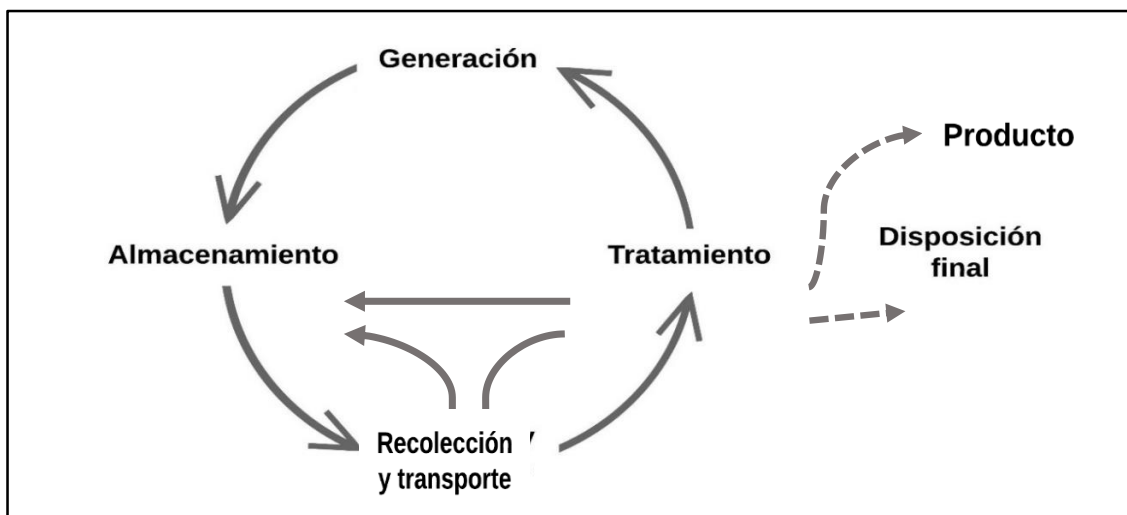


Figura 6.1 Concepción del ciclo de valorización de la borra de café.

Dado que la borra de café es un residuo que resulta de la preparación preliminar/cocción de café tostado y molido, no requiere de la separación de otro tipo de residuos, puede recolectarse directamente en recipientes plásticos tapados herméticamente e identificados, que tengan la capacidad de almacenar los residuos de al menos una semana laboral, del personal de una oficina específica, para posteriormente hacer la recolección y traslado por el personal de la institución al lugar de acopio, donde deberán secarse y almacenarse, previo al procesamiento, para la valorización del residuo a través del desarrollo de productos.

6.1.1 Metodología de selección de alternativas.

Para la selección de la alternativa más conveniente de valorización, se propone una metodología general basada en la desarrollada por Deleón y Zelada (2019). La metodología comprende una etapa inicial de preselección de las alternativas que más potencial tienen para ser una solución en la gestión del residuo borra de café dentro del campus central de la Universidad de El Salvador. Posterior a esta etapa, se propone un estudio más detallado de las alternativas preseleccionadas, para culminar el proceso con una etapa de selección de las alternativas propuestas de valorización a través de una matriz de análisis de prioridad.

6.1.2 Descripción de la metodología de preselección de alternativas.

Para la preselección de las alternativas más convenientes de valorización, se propone una metodología que se apoya en el estudio técnico descrito por Baca (2013) que evalúa la viabilidad para el desarrollo de proyectos teniendo en cuenta factores técnicos, económicos, ambientales y sociales, en este caso cada una de las alternativas representan un proyecto diferente, por lo que se evalúan solo los aspectos que más impacto tienen, para descartar aquellas alternativas cuya viabilidad no es posible para el campus central de la Universidad de El Salvador.

La metodología comprende las siguientes etapas:

- A. Identificación de las alternativas a evaluar
- B. Identificación de criterios calificativos.
- C. Desarrollo de escala de evaluación y priorización de criterios.
- D. Evaluación en matriz de utilidad y requerimiento.
- E. Preselección de alternativas.

Se considerará como alternativas elegibles aquellas que cumplan los requisitos mínimos, valorados en el proceso de preselección, y presente los índices más favorables, para la escala de evaluación utilizada.

6.1.2.1 Identificación de las alternativas a evaluar

En el capítulo III se presentó una lista de las alternativas de aprovechamiento de la borra de café en el desarrollo de productos considerados objeto de estudio. Posteriormente en el capítulo IV se estima que la generación de borra de café seca es de 227.75 kg/mes con base en el consumo de café tostado y molido, el campus central de la UES.

6.1.2.2 Identificación de criterios calificativos

En base a lo antes expuesto, se consideran como criterios de preselección.

1. *Aplicabilidad de la alternativa (A)*: El criterio pretende evaluar el uso potencial de la alternativa como insumo, material o aplicación tecnológica en la resolución de alguna problemática, por los estudiantes o el personal docente y/o administrativo de la Universidad de El Salvador.
2. *Costos de Implementación (C)*: Costo de instalaciones, equipos, materiales, materias primas adicionales y costos de operación, requeridos para implementar el proceso de producción de la alternativa en cuestión.
3. *Requerimientos técnicos (R)*: Factores tecnológicos relacionados con la accesibilidad de equipos, técnicas de operación, requerimiento de espacio y personal en la implementación de la alternativa.
4. *Tasa de consumo (T)*: El criterio busca señalar aquellas alternativas que demanden un consumo menor o semejante a la tasa de generación de borra de café en el campus como optimas, a medida que la demanda del residuo como materia prima se exceda disminuye la aplicabilidad como alternativa de valorización en el campus.
5. *Eficiencia y eficacia(E)*: Que las razones producto/borra de café y borra de café/materia prima sean significativas evaluando la demanda de materiales adicionales y el cumplimiento de la alternativa como aplicación en la valorización económica y ambiental del residuo de café.

6.1.2.3 Desarrollo de escala de evaluación y priorización de criterios.

Se propone una escala general para cada uno de los criterios, consistente en cinco niveles, propuestos para la cuantificación del valor de la alternativa para el cumplimiento del criterio. Dos de los niveles propuestos son positivos, uno de los niveles es neutro, en caso el aporte/observancia de la alternativa respecto al criterio sea nulo, y los otros dos negativos, en caso de que la alternativa, presente características opuestas a las deseadas y planteadas a través del criterio. En la tabla 6.1 se presenta la escala propuesta.

Tabla 6.1

Escala de evaluación de alternativa

Categoría	Escala
Contribuye significativamente al criterio	2
Contribuye moderadamente al criterio	1
No contribuye al criterio	0
Contribuye negativamente al criterio	-1
Contribuye muy negativamente al criterio	-2

Para valorar el criterio de aplicabilidad (A) se propone que las alternativas que cumplan con dicho criterio tengan una asignación del máximo valor mientras que aquellas que no lo cumplan se les asigne el mínimo valor de la escala de evaluación, con el objetivo de aumentar su participación en la evaluación, debido a la relevancia de este criterio en la toma de la decisión final.

Para la valoración del criterio de costos de implementación (C), si bien las implicaciones de índole económico son fundamentales para la toma de decisiones; la información disponible al respecto se considera limitada, sin embargo, puede evaluarse de acuerdo a la clasificación uso y requerimientos del capítulo III. La escala de evaluación para el criterio, se detalla en la tabla 6.2.

Tabla 6.2*Escala de evaluación de alternativas aplicadas al criterio “Costos de Implementación”*

Categoría	Escala	Descripción de la escala
Contribuye significativamente al criterio	2	La implementación de la alternativa es de muy bajo costo.
Contribuye moderadamente al criterio	1	El desarrollo del producto o aplicación es de bajo costo, puede implementarse en el campus sin mayor inversión.
No contribuye al criterio	0	El desarrollo del proceso productivo requiere de una inversión recuperable a mediano plazo.
Contribuye negativamente al criterio	-1	La implementación de la alternativa requiere de altos costos de inversión y producción.
Contribuye muy negativamente al criterio	-2	La implementación de la alternativa requiere de altos costos de inversión y producción no recuperables en el campus.

De manera análoga al criterio costos de implementación (C), se valorarán los criterios requerimientos técnicos (R) y tasa de consumo (T). Considerando los valores más altos en las alternativas que menores requerimientos tengan disminuyen considerablemente a medida que aumenten los factores que dificulten implementar una alternativa. En la valoración del criterio eficiencia y eficacia (E), a partir de la misma escala de evaluación, se propone como se detalla en la tabla 6.3.

Tabla 6.3*Escala de evaluación de alternativas aplicadas al criterio “Eficiencia y eficacia”*

Categoría	Escala	Descripción de la escala
Contribuye significativamente al criterio.	2	El proceso tiene una eficiencia significativa y la razón borra de café/materia prima es cerca de la unidad.
Contribuye moderadamente al criterio.	1	El desarrollo del producto tiene una eficiencia significativa, pero requiere de una cantidad de materias primas adicionales
No contribuye al criterio.	0	La alternativa requiere de materias primas adicionales de bajo costo, con una baja eficiencia de proceso productivo.
Contribuye negativamente al criterio.	-1	La implementación de la alternativa requiere materias primas adicionales, con una baja eficiencia de proceso.
Contribuye muy negativamente al criterio.	-2	El desarrollo de la alternativa requiere grandes cantidades de materias primas adicionales de alto costo, con una baja eficiencia de proceso.

6.1.2.4 Evaluación en matriz de utilidad y requerimientos.

Como ya se definieron los criterios y la escala de evaluación, considerando que todos los criterios tienen la misma importancia en la toma de decisiones, se propone establecer un indicador, que tome en cuenta todos los beneficios potenciales y requerimientos por alternativa, con el objetivo de reducir la subjetividad al proceso de toma de decisiones. La evaluación de las alternativas, y su contribución al cumplimiento de un criterio se presentará en forma de matriz.

El indicador o índice total es la suma algebraica de los valores que, de acuerdo con la escala de evaluación, cuantifican de forma ponderada el valor de la alternativa para el cumplimiento del criterio. De acuerdo con la escala de evaluación el índice total puede tener un valor mínimo de -10 y máximo de 10.

6.1.2.5 Preselección de alternativa

La metodología establecida para el índice total, considera a todos los criterios con el mismo grado significativo sin embargo, el criterio aplicabilidad de la alternativa en el campus central de la Universidad de El Salvador, es de vital importancia en la toma de decisión final, por esta razón se estableció en el desarrollo de la escala de evaluación y priorización de criterios la asignación exclusiva de los valores mínimos y máximos de la escala de evaluación para este criterio con el objetivo de aumentar su participación en la evaluación. En virtud de ello, se propone establecer tres categorías para llevar a cabo la preselección de las alternativas objeto de estudio. Las categorías son las siguientes:

- a. Alternativas que pueden ser implementadas directamente.
- b. Alternativas que necesitan algún otro análisis (Estudios de factibilidad).
- c. Alternativas que son rechazadas por diversas razones.

Las aplicaciones que pueden ser implementadas directamente son aquellas cuyo índice total tiene los valores máximos de la escala y varía entre 8 y 10 puntos. De acuerdo a los requerimientos para el desarrollo de estas alternativas, no necesitan que la borra de café sea

procesada o su tratamiento es en menor grado y la implementación depende solo de un plan de acción documentado y de personal encargado para el desarrollo del proceso.

Las alternativas que necesitan algún otro análisis tienen un índice total entre 1 y 7 puntos, son las de mayor interés en este estudio, pertenecen a esta categoría debido al costo de implementación, requerimientos técnicos, consumo de recursos, beneficios potenciales y la utilidad del producto y/o aplicación, en el campus central de la Universidad de El Salvador.

Las aplicaciones que son rechazadas directamente en la etapa de preselección tienen un índice total entre -10 y 0 puntos. De acuerdo con los criterios establecidos salen de los objetivos específicos de esta investigación e implementarlas no es factible en la Universidad de El Salvador.

6.2 Implementación del proceso de preselección de alternativas.

El proceso de preselección de alternativas se documenta en la tabla 6.5 y tabla 6.7. En la tabla 6.5 se califican las alternativas por criterios en base a la escala establecida en la metodología de preselección de alternativas. La suma del puntaje asignado a los criterios (Aplicabilidad (A), Costos de Implementación(C), Requerimientos técnicos(R), Tasa de consumo de borra (T) y Eficiencia-eficacia(E)), es el índice total. La tabla 6.4 presenta la escala de clasificación final de las alternativas a evaluar.

En la tabla 6.6 se clasifican las alternativas de valorización de borra de café en el campus central de la Universidad de El Salvador de acuerdo al índice total calculado en la tabla 6.5. como conclusión del proceso de preselección. Las categorías por rango del índice total son:

Tabla 6.4

Escala para la clasificación de las alternativas de acuerdo al índice total

Alternativas rechazadas directamente (ARD)											Alternativas de mayor análisis (AMA)							Alternativas implementables directamente (AID)		
-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabla 6.5

Estimación del índice total, para la clasificación de las alternativas de acuerdo a los criterios establecidos

Aplicación, producto y/o material	Criterio y puntaje					Índice total	Comentario/ razones
	A	C	R	T	E		
Fertilizantes de Liberación controlada	2	-2	-2	-1	1	-2	La borra de café en la formulación de fertilizantes de liberación controlada, es utilizada como un material de encapsulamiento para la dispersión de macronutrientes (NPK), en un tiempo más prolongado respecto a los fertilizantes convencionales, sin embargo, la cantidad de nutrientes que pueden ser adsorbidos en la borra (menos del 2 % en masa), es relativamente baja respecto a la masa total de esta, por lo que debe someterse a un proceso fisicoquímico de funcionalización de superficie, aumentando la capacidad de absorción de nutrientes hasta un 20% en masa, este proceso si bien aumenta significativamente la eficiencia del fertilizante también demanda un alto consumo energético, macronutrientes, catalizadores, equipos especializados lo que eleva los costos tanto de implementación como de producción muy por encima respecto de los fertilizantes convencionales.
Compostaje	2	2	1	2	0	7	Es una alternativa de aprovechamiento de bajo costo, como también una tecnología ambiental, no obstante, la borra de café es ligeramente acida por lo que debe emplearse con una variedad de materia orgánica para evitar modificar el pH de suelos. El proceso se realiza por oxidación biológica de la materia orgánica bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación en un período entre 4 y 6 meses.
Mejorador de suelos	2	2	2	2	1	9	Tecnología aportadora de nutrientes que permite regular el pH en suelos alcalinos o cuando se cultivan plantas acidófilas, es decir, que requieren o prefieren un suelo ácido. Sirve como alimento en la creación del humus en la lumbricultura. (Puede desarrollar problemas sanitarios por fermentación).
Acolchado	2	2	2	2	2	10	Este uso no requiere de ninguna espera ni preparación. Se trata de crear una capa de 2 cm de espesor, como barrera protectora del suelo para mantener la humedad, evitar el crecimiento de otras hierbas y repeler algunas plagas.
Sustrato	2	2	2	2	2	10	Es una alternativa como material poroso que retiene gran cantidad de agua para crear almácigos, plantar esquejes y cultivar setas, ya que a diferencia de la tierra común no contiene patógenos que dañen las semillas.

Continúa.

Tabla 6.5

Estimación del índice total, para la clasificación de las alternativas de acuerdo a los criterios establecidos (continuación)

Aplicación, producto y/o material	Criterio y puntaje					Índice total	Comentario/ razones
	A	C	R	T	E		
Larvicida	2	0	-2	1	-1	0	Requiere de la difusión de la cafeína en estanques de aguas para evitar la proliferación de larvas <i>Aedes aegypt</i> , tiene un tiempo letal (TL90) de 24 horas, a concentraciones de 9 g/l o superiores. El agua debe filtrarse o la borra de café terminará degradándose en ella, otra forma es reduciendo el tamaño de partículas del residuo, no obstante, de esta forma es más difícil la etapa de filtración.
Carbón activado	2	0	0	2	2	6	Es una alternativa de aprovechamiento de bajo costo con respecto a las tecnologías análogas, en la remoción de colorantes, saborizantes compuestos odoríficos contraproducentes en diversos procesos químicos. El proceso productivo requiere equipo especializado y alto consumo energético además de un agente químico el cual puede ser recuperado y recirculado.
Bioadsorbente	2	0	-1	1	1	3	Los beneficios principales de esta tecnología son medioambientales, sin embargo, pueden representar grandes ahorros en el tratamiento de aguas residuales para la industria química en comparación a tecnologías equivalentes. La remoción de contaminantes principalmente metales pesados está gobernada por la presencia de grupos funcionales, pH, concentración del ion metálico, tiempo de contacto, velocidad de agitación, superficie de contacto, cantidad del material bioadsorbente entre otras variables las cuales son únicas para la remoción de cada contaminante específico.
Biodiesel	-2	-2	-1	-2	2	-5	La producción de biodiesel a partir de borra de café se realiza por transesterificación ácida posterior a la extracción de aceites con un rendimiento total de proceso de 20% en masa. Es una alternativa cuya factibilidad depende del volumen de procesamiento. La implementación es de alto costo, con potenciales beneficios económicos y ambientales para la industria química.

Continúa

Tabla 6.5

Estimación del índice total, para la clasificación de las alternativas de acuerdo a los criterios establecidos (continuación)

Aplicación, producto y/o material	Criterio y puntaje					Índice total	Comentario/ razones
	A	C	R	T	E		
Biocombustible sólido	-2	0	1	-2	1	0	La formación de pellets usando borra de café es una opción en el uso de energías renovables. Es un proceso de prensado termo-mecánico, altamente rentable a escala industrial. Los pellets pueden ser utilizados en la generación de energía a nivel doméstico e industrial.
Biogás	-2	-1	-1	-2	2	-5	La producción de biogás a partir de borra de café es una alternativa de gran potencial en la valorización energética industrial, el proceso de degradación de la materia orgánica exige bacterias metanogénicas, enzimas (para la digestión de la lignina) y un ambiente anaeróbico controlado.
Bioetanol	-2	-1	-1	-2	2	-3	Esta opción requiere de equipo especializado y catalizadores inorgánicos (agresivos y tóxicos para el medioambiente), para la separación de la lignina y la celulosa. El etanol se obtiene por sacarificación y fermentación térmica simultánea de la borra deslignificada con un rendimiento de proceso del 16% p/p.
Gasificación	-2	-2	-2	-2	2	-6	La gasificación es un proceso de valorización material y no energética, para obtener gases de interés industrial (productos de mayor valor económico) a través de un proceso de gasificación industrial.
Papel/cartón	-2	-1	-2	-2	1	-6	Al igual que en el bioetanol esta alternativa requiere de una planta de procesos químicos especializada para la separación de la celulosa, hemicelulosa de la lignina para su posterior tratamiento hasta la obtención del papel. En la industria se utilizan métodos mecánicos, químicos y biológicos para separar los compuestos celulósicos de los otros componentes.
Aceite	2	0	0	-1	2	3	Existen diversos métodos químicos para la extracción de aceites en la borra de café, estos ofrecen un rendimiento de $10 \pm 1\%$ p/p, frecuentemente se usan como precursores en la obtención de biodiesel. La técnica de extracción por extrusión usa café en grano tostado y ofrece un rendimiento de $8 \pm 1\%$ p/p, la sustitución por borra de café tendría un rendimiento ligeramente menor con la ventaja que este es un residuo por lo que es una muy buena alternativa económica y ambiental.

Continúa.

Tabla 6.5

Estimación del índice total, para la clasificación de las alternativas de acuerdo a los criterios establecidos (continuación)

Aplicación, producto y/o material	Criterio y puntaje					Índice total	Observaciones / razones
	A	C	R	T	E		
Aromatizante/ambientador	2	0	0	-2	1	1	Los compuestos odoríferos pueden extraerse por recuperación de aceites esenciales presentes en el aceite de café extraído por extrusión. Otro método es por lixiviación con solventes orgánicos, o dióxido de carbono supercrítico en la formulación de aromatizantes.
Cosméticos y fármacos	-2	-2	-2	0	1	-5	El uso de la borra del café gracias a sus propiedades antioxidantes, desintoxicantes y diuréticas, requiere conocimiento más especializado en el área, así como también no tiene una aplicabilidad que beneficie en general a la población del campus central de la UES.
Elaboración de estructuras	2	1	2	1	0	6	Técnica mecánica por prensado, de bajo costo que permite fabricar bloques o diversas estructuras con la ayuda de aglomerantes.
Desarrollo gastronómico	-2	0	-1	1	1	-1	Consiste en el desarrollo de productos gastronómicos a partir de técnicas como la fermentación, la cocción en hornos entre otras técnicas.
Colorante comestible	-2	0	-1	2	1	0	El color del café se debe a la presencia de antocianinas y flavonoides, estos pueden extraerse por lixiviación con solventes orgánicos, la etapa más sofisticada es la recuperación de solventes.

Tabla 6.6*Clasificación de las alternativas en categorías por rango del índice total*

Alternativa de valorización	Índice total	Categorías de clasificación			Comentario/Conclusiones
		Alternativas rechazadas directamente	Alternativas de mayor análisis	Alternativas implementables directamente	
		Rango del índice total			
		[-10,0]	[1, 7]	[8, 10]	
Fertilizantes de Liberación controlada	-2	X			Se estima que implementar la formulación de FLC es una inversión de alto riesgo económico incluso para la industria en El Salvador, debido a los elevados costos de implementación y de producción.
Compostaje	7		X		Se considera se debe continuar con la evaluación.
Mejorador de suelos	9			X	Se insta a usar los residuos del proceso de valorización en esta alternativa ecológica en la silvicultura del campus universitario.
Acolchado	10			X	Se recomienda este uso en conjunto con la aplicación como mejorador de suelos a partir de los residuos excedentes de la valorización en cuestión.
Sustrato	10			X	Se sugiere esta aplicación potencial como otra alternativa ecológica para los residuos excedentes del proceso de valorización material en estudio.
Larvicida	0	X			Se considera que esta aplicación es poco práctica y aún deben desarrollarse técnicas para una mejor formulación del larvicida.
Carbón activado	6		X		Se considera se debe continuar con la evaluación.
Bioadsorbente	3		X		Esta tecnología destaca como herramienta de gestión ambiental en la remoción de contaminantes en las aguas residuales, esta tecnología es una aplicación del carbón activado por lo que estas alternativas se evaluarán en conjunto.

Continúa.

Tabla 6.6*Clasificación de las alternativas en categorías por rango del índice total (continuación)*

Alternativa de valorización	Índice total	Categorías de clasificación			Comentario/Conclusiones.
		Alternativas rechazadas directamente	Alternativas de mayor análisis	Alternativas implementables directamente	
		Rango del índice total			
		[-10,0]	[0, 7]	[7,10]	
Biodiesel	-5	X			Dado los requerimientos técnicos y la demanda de materias primas, se considera que la producción de biodiesel no es una alternativa de valorización de la borra de café dentro del campus universitario.
Biocombustible sólido	0	X			Debido a la no aplicabilidad de este producto en el campus de la UES, a la demanda del residuo y a los requerimientos de espacio y técnicos se considera esta alternativa como rechazada directamente.
Biogás	-5	X			Se considera una alternativa de valorización solo a escala industrial debido a los requerimientos técnicos-económicos y la demanda de materias primas.
Bioetanol	-3	X			Los requerimientos técnicos-económicos y la demanda de materias primas sugieren que es una alternativa de valorización de la borra de café factible solo a escala industrial.
Gasificación	-6	X			Debido a los requerimientos técnicos-económicos y la demanda de materias primas se considera una alternativa de valorización solo a escala industrial.
Papel/cartón	-6	X			Se considera una alternativa de valorización solo a escala industrial debido a los requerimientos técnicos-económicos y la demanda de materias primas.
Extracción de aceite	2		X		Se considera se debe continuar con un estudio de factibilidad.

Continúa.

Tabla 6.6*Clasificación de las alternativas en categorías por rango del índice total (continuación)*

Alternativa de valorización	Índice total	Categorías de clasificación			Comentario / Conclusiones.
		Alternativas rechazadas directamente	Alternativas de mayor análisis	Alternativas implementables directamente	
		Rango del índice total			
		[-10,0]	[1,7]	[8,10]	
Aromatizante/ambientador	1		X		Se considera se debe continuar con la evaluación.
Cosméticos y fármacos	-5	X			Esta alternativa sale de los objetivos específicos de este estudio debido al no aplicabilidad y la falta de conocimientos especializados en el área, sin embargo, la extracción de aceites es una etapa precursora de esta alternativa por lo que se tomará en cuenta en los productos desarrollados a partir de la extracción de aceites.
Elaboración de estructuras	6		X		Se considera se debe continuar con la evaluación.
Desarrollo gastronómico	-1	X			Esta alternativa sale de los objetivos específicos de este estudio debido al no aplicabilidad y la falta de conocimientos especializados en el área.
Colorante comestible	0	X			Debido a la no aplicabilidad de este producto en el campus de la UES y a los requerimientos técnicos esta alternativa se rechaza directamente.

En atención al proceso de preselección expuesto en la tabla 6.5, el resultado de la clasificación de las alternativas de acuerdo al índice total se muestra en la tabla 6.6, obsérvese las aplicaciones de la categoría “alternativas de mayor análisis”, esta categoría es la base para continuar con un estudio más exhaustivo de factibilidad y aplicabilidad de valorización material, de acuerdo con los objetivos específicos de este estudio.

Las calificaciones respectivas para el cumplimiento de los criterios por cada una de las alternativas preseleccionadas se resumen en orden descendente en base al indicador de selección en la tabla 6.7.

Tabla 6.7

Alternativas preseleccionadas-calificación para el cumplimiento de criterios.

Aplicación, producto y/o material	Criterio y calificación					Índice total
	Aplicabilidad	Costos de implementación	Requerimientos técnicos	Tasa de consumo	Eficiencia y eficacia	
Compostaje	2	2	1	2	0	7
Elaboración de estructuras	2	1	2	1	0	6
Carbón activado	2	0	0	2	2	6
Aceite	2	0	0	-1	2	3
Aromatizante/ ambientador	2	0	0	-2	1	1

6.3 Valoración de las alternativas preseleccionadas para valorización material.

Las alternativas preseleccionadas requieren un estudio más exhaustivo (de los beneficios potenciales y requerimientos), para continuar el proceso de selección de la ó las alternativas para valorizar la borra de café dentro del campus universitario, se plantea una metodología basada en la metodología de selección de alternativas utilizada por el Centro Nacional de Producción Más Limpia de El Salvador [CNPML] (2019), para seleccionar opciones de PML.

6.3.1 Alternativas preseleccionadas

A) Abono orgánico / compostaje

La producción de compostaje requiere de un período que puede ir de 4 a 6 meses para la fermentación aeróbica biológica de una variedad de material orgánico, bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación. El valor medio de la temperatura en los procesos de compostaje es de $55\pm 10^{\circ}\text{C}$ La humedad óptima es del 50% (Avendaño R, 2003).

Es recomendable que exista un equilibrio entre los residuos ricos en Carbono y los ricos en Nitrógeno. Se considera que la mezcla ideal para la fabricación de compost debe tener entre 25 y 30 veces más material rico en carbono que en nitrógeno, es decir una relación Carbono/Nitrógeno igual a 30:1 y un pH entre 6-7 por lo que la borra de café no se debe compostar sola sino en conjunto con otros residuos orgánicos, la relación óptima es 1/3 de borra de café (materiales ricos en carbono), 1/3 de vegetación verde, incluyendo los desperdicios de cocina (materiales ricos en nitrógeno) y 1/3 de tierra (cenizas de madera, estiércol de distinto origen, entre otros. (Konijnenburg, 2007)

La borra de café presenta las siguientes características: Materia orgánica total 84-87%, Nitrógeno total 3.0-3.5%, Calcio (CaO) 1.5-2.0%, Magnesio (MgO) 1.0-1.5%, relación C/N 25-28, pH 5.5-6.0. De acuerdo con un ensayo desarrollado en un campo experimental en IAPAR, en Londrina (Brasil), para el mejoramiento de la productividad agrícola de cultivos de ciclo anual, por Muzilli (1982) concluyen que la borra de café constituye una buena alternativa para uso asociado con fertilización mineral, favoreciendo una mejor

eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes por las plantas, proporcionando incrementos en la productividad del maíz y del frijón a través del empleo fraccionado de la borra, aplicándose a una tasa de 0.2 kg/m² año, asociada con fertilización mineral NPK, sin embargo, en compostaje esta tasa puede incrementarse hasta 5 veces. El uso fraccionado de compostaje óptimo es de 3 kg/ m² año para cultivos de maíz y frijón, pero puede ser mayor en cultivos de plantas acidófilas.

Existen tres tipos fundamentalmente diferentes de procesos de compostaje: El compostaje manual, el compostaje semi- mecanizado y el compostaje mecanizado enzimático. Aunque sean diferentes las operaciones técnicas para estos tipos de compostaje, son el mismo el proceso biológico, la necesidad de mezcla/ revuelta, movimiento, aireación y humedecimiento del material y los parámetros de ajuste de la planta.

Las plantas manuales casi no tienen costo de inversión. Si se realiza la lombricultura, se deben construir los lechos con ladrillo; alternativamente se puede aplicar un sistema en pilas con techos. Los costos de operación son los siguientes: Costos de personal: 1 obrero para 3 toneladas diarias, 1 técnico o ingeniero con buenos conocimientos de biología para la supervisión del trabajo. Costos de herramientas: palas, trinchas, picas, carretillas, lampas, regadoras etc. 1 unidad por obrero y por año - Equipamiento personal de los obreros (uniformes, botas, guantes, mascarillas) Compra de materiales: Saquillos, hilo, malla, agua de riego etc. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por su acrónimo FAO, en Latinoamérica el precio de mercado para 1 qq(100kg) es aproximadamente de \$8.00 USD y el costo estimado de producción de compostaje manual por cada 1 qq es de \$3.50 USD para el año 2013, sin considerar el precio de la borra de café.

B) Extracción de aceite

La extracción de aceites a partir de la borra de café por métodos químicos frecuentemente se usa como etapa previa a la transesterificación en la obtención de biodiesel. El contenido de aceite es de 14±3% en peso, rico en ácido palmítico dependiendo de la variedad de café tostado y molido que se trate. Un estudio de métodos químicos de extracción de aceite desarrollado por Cenicafé (s.f), presenta las siguientes alternativas.

- i. Extracción por reflujo con éter de petróleo, por un período de 90 minutos, este método tiene un rendimiento del $10\pm 1\%$, con altos costos energéticos asociados.
- ii. Extracción con lejías, consiste en hervir la borra en una solución de soda cáustica al 18% por un período de 120 minutos. Se emplean 500 cc de borra de café base seca por cada litro de solución. Al enfriarse, sobrenada el aceite y se separa de la lejía en embudos de filtración. El proceso puede hacerse económicamente factible con alguno de los sistemas de recuperación de la soda que se utilizan en las fábricas de papel. (Combustión de las lejías para obtener carbonato de soda).
- iii. Extracción por reflujo de hexano o metanol a una temperatura por encima del punto de ebullición del solvente, por un período de 90 minutos, para un rendimiento equivalente, sin embargo, la etapa de separación y recuperación del solvente es más sencilla en comparación a los otros métodos químicos de extracción.

Otro método de extracción de aceite de café es el método mecánico de extracción por extrusión, consiste en utilizar una prensa de husillo (tornillo sinfín), un sistema de compresión del grano de café tostado a 125 ± 5 psi, logrando así la separación del aceite, del resto de los componentes del café (torta), la temperatura de la torta de 105°C y temperatura del aceite de 80°C . A partir del método de extracción por extrusión se obtiene aceite de café con una alta carga volátil, la cual se puede separar para la obtención de aceites esenciales, el rendimiento del proceso de extrusión es de un $8\pm 1\%$ (Ramírez, 2008).

El proceso de extracción de lípidos no afecta la composición de la torta de café, indicando que el residuo puede ser aprovechado en la producción de metabolitos por vía fermentativa, o como combustible sólido por calcinación, o como fertilizante orgánico para las plantas, o alguna de las otras alternativas ya descritas en este estudio, dando mayor valor agregado al proceso.

La extracción de aceites a partir del café o de la borra de café tiene algunos inconvenientes de acuerdo a Riaño (2017) estos son:

- a) La presencia de ácido araquídico (3.8% del total de ácidos grasos), se oxida rápidamente formando productos tóxicos. Esto hace necesario extraer el ácido araquídico o agregar antioxidantes para que no se descomponga.
- b) Grandes dificultades es la refinación de los aceites debido a la baja eficiencia del proceso de refinación y a la no existencia de tecnologías adecuadas económicamente para la purificación.
- c) Alto valor de yodo implica un gran riesgo de rancidez, aunque disminuido un poco por la presencia de antioxidantes naturales.

C) Formulación de aromatizante

La extracción de aceites esenciales de café es una buena alternativa en la refinación del aceite extraído por extrusión, debido a la alta carga volátil presentes en este, los cuales son un problema en el comercio. De acuerdo con López (1999), este proceso se lleva a cabo por desorción de los compuestos volátiles, mediante una corriente de nitrógeno gaseoso de alta pureza que burbujea la matriz original a $70\pm 5^{\circ}\text{C}$. Luego la corriente de nitrógeno rica en compuestos volátiles del aceite de café se somete a enfriamiento, a $12\pm 2^{\circ}\text{C}$, al pasar a través de un condensador, posteriormente se burbujea en diclorometano, para disolver los compuestos volátiles transportados por el nitrógeno. La absorción se realiza manteniendo el diclorometano a baja temperatura, entre $2\pm 2^{\circ}\text{C}$, para evitar la evaporación del solvente. Este proceso se lleva a cabo en un período aproximado de 2 horas. El resultado es diclorometano rico en compuestos volátiles del aceite esencial de café. En la figura 6.2, se presenta un esquema de proceso para la extracción de los volátiles.

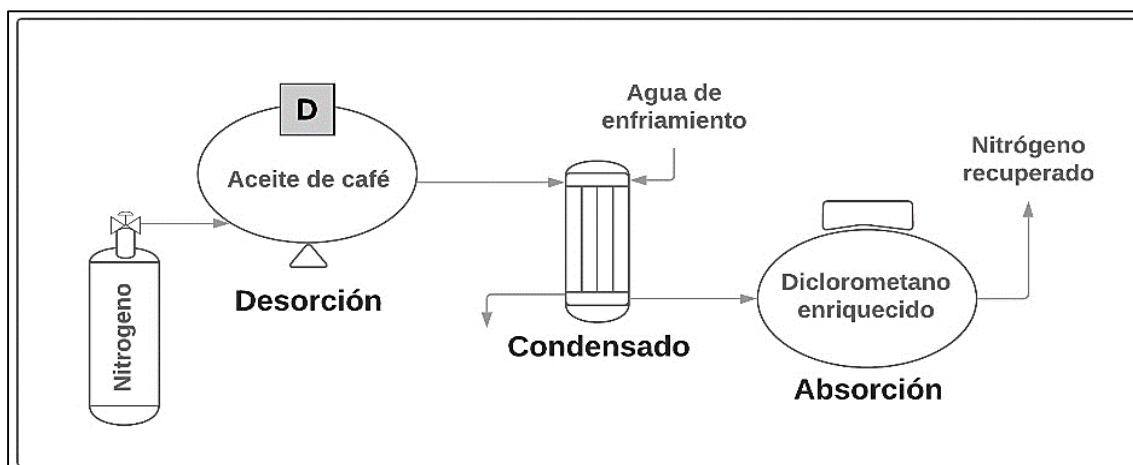


Figura 6.2 Esquema para la extracción de componentes volátiles del aceite de café obtenido por extrusión.

El diclorometano enriquecido resultante analizado por cromatografía de gases acoplado a un detector selectivo de masas presenta los siguientes compuestos: Dihidro-2-metil-3(2H)-furanona, Metil-pirazina, 2-Furanocarboxaldehido, 2-Furanometanol, 1-acetiloxi-2-propanona, 2,5-dimetil pirazina, 1-(2-furanyl) etanona, 5-metil-2-furanocarboxaldehido, Acetato de 2-Furanometanol, 1-(1H-pirrol-2-il) etanona, 4-metoxiacetofenona y Aminopirazina. (López-Fontal, 1999).

La extracción de aceite por métodos mecánicos usualmente se hace con café tostado, sin embargo, durante la extracción de los sólidos solubles contenidos en el café solamente el 1% del aceite en el grano tostado y molido es transferido a la bebida; quedando la borra del café con el excedente (Cenicafe, 2013).

Por esta razón se propone desarrollar un estudio experimental posterior a esta investigación, por el método de extracción de aceites de café por extrusión sustituyendo el café tostado por borra de café con la ventaja que este es un residuo, para evaluar el rendimiento en la extracción de aceites y la factibilidad para la extracción de sustancias volátiles (aceites esenciales), para la formulación de aromatizantes.

A pesar que existen diferentes métodos para la extracción de aceites esenciales de café entre ellos, la extracción con dióxido de carbono supercrítico como solvente o usando solventes orgánicos, no se detallan en este estudio debido a que todos los métodos encontrados en la

literatura usan café tostado y no borra de café. La excepción del método es debido al potencial para extraer la carga volátil, en la obtención de aceites por extrusión sustituyendo el café tostado por borra de café.

D) Carbón activado

Es un producto obtenido a partir del carbón amorfo, el cual se ha sometido a un tratamiento de activación con el fin de incrementar su área superficial hasta 300 veces debido a la formación de poros internos, pudiendo alcanzarse áreas de 1200 -1500 m² /g de carbón. La diferencia fundamental entre uno y otro tipo de carbón radica en la estructura, o arreglo de sus átomos. (TAR, 2016)

Todos los átomos de carbón en la superficie de un cristal son capaces de atraer moléculas de compuestos que causan color, olor o sabor indeseables; la diferencia con un carbón activado consiste en la cantidad de átomos en la superficie disponibles para realizar la adsorción. En otras palabras, la activación de cualquier carbón consiste en " multiplicar" el área superficial creando una estructura porosa. En el caso del carbón activo, los átomos se encuentran combinados en forma de placas graníticas, que pueden representarse de acuerdo a la figura 6.3.

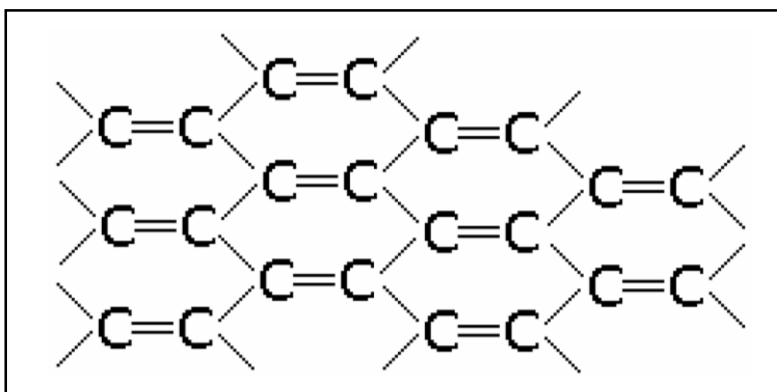


Figura 6.3 Representación de las placas graníticas del carbón activado (*Marsh, 1989*)

Las placas están separadas y tienen distintas orientaciones, por lo que existen espacios entre ellas, a los que se les denominan poros, que brindan al carbón activo su principal característica: una gran área superficial, por lo tanto, una alta capacidad adsorbente. Por todo

ello, cuando se desea remover impurezas orgánicas que causa color, olor o sabor indeseable, normalmente la adsorción con carbón activado suele ser la técnica más económica y sencilla.

La elaboración del carbón activo inicia con la etapa de carbonización, de modo que se logre la deshidratación y la desvolatilización de forma controlada, obteniéndose un carbonizado con elevado por ciento en carbono fijo con estructura porosa inicial. Durante la carbonización los elementos no carbonosos, como el hidrógeno y oxígeno, presentes en la materia prima, son eliminados en parte por la pirólisis del material y los átomos de carbono se organizan en estructuras microcristalinas conocidas como "cristalitas grafiticas elementales". Entre estos microcristales hay espacios libres, debido a que su ordenamiento es irregular.

Estos espacios o intersticios son bloqueados por carbono amorfo, alquitranes y otros residuos de la descomposición pirolítica del material celulósico.

Como resultado de ello los carbones producto de la carbonización sólo presentan una pequeña capacidad de absorción aumentándose esta capacidad a través del proceso de activación. El proceso de activación puede ser física o química

La activación química se basa en la deshidratación mediante sustancias químicas y a una temperatura media (400 – 600°C). Ésta depende de la sustancia química a utilizar para activar el carbón. En este tipo de activación el precursor se hace reaccionar con un agente químico activante. En este caso la activación suele tener lugar en una única etapa a temperaturas que pueden variar entre 450 y 900°C. No obstante, es necesaria una etapa posterior de lavado del carbón activado para eliminar los restos del agente activante. Existen numerosos compuestos que pueden usarse como agentes activantes, sin embargo, los más usados industrialmente son el cloruro de zinc ($ZnCl_2$), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el hidróxido de potasio (KOH). En la figura 6.4 se muestran las etapas del proceso de activación química. (Bansal, Donnet & Stoeckli, 1988)

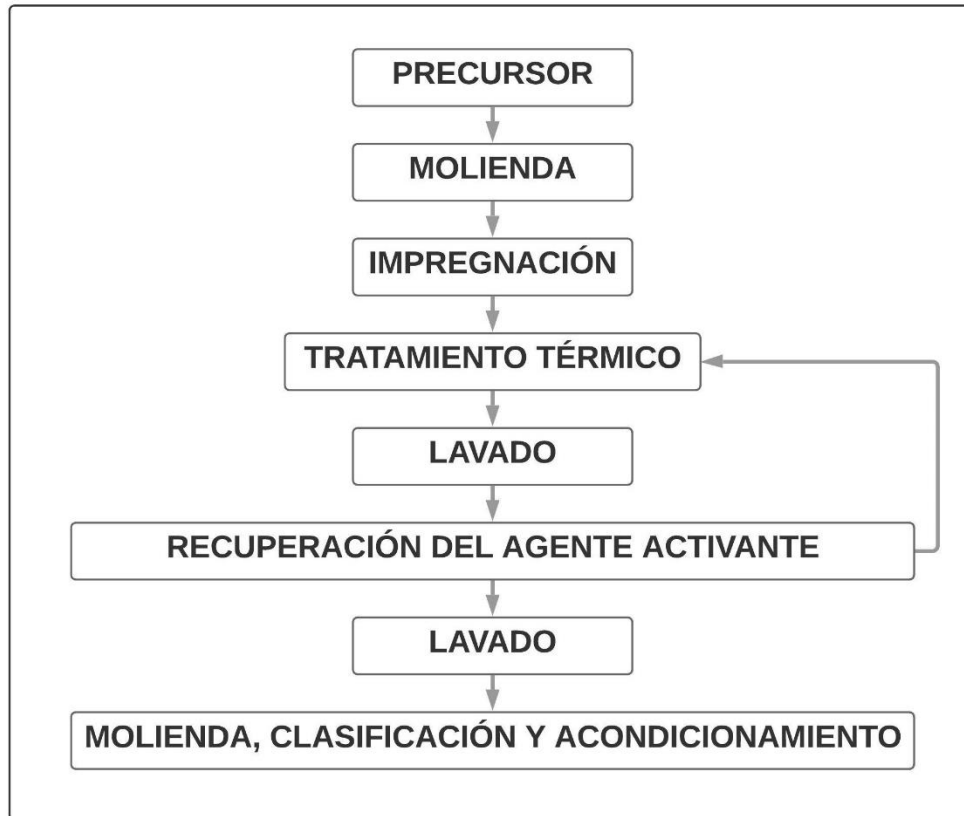


Figura 6.4 Esquema de las etapas del proceso de activación química del carbón activado

Actualmente la sustancia química más utilizada en el proceso de activación química del carbón es ácido fosfórico en una proporción 1:5 (H_3PO_4 : precursor), aunque proporciones diferentes dan lugar a carbones con distintas propiedades, el rendimiento en carbón activado en dicha proporción suele ser del 50% (Smisek y Cerny, 2015).

E) Elaboración de estructuras

Recientemente se han hecho estudios para encontrar nuevos usos industriales para la borra del café, la mayoría de los nuevos descubrimientos están todavía en estado experimental. Una de las aplicaciones en estudio es la elaboración de ladrillos o bloques con propiedades aislantes, como otra alternativa a los ladrillos de desechos plásticos que por su diseño e ingeniería son 30% más baratos que los normales y con propiedades similares a los ladrillos convencionales (Méndez, 2020).

Un proyecto de aplicación personal para el desarrollo de nuevos productos por Zendrero (2017) muestra la fabricación de ladrillos y mosaicos, tras la preparación de una variedad de mezclas con diferentes proporciones de borra de café y agentes aglomerantes. El proceso sigue las siguientes etapas: Secado, reducción de tamaño de partículas, mezclado del aglomerante y de la borra de café, moldeado, prensado y secado. Las estructuras con mejores características mecánicas son aquellas elaboradas con las siguientes proporciones de materiales: borra de café en base seca 91.5%, pegamento vegetal 4.0% y agua 4.5%.

6.3.1 Resumen para la valoración de las alternativas.

Dado que cada producto que puede desarrollarse a partir de la borra de café como alternativa de valorización tiene características únicas con respecto a los demás, requiere un proceso diferente con etapas específicas para su elaboración. Por lo tanto, no es posible realizar una calificación comparativa de todos los requerimientos de una alternativa con respecto a otra, sin embargo, se pueden presentar en forma resumen los datos de la literatura. La elección de una alternativa debe basarse en la factibilidad de implementación, requerimientos mínimos y en la resolución de problemas por parte de un producto en específico. Esta valoración se muestra en la tabla 6.8.

Tabla 6.8*Valoración comparativa de las alternativas preseleccionadas*

Aplicación y/o producto	Costos	Requerimientos técnicos	Propiedades del producto	Beneficios potenciales
Compostaje	Costo de producción manual: 1 qq (100 kg): \$3.50 USD	Período de producción por lote: 4-6 meses Composición de materias primas: 1/3 borra de café 1/3 desperdicios de cocina 1/3 tierra (gallinaza, bosta, etc.) Equipos mecánicos manuales Silos para contención 1 obrero para 3 ton/ día	Tecnología ambiental para mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes por las plantas (uso libre o asociado de fertilización mineral). (1-3 kg/m ² año de compost)	Precio de mercado 1 qq: \$8.00 USD Mejoramiento de la productividad agrícola de cultivos de ciclo anual
Aceite	Prensa extrusora (~\$500) Filtro prensa (~\$1000) Secador de vacío (~\$750) (Equipo a escala de planta piloto)	Equipo de secado del residuo Prensa tornillo sinfín para compresión a 125±5 psi. Sistema de filtración Aditivos antioxidantes para el producto	Aceite con alto contenido de compuestos aromáticos, utilizado en la industria de cosméticos-farmacéutica Materia prima para la elaboración de diversos productos.	Precio de mercado (Industria de cosméticos): ~ \$17.00/1 USD (aceite de café extraído por prensado).

Continúa.

Tabla 6.8*Valoración comparativa de las alternativas preseleccionadas (continuación)*

Aplicación y/o producto	Costos	Requerimientos técnicos	Propiedades del producto	Beneficios potenciales
Aromatizante	No se cuenta con información	Nitrógeno para arrastre Diclorometano como solvente Sistema de absorción y desorción Sistema de refrigeración Intercambiador de calor de contacto indirecto	Aceites esenciales en solución con diclorometano extraídos del aceite extraído por prensado.	Aceites esenciales para la elaboración de ambientadores
Carbón activado	Un estudio de factibilidad económica desarrollado en la FCEF y N de la Universidad de Córdoba en 2018, señala alta rentabilidad para el proceso a nivel de planta piloto si se usan tecnologías de ahorro térmico. (Forneris y Célis, 2018)	Equipo de mezclado Horno rotatorio para carbonización Molino para polvos	Absorbente de químicos tóxicos, gases, metales pesados, desechos, proteínas, lípidos, colorantes, compuestos odoríferos, toxinas entre otros.	Material para tratamiento de los desechos de los laboratorios de la Universidad de El Salvador
Estructuras	No se cuenta con información	Equipo de secado del residuo Equipo de reducción de tamaño Equipo de mezclado Equipo de moldeado y prensado	Los productos desarrollados tienen baja resistencia mecánica y alta higroscopicidad.	Los productos desarrollados pueden emplearse en una diversidad de aplicaciones como mosaicos, floreros, aislantes, entre otros, no así como materiales de construcción.

6.4 Selección de la alternativa para la valorización de la borra de café.

6.4.1 Definición de parámetros de selección de la alternativa.

Dado que los criterios, favorecen el análisis y reducen la subjetividad al proceso de toma de decisiones, se propone definir nuevos criterios para la selección de la alternativa de valorización. Los criterios seleccionados son los siguientes:

- a) *Costos de implementación:* El criterio busca incorporar elementos de costos, en instalaciones, equipos, materiales y mano de obra para implementar el proceso de producción.
- b) *Requerimientos técnicos:* Equipos que se encuentren documentados y disponibles en la región, factores tecnológicos relacionados con técnicas de operación, requerimiento de espacio y personal en la implementación de la alternativa.
- c) *Costos de producción:* Este criterio pretende evaluar el potencial de la medida para minimizar los costos de producción con especial énfasis en el consumo de reactivos.
- d) *Beneficios potenciales:* Usualmente los beneficios económicos son uno de los factores principales en la evaluación de alternativas. Este criterio busca estimar los beneficios económicos y ambientales en relación con la aplicabilidad de una alternativa.
- e) *Propiedades de los materiales:* De acuerdo con las características fisicoquímicas de la borra de café, este criterio pretende evaluar el cumplimiento de las propiedades de los materiales, desarrollados a partir de la borra de café como alternativa de valorización de residuos.

En cuanto a la escala de calificación de las alternativas para el cumplimiento de un criterio se propone una escala para cada uno de los criterios, consistente en cuatro niveles, de acuerdo al aporte de la alternativa al cumplimiento del criterio.

Si el criterio es de requerimientos para el desarrollo de la alternativa, la escala es de tres a cero en donde tres son bajos requerimientos y cero altos requerimientos mientras si el criterio es de beneficios la escala es de cero a tres, en donde cero representa bajos beneficios y tres por consiguiente altos beneficios por una aplicación en particular. Esquemáticamente la escala propuesta se detalla en las tablas 6.9.

Tabla 6.9

a) Escala de evaluación de los criterios de requerimientos para las alternativas preseleccionadas.

Categoría	Escala cualitativa	Escala cuantitativa
Contribuye significativamente al cumplimiento del criterio	Muy Bajos Requerimientos	3
Contribuye moderadamente al cumplimiento del criterio	Bajos requerimientos	2
Contribuye muy poco al cumplimiento del criterio	Requerimientos de nivel medio	1
No contribuye al cumplimiento del criterio	Altos requerimientos	0

b) Escala de evaluación de los criterios de beneficios para las alternativas preseleccionadas.

Categoría	Escala cualitativa	Escala cuantitativa
No contribuye al cumplimiento del criterio	Muy bajos beneficios	0
Contribuye muy poco al cumplimiento del criterio	Bajos beneficios	1
Contribuye moderadamente al cumplimiento del criterio	Beneficios de nivel medio	2
Contribuye significativamente al cumplimiento del criterio	Altos beneficios	3

6.4.2 Evaluación en matriz de análisis de prioridad

A continuación, se muestra esquemáticamente la escala y el proceso de selección para las alternativas de aprovechamiento.

Tabla 6.10

Matriz de análisis de prioridad para la selección de la/las alternativa/as de valorización de la borra de café.

Aplicación y/o producto	Costos de implementación				Costos de Producción				Requerimientos técnicos				Beneficios potenciales				Propiedades de los materiales				Puntuación total
	Muy bajos	Bajos	Medios	Altos	Muy bajos	Bajos	Medios	Altos	Muy bajos	Bajos	Medios	Altos	Muy bajos	Bajos	Medios	Altos	Muy bajos	Bajos	Medios	Altos	
	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	0	1	2	3	0	1	2	3	
Compostaje	*				*					*					*				*		12
Extracción de aceite			*				*				*				*					*	9
Formulación de ambientador				*			*			*					*					*	8
Carbón activado			*				*			*					*					*	9
Elaboración de estructuras		*				*			*				*				*				7

Las cinco alternativas preseleccionadas presentan un puntaje considerable donde la mejor o mejores alternativas se rige por el número más alto en su puntaje, siendo este el compostaje, por razones de su implementación y costos, aunque la ejecución a corto plazo no es visible en sus beneficios ni optativa para dar pie a una propuesta más allá de lo básico; por lo tanto, las opciones de extracción de aceite, carbón activado y formulación de ambientador, se comprometen a ser alternativas más constructivas y de aprovechamiento del residuo, dando pie a la propuesta de extracción de aceite donde su refinamiento resalta sus compuestos aromáticos viables para la formulación de un aromatizante o el aceite por si solo un ingrediente de valor agregado en la elaboración de jabón suaves por su carga de ácidos grasos y capacidad de saponificación, provocando este proceso un residuo que puede retornarse a el compostaje o a dar campo a la activación de la biomasa a carbón activado, gracias a su virtud de adsorbente de contaminantes, de esta forma cerrando el ciclo de aprovechamiento de la borra de café, enfocado a los propósitos de la investigación, de esta manera concretando el inicio del desarrollo de estas alternativas

TERCERA PARTE
DESARROLLO DEL
PRODUCTO

CAPITULO VII. DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO SELECCIONADO

La industria y la sociedad cada vez es más consiente en la reutilización y transformación de los residuos, que conlleva a la sustentabilidad de los procesos en la disposición en las áreas y limitaciones encontradas en los niveles de procesamiento, para lograr una distribución de beneficios tanto sociales como económicos.

La borra de café presenta diversas alternativas a hacer usadas en las industrias, siendo un residuo orgánico sus características se ven potenciadas por su misma naturaleza; sin embargo, se estancan por cuestiones técnicas y su viabilidad más próxima como integrante de abono, aunque por lo general, solo son dispuestas directamente a la tierra o mezclada con todo tipo de desechos.

La propuesta de un diseño de proceso para la extracción de aceite de café por métodos físicos a nivel planta piloto, es una de esas alternativas, y siendo útil en aplicaciones caseras/artesanales hasta las variadas ramas de la gran industria química y alimenticia. Dada la búsqueda cesante de nuevas materias primas para la extracción de aceite, la borra de café hace un hueco en las oportunidades de expandir el residuo a este estante. Llegando a su aplicación el desarrollo de productos, dirigidos a la elaboración de jabón y aromatizantes para el Campus Central de la UES, proponiendo formulaciones para su ejecución.

Como todo proceso conlleva a la generación de residuos, la extracción de aceite de café usando borra de café como su fuente, sus residuos pueden tomar otro enfoque al lado de la producción de carbón activado, entre otros subproductos de parte de la torta residual de la extrusión; agregando un plus a su rendimiento como materia prima.

7.1 Capacidad de producción

La producción de aceite a partir de la borra de café, requiere de parámetros o factores a tomar en consideración en el volumen de producción, los cuales son: cantidad de borra generada mensualmente, áreas de recolección del residuo del café tostado y molido, capacidad de almacenaje y la temporada de producción de aceite para uso interna del Campus Central de la UES.

La tasa de generación de borra de café en el Campus Central de la UES, tiene como punto pivote a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, dando lugar 1,028.81 kg de borra de café/año con humedad de 74.73%, en base seca se dispone de 259.98 kg/año generado por 292 personas. Esta tasa se escala a la cantidad de personal docente y administrativo que se ubican alrededor de 2,558 personas, resultando 2,277.50 kg de borra de café seca/año, con el detalle que se considera 10 meses como de mayor actividad laboral dentro del campus, mensualmente se estima una alimentación proyectada de 227.75 kg de borra de café seca, las pérdidas dependerán de la forma que se deposite en la recepción de dicho residuo.

Con la materia prima disponible expuesta, el volumen de producción radica en el método a utilizar en la extracción de aceites vegetales, estos dependen con qué materia prima se trabaje dándose en la industria hasta nivel de laboratorio y planta piloto, en la tabla 7.1 se muestra los métodos posibles para el proceso, mientras que en la tabla 7.2 presenta los rendimientos correspondientes a los métodos, el estado del grano de café y en condiciones óptimas.

Dado que las pérdidas son inevitables para este residuo tanto en el transporte o traslado a los puntos de recolección hacia el Laboratorio de Ingeniería Química (Planta Piloto) donde se almacenará y procesará la borra de café, se debe tomar en cuenta un margen del 10% de la cifra estimada de generación, se aproxima a 205 kg de borra seca de café/mes, que es la cantidad oficial para los estudios pertinentes en el diseño del proceso de extracción de aceite.

Tabla 7.1*Ventajas y desventajas de los métodos de extracción de aceites vegetales. (Cefla, 2015)*

Tipo de extracción	Método	Ventajas	Desventajas
Prensado de las semillas (Extrusión)	Prensado en frío y almacenamiento a baja temperatura (4°C) en la oscuridad. Prensa de tornillo utilizando calentamiento mediante una resistencia eléctrica o combustible.	Los aceites presentan mejor conservación de los componentes antioxidantes (quercetina y miricetina), comparada con la extracción con solventes. Aceites con una elevada carga volátil.	Rendimientos bajos en la producción del aceite.
Extracción con solventes	Método Soxhlet usando generalmente hexano o como alternativa éter de petróleo, metanol y Etanol	Favorece las características funcionales del aceite como la retención de agua y la estabilidad de emulsión	Provoca pérdidas ligeras de antioxidantes. Peligros a la salud y seguridad a medio ambiente por el uso de solventes. Aceites con trazas de solvente.
Extracción con fluidos supercríticos	Uso del CO ₂ en estado supercrítico	Aceites de alta pureza. No se requiere eliminar solventes del aceite o de la torta residual. No repercute en cambios químicos de los componentes extraídos.	Instalaciones muy costosas

Tabla 7.2*Rendimientos de los métodos de extracción de aceite de café*

Métodos	Rendimiento	Referencia
Extrusión	8±1% de café tostado	(Ramírez, 2008)
	8.78% de café tostado	(López, 2007)
	12.52% en café semitostado molido grueso	(Lavado, Ramírez y Tolentino, 2016)
Extracción con solventes	10±1% con Éter de petróleo en borra de café	(Cenicafé, s.f)
	16.75% con Hexano en café tostado	(Dorado, 2013)
	16% con Éter de petróleo en borra de café	(Arevalos, 1970)
	5% ±1% con Etanol al 97% en grano almendra (con menor cantidad de materiales insaponificables)	(Cenicafé, s.f)
	17% con Hexano en café tostado oscuro y 13.95% en café tostado suave	(Lavado, Ramírez y Tolentino, 2016)
	14.7% con Hexano en café molido	(Somnuk, Eawlex & Prateepchaikul, 2017)
	13.1% con Etanol anhidro en café molido	
	11.8% con Etanol hidratado en café molido	
7.5 % con Metanol en café molido		
Extracción con fluidos supercríticos	8.89% en café tostado	(Dorado, 2013)
	12.14% en granos de café de desecho	(Muangrat & Pongsirikul, 2019)

La producción de extracción de aceite se ejecutará por el método de extrusión, es decir, por un método físico-mecánico, más compatible a las condiciones y puesta en marcha más inmediata en el campus; además, a comparación de la extracción por solventes el más óptimo en rendimiento es con hexano aun así implica mayores costos energéticos y químicos, contaminación medioambiental y una separación con rastros de los solventes. Por lo tanto, de acuerdo a la alimentación de borra de café planteada, el volumen de producción o capacidad de producción de la planta de extracción de aceite por extrusión podría llegar a 164 kg de aceite de café/año y 16.4 kg mensualmente, manteniendo un rendimiento de producción de 8%. Mientras que la torta residual de la extracción de aceite, será candidata para su reusó principalmente como materia prima del carbón activado, dejando en algún punto las opciones de ser componente de un mejorador de suelos y reinyectarlo en el proceso en forma de combustible para el secado de la borra de café.

7.2 Diseño del proceso de extracción de borra de café

El proceso de extracción de aceite por extrusión puede realizarse por prensado en frío y almacenamiento a baja temperatura (4°C) a través de una prensa colador (strainer press), o en una prensa de tornillo tipo expeller también conocida prensa de cilindro hueco (cylinder-hole press), esta prensa tiene resistencias eléctricas para aumentar la temperatura del material que facilitan la extracción del aceite.

En este estudio de ingeniería sostenible, se presenta una alternativa para la extracción del aceite exótico de borra de café a través de una prensa expeller de cilindro hueco. La obtención del aceite de café a partir de la borra de café comienza en la etapa de recolección del residuo biomásico, el cual se debe secar y almacenar para el posterior procesamiento. La gestión logística de recolección, secado y almacenamiento de borra de café como materia prima se detalla posteriormente.

Una vez seca la borra de café está pasa a una etapa de extracción por extrusión en una prensa expeller de cilindro hueco. En ella, se extrae el aceite mediante la aplicación de presión a la borra de café seca por medio de un husillo o tornillo sinfín que se hace girar dentro de un cilindro hueco. Luego, un conjunto de resistencias eléctricas aumenta la temperatura del material que en conjunto con la presión forman una película viscoelástica del material rompiendo las paredes de las células y permitiendo la liberación de los lípidos. La temperatura disminuye la viscosidad del aceite, el cual se libera a través de pequeños orificios del barril de drenaje.

El tornillo se encuentra dentro del barril de drenaje, conocido como la “jaula”. Este consiste en una serie de anillos unidos entre sí por nervios longitudinales, barras paralelas establecidas en la caja, separadas por cuñas o espaciadores, generando una serie de ranuras paralelas a lo largo del cañón, a través del cual el aceite puede fluir al mismo tiempo que se conserva el material sólido dentro de la jaula. Los elementos del tornillo se conocen colectivamente como “ensamble de gusano”. El material sólido que queda dentro de la prensa es finalmente descargado por un orificio llamado “dado”, todo ocurre de manera continua, es decir, la obtención del aceite ocurre en un solo paso.

La gran ventaja de este método se encuentra en ser un proceso exclusivamente mecánico, sin la adición de aditivos químicos lo que garantiza un aceite más sano y que conserva todas sus propiedades organolépticas (sabor, color, textura). La figura 7.1 muestra una prensa de este tipo y los elementos que hacen parte del conjunto de la máquina;

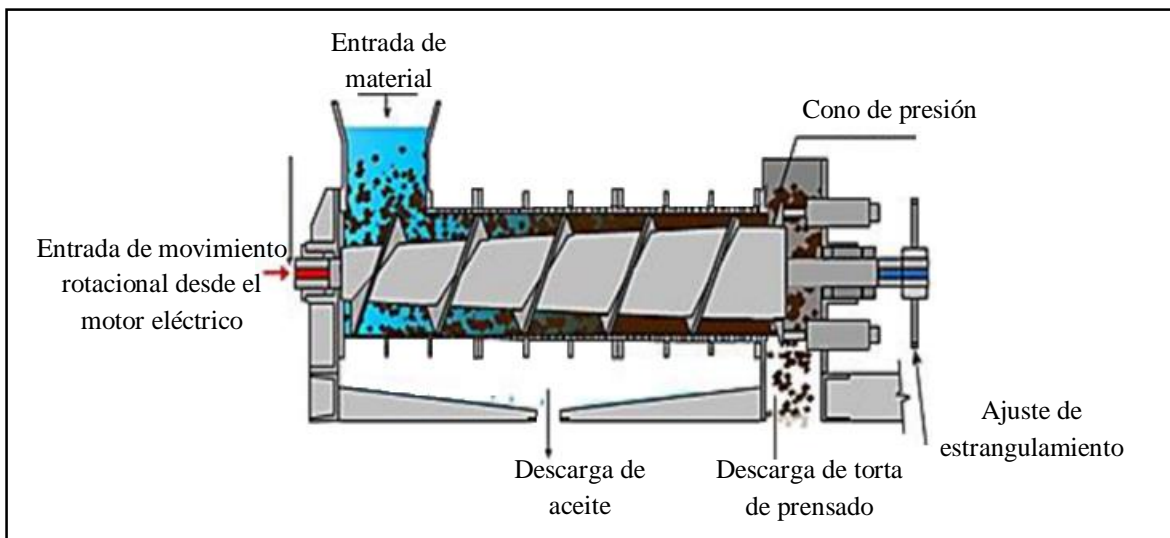


Figura 7.1 Elementos de una prensa expeller

Posterior a la etapa de extracción el aceite se deposita en un tanque de recolección, que alimenta el proceso de filtración. El filtrado se realiza en un filtro prensa de bastidor de aceites comestibles; la corriente de aceite filtrado va al tanque de recolección, que a su vez alimenta el filtro prensa; es decir la operación se realiza de forma cíclica hasta remover los sólidos suspendidos. Al terminar el filtrado se realizan pruebas de inspección de calidad al aceite a ejecutarse en el Laboratorio de Ingeniería Química (Planta Piloto), el proceso termina en el tanque de recolección, para poder utilizarse posteriormente como suministro en la producción de otros productos.

7.2.1. Detalles de operación

Las actividades que constituyen las etapas del proceso de extracción por prensado del aceite a partir de borra de café se describen en la tabla 7.3.

Tabla 7.3

Descripción del proceso de extracción por prensado de aceite de café

N°	Actividad	Tipo de actividad	Descripción
1	Recolección de borra de café	Operación y transporte	La borra de café debe recolectarse en recipientes herméticos y transportarse al sitio de procesamiento.
2	Secado para procesamiento	Operación	El secado de la borra de café es una operación inmediata a la recolección debido a la degradación de la materia prima, está se realiza en un secador de vacío
3	Almacenamiento	Almacenaje provisional	Una vez que el residuo esté seco, se debe almacenar en contenedores herméticos hasta ser procesado.
4	Transporte a prensa y suministro	Transporte	La borra de café se traslada y suministra en la entrada de material (parte superior) de la prensa expeller.
5	Extracción del aceite	Operación	La prensa de tornillo sinfín presiona el material hasta 115 ± 5 psi y lo calienta por medio de resistencias eléctricas extrayendo y recolectando el aceite de café.
6	Recolección de aceite crudo	Demora	El aceite virgen extraído sale del barril de drenaje de la prensa expeller a un tanque de recolección.
7	Transporte a filtro	Transporte	El aceite se transporta del tanque de recolección al filtro prensa usando una tubería vertical.
8	Filtrado del aceite	Operación	El filtro prensa remueve residuos sólidos del proceso de extracción y partículas finas que confieren turbidez.
9	Recolección de aceite filtrado	Demora	El aceite filtrado regresa al tanque de recolección. El proceso de filtrado es cíclico por lo que puede usarse el tanque de recolección o uno alternativo.
10	Inspección de calidad	Inspección	Se toman diversas muestras para la realización de pruebas de calidad del aceite filtrado.
11	Almacenamiento	Almacenaje provisional	El aceite se almacena en el tanque de recolección (tanque hermético), para utilizarse más adelante como suministro en la elaboración de otros productos de alto valor agregado.

7.2.1.1. Flujograma de proceso de producción

La extracción de aceite por extrusión consta de las etapas mostradas en la figura 7.2

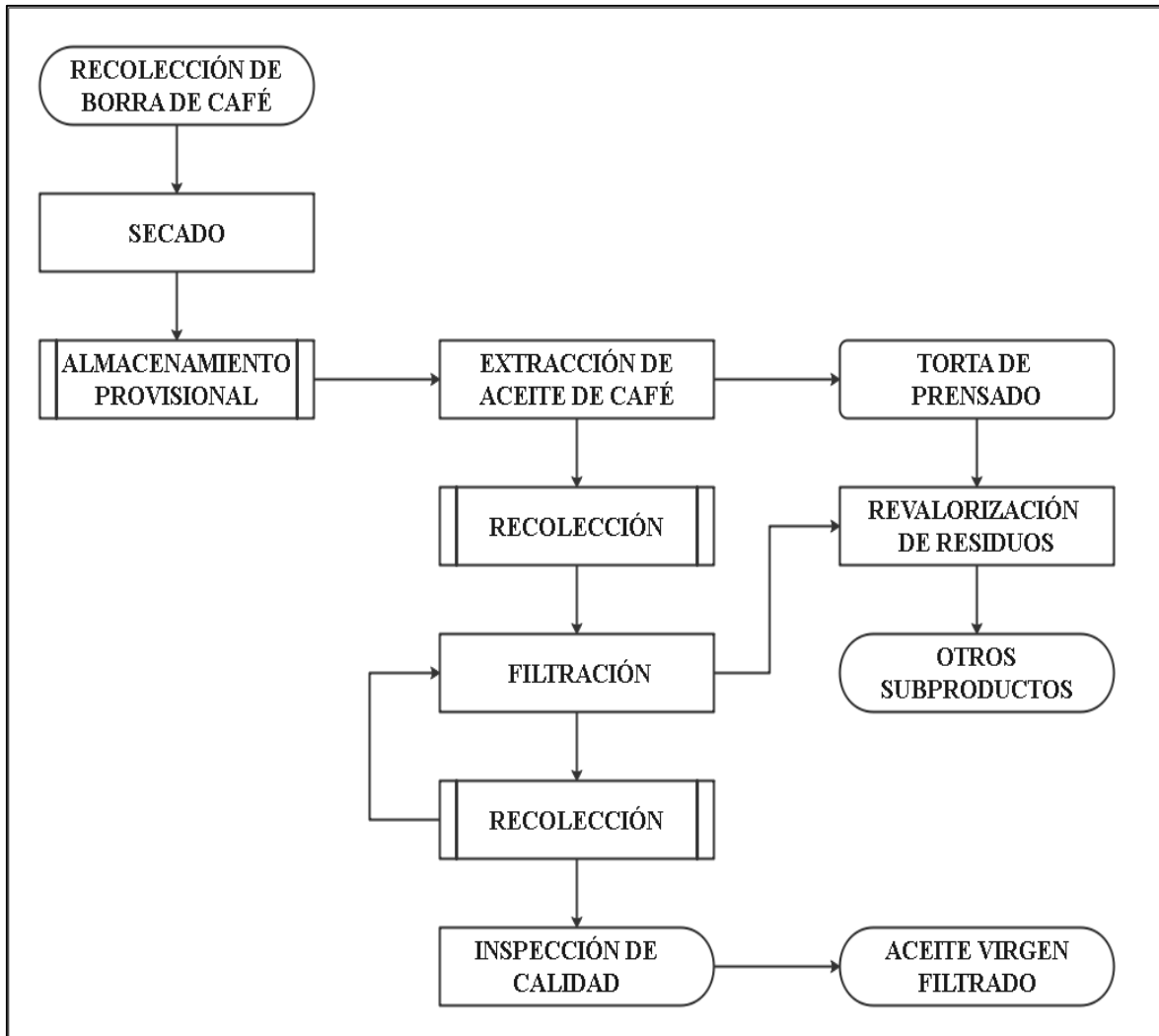


Figura 7.2 Diagrama de etapas del proceso de extracción de aceite de café

La propuesta para la refinación del aceite virgen, como proceso consecutivo a la inspección de calidad del aceite, los subproductos propuestos para valorizar la torta de prensado y las aplicaciones del aceite de café extraído se detallan posteriormente.

7.2.1.2. Balance global de proceso

Un lote de producción como el descrito en este capítulo se puede caracterizar de la siguiente manera:

La entrada se compone de 811 kg de borra de café con una humedad inferior al 75%, a la salida del proceso de secado se tiene 215.50 kg de borra de café con una humedad total inferior al 5% p/p.

Las corrientes del proceso de extracción son las siguientes:

Corriente (S1): El proceso de recolección de la borra de café y secado se debe realizar semanalmente acumulando 215.50 kg de borra/mes en un tanque hermético provisional.

Corriente (S2): Alimentación a la máquina de extracción del aceite de café: 215.50 kg de borra de café. (El proceso de extracción de aceite de café se debe hacer cada mes).

Corriente (S3): ~16.4 kg de aceite crudo, de la prensa expeller al tanque de recolección de aceite.

Corriente (S4): ~195 kg de torta de prensado, de la prensa al tanque de recolección de residuos.

Corriente (S5): ~16.4 kg de aceite crudo del tanque de recolección al filtro prensa.

Corriente (S6): ~16.4 kg de aceite filtrado del filtro prensa al tanque de recolección.

Corriente (S7): ~ Residuos de aceite, del filtro prensa al tanque de recolección de residuos.

Corriente (S8): ~ 16.4 kg de aceite filtrado (Corriente de descarga de producto terminado).

El balance de energía se expone en la sección 7.6.

7.2.1.3. Especificaciones del equipo

En esta sección se describen los equipos que intervienen en el proceso productivo, incluyendo las condiciones de operación. La lista de equipos y sus especificaciones se detallan a continuación.

A) SECADOR DE VACÍO

Denominación: DZ-2BCII



Figura 7. 3 Secador eléctrico con bomba de vacío

Características:

Marca: Faithful

Modelo de Secador de vacío: DZ-2BCII
(con controlador inteligente)

Capacidad de procesamiento: 30kg
(15 kg/estante).

Grado de vacío: < 133 Pa

Potencia nominal: 1400 W

Rango de temperatura: RT + 10 - 250°C

Relación de resolución (°T): 0.1°C

Movimiento (°T): ± 1%

Dimensiones de interior (mm):

415×370×340

Dimensiones de exterior (mm):

680 × 560 × 540

Tensión de alimentación: 120 ~ 240V

Peso: 92 kg

Materiales: Acero inoxidable tipo estándar

Precio de proveedor (bomba incluida):

\$480 US

B) PRENSA DE EXTRACCIÓN DE ACEITES

Se presentan 2 modelos de prensas para la extracción del aceite por método mecánico.

Prensado continuo (Modelo propuesto)

Denominación: PE-6YL



Figura 7.3 Prensa expeller para la extracción de aceites comestibles

Características:

Marca: Upsun-Kinetic Ubei

Modelo: 6YL-68

Tipo de operación: Máquina de prensado en frío y en caliente

Capacidad de procesamiento:
40-50 kg/h

Potencia nominal: 5500 W

Dimensiones (mm): 440×770×880

Contenido de aceite en torta: <6.5%

Peso neto: 140 kg

Velocidad del eje: ~ 40 RPM

Tensión/frecuencia: 220 ~ 380 V
60 ~ 50Hz

Materiales: Acero al carbono y acero inoxidable

Precio de proveedor (incluye motor):
\$600 USD

Certificación: ISO9001, CE

Prensado por lotes



Figura 7.4 Prensa hidráulica para la extracción de aceites comestibles

Características:

Marca: QIANGDI

Modelo: YYJ-180

Tipo de operación:

Máquina de prensado en frío y en caliente

Capacidad de procesamiento:

30-50 kg/h

Contenido de aceite en torta: <3%

Potencia nominal: 1500 W

Presión de trabajo: 50 MPa

Tensión/frecuencia: 220 ~ 380 V

60 ~ 50Hz

Dimensiones (mm): 750×800×1200

Peso neto: 520 kg

Materiales: Acero inoxidable 304

Precio de proveedor: \$1000 USD

Certificación: CE, ISO9001

C) FILTRO PRENSA DE BASTIDOR

Denominación: FP-WBG



Figura 7.5 Filtro prensa de bastidor para aceites comestibles

Características:

Marca: Santai-HDC

Modelo: FP-WBG

Capacidad de filtrado: ~100 kg/h

Potencia nominal: 550 W

Área de filtro: 780 cm²

Dimensiones (mm): 600×300×600

N° de placas o capas: 10

Tamaño de la placa de filtro: 100 mm

Medios filtrantes: 0.8 μm

Materiales: Acero Inoxidable 340

Precio de proveedor: \$400 USD

Certificación: CE, ISO 9001, SGS

D) TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Denominación: TRA1



Figura 7. 6 Tanque de almacenamiento de aceite acero inoxidable 340

Características:

Marca: YAYI

Capacidad de almacenamiento: 50 L

Dimensiones (mm):

Indicaciones del cliente

Termopozo:

Sanitario con conexión triclamp

Termómetro: De dial

Válvula de descarga: 1 "(ID de 7/8 ")

Válvula lateral: 3/4" (ID de 5/8 ")

Manguera sanitaria: Barb (3/8 ")

Puertos TC:

3 con barb de manguera de 1/2".

Materiales: Acero Inoxidable 340

Precio de proveedor: \$110 USD

Certificación: ISO 9001

E) TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA BORRA DE CAFÉ SECA

Denominación: TRB1



Figura 7.7 Tanque de almacenamiento para borra seca

Características:

Capacidad: 225 L

Material: Hierro galvanizado

Dimensiones d*h(mm): 582×915

Precio: \$11.00 USD

Tapa: Removible

F) TANQUE DE RECOLECCIÓN DE TORTA DE Prensado

Denominación: TRT1



Figura 7.8 Tanque de recolección de torta de prensado.

Características:**Capacidad:** 20 g (75.6 l)**Material:** Polipropileno**Conexión de drenaje:** 1-1/2 PLG**Precio:** \$64.90 USD

La tabla 7.4 muestra los sitios digitales para la adquisición de los equipos anteriormente expuestos.

Tabla 7.4*Equipos del proceso de extracción por prensado de aceite de café*

Denominación	Función principal	Sitio digital de compra
DZ-2BCII	Horno de secado al vacío	https://spanish.alibaba.com/product-detail/dz-2bc-ii-laboratory-small-electric-vacuum-drying-oven-60710101091.html
PE-6YL	Prensa de extracción	https://www.topchinasupplier.com/wholesale/China-Sunflower-Cooking-Oil-Making-Machine-Screw-Oil-Press-Machine-Spare-Parts-Cottonseed-Oil-Cake-M_321677/
PE-6YZ	Prensa de extracción por lotes	https://spanish.alibaba.com/product-detail/6yz-150-small-business-walnut-oil-extraction-hydraulic-sesame-cold-press-machine-62029102012.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.16.308cf4a5zxzsl4
FP-WBG	Filtro prensa de bastidor	https://www.alibaba.com/product-detail/small-lab-stainless-steel-edible-oil_60813465707.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.3d4c21e38mXcWo
CR-JLJ	Refinador de aceite	https://es.made-in-china.com/co_wuhanhdc/product_New-Invention-Most-Advanced-Mini-Cheap-Price-Transformer-Oil-Refinery-Machine_riengryhg.html

Continúa

Tabla 7.4*Equipos del proceso de extracción por prensado de aceite de café (continuación)*

Denominación	Función principal	Sitio digital de compra
TRA1	Tanque de almacenamiento para aceite	https://spanish.alibaba.com/product-detail/hot-sale-30l-50l-stainless-steel-home-brewing-equipment-fermenter-60756462054.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.9.371c56e8jsQgCM
TRB1	Tanque de almacenamiento borra de café	Ferreterías genéricas
TRT1	Tanque de recolección de torta	https://www.freundferreteria.com/Productos/Detalle/8706ec5c-505-2-4c66-b32e-36cf27b4581b?id_Categoria=1562342a-cfec-4b68-9cf7-2c01e76beaa2&producto=pila%20plastica%20blanca%20de%20polipropileno

7.2.1.4 Diagrama de diseño de planta

La figura 7.9 se presenta el diagrama del proceso de extracción de aceite de café

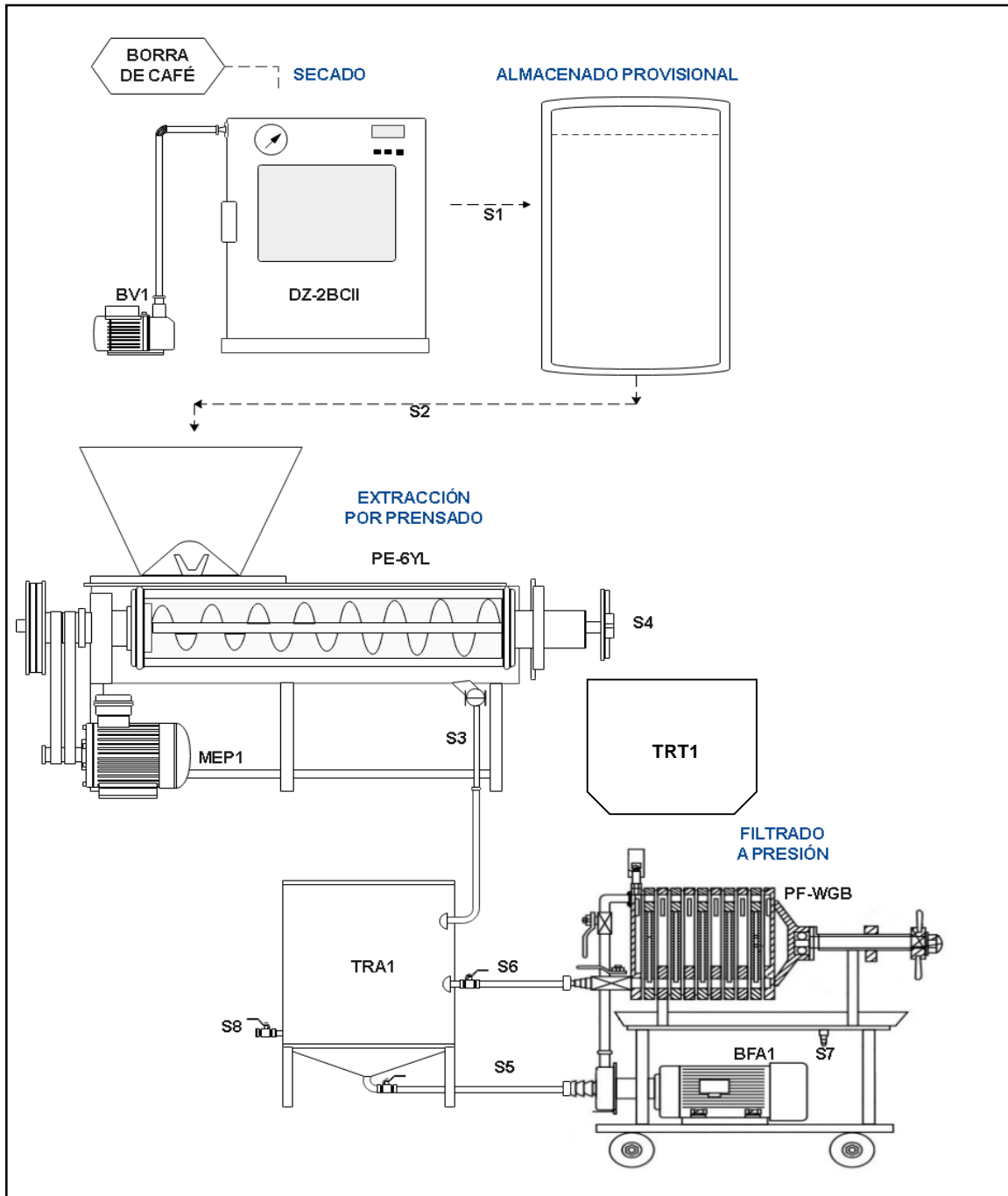


Figura 7.9 Diagrama del proceso de extracción por prensado de aceite de borra de café

7.2.2 Refinación de aceite como etapa opcional

La refinación del aceite pretender remover fosfolípidos (también llamados gomas), ácidos grasos libres, compuestos volátiles odoríferos y otros contaminantes como pigmentos o metales, a través de un conjunto de operaciones fisicoquímicas. Para realizar la operación se propone el siguiente conjunto de equipos que operan conectados entre sí como minirefinería. En consecuencia, el grado de calidad del aceite es apta para consumo alimenticio.

Denominación: CR-JLJ



Figura 7.10 Minirefinería para aceites comestibles

Características:

Marca: HDC-KINETIC

Modelo: JLJ-50D

Tipo de operación: Refinación de aceite

Capacidad de refinación: 21 kg/h

Potencia nominal en conjunto: 5000 W

Dimensiones (mm): 1500*1400*680

Peso neto: 140 kg

Voltaje/frecuencia: 220 ~ 380 V
60 ~ 50Hz

Materiales: Acero Inoxidable 340

Precio de proveedor: \$1000 USD

Certificación: CE, ISO 9001

7.2.2.1 Descripción del equipo de refinación de aceite

Este conjunto combinado para refinación intermitente de aceite se compone de un sistema de hidratación, sistema de filtrado, sistema de transmisión de fluidos, autogenerador de vapor y vacío, sistema de control eléctrico e interconexión de los sistemas.

El proceso de refinación se divide en cuatro secciones, que incluyen desgomado, desacidificación, decoloración, desodorización, las primeras dos operaciones se llevan a cabo en el tanque de hidratación, separadas por la alimentación de reactivos. La figura 7.11 muestra esquemáticamente las etapas de refinación y el principio de operación del equipo.

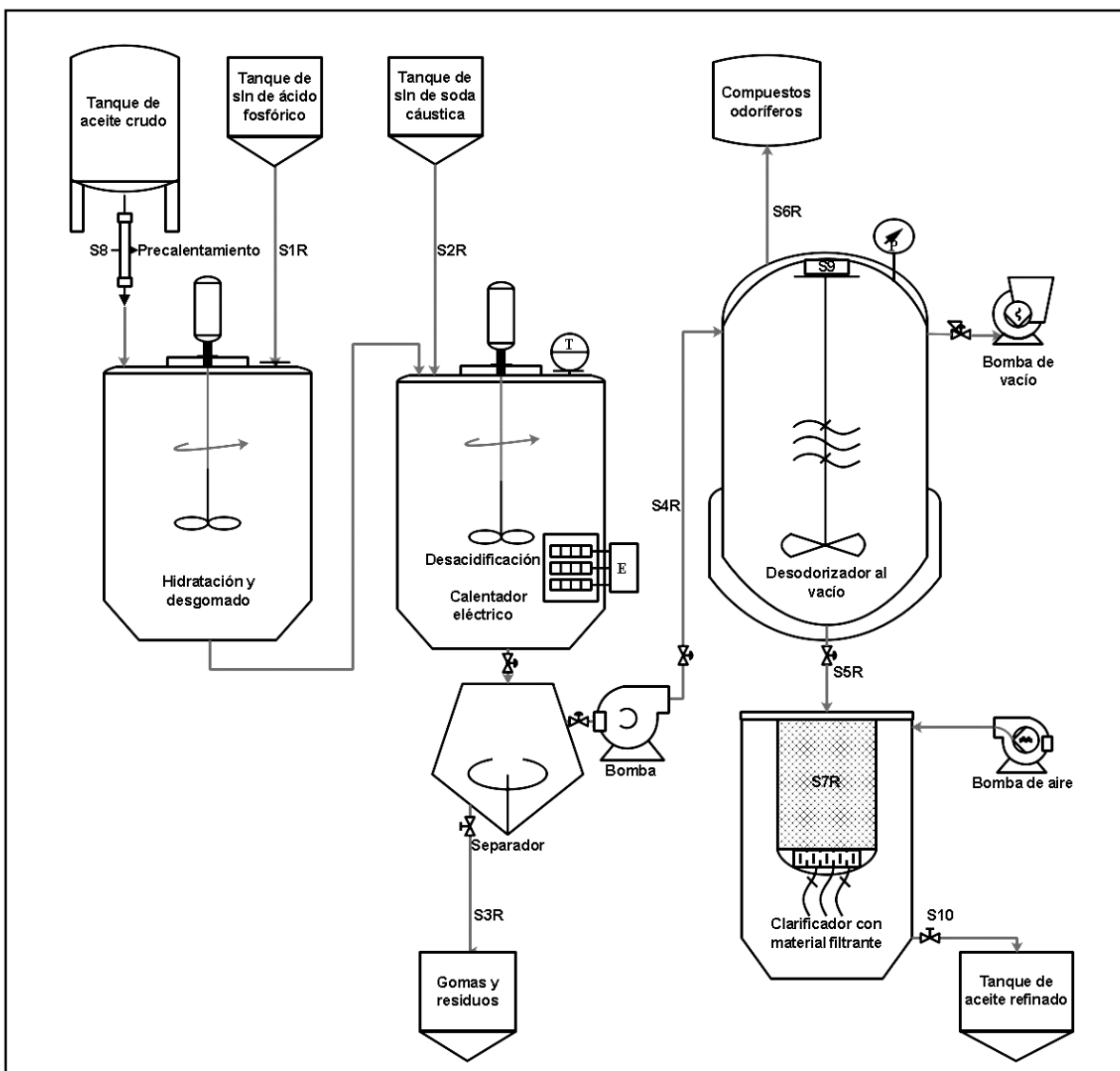


Figura 7.11 Diagrama de etapas del proceso de refinación de aceite comestible

Los parámetros de operación (suministro de reactivos) del fabricante para la refinación de aceite se indican en la tabla 7.5

Tabla 7.5

Parámetros de operación para la refinación del aceite comestible.

Requerimiento técnico	Razón de consumo
Consumo de tierra blanqueadora (diatomáceas)	5~25 g/kg de aceite
Consumo de ácido fosfórico	2~3 g/kg de aceite
Consumo de hidróxido de sodio	2 g/kg de aceite
Consumo de agua	450 g/kg de aceite
Consumo eléctrico	28 Wh/kg de aceite
Tierra blanqueadora con residuos de aceite	<33%
Consumo perdido por desodorización	≤0.5%

Con base en los parámetros del fabricante se necesita el suministro de las siguientes corrientes para la refinación de 16.4 kg de aceite de café; La nomenclatura utilizada para nombrar las corrientes conectadas a la refinación es SR. La corriente S9 es una corriente adicional de terbutilhidroquinona (TBHQ), un antioxidante sintético para productos alimenticios, especialmente para aceites y grasas, agregada al aceite refinado en el tanque de recolección.

Corriente (S8): ~16.4 kg de aceite de café filtrado.

Corriente (S1R): 3.7 kg de solución de ácido fosfórico a 1.3% p/p.

Corriente (S2R): 3.7 kg de solución de hidróxido de sodio a 0.9% p/p.

Corriente (S3R): Gomas y residuos de refinación.

Corriente (S4R): ~16.4 kg de aceite desgomado a desodorización.

Corriente (S5R): Aceite desodorizado a filtro de decoloración.

Corriente (S6R): Mezcla de compuestos odoríferos.

Corriente (S7R): 0.41 kg de tierras diatomáceas o carbón activo.

Corriente (S9): 3.2 g del antioxidante E319 o TBHQ (0.02% máximo FDA).

Corriente (S10): Aceite refinado (Corriente de descarga de producto terminado).

Al terminar el proceso de refinado debe hacerse pruebas de calidad al aceite de café refinado para finalmente enviar el aceite a almacenamiento como producto.

Pasos para la operación del equipo de refinación.

Paso 1: Abrir la tapa del tanque filtro de blanqueo de la máquina. Agregar tierra decolorante hasta que llegue a la parte superior de la tapa, poner ordenada la bolsa de tierra decolorante y encajar en la olla, sellar la tapa y fijar los tornillos.

Paso 2: Preparar las soluciones de ácido fosfórico e hidróxido de sodio.

Paso 3: Agregar el aceite crudo, al tanque de hidratación.

Paso 4: Encender el botón de mezclado y el control de temperatura.

Paso 5: Agregar la solución de ácido fosfórico al aceite crudo.

Paso 6: Acelerar la agitación en el tanque de hidratación y esperar 10 min.

Paso 7: Agregar la solución de hidróxido de sodio al aceite crudo.

Paso 8: Esperar 1 hora y luego detener la agitación y el calentamiento.

Paso 9: Abrir la válvula de descargas de goma e impurezas

Paso 10: Abrir la válvula de descarga del aceite refinado.

7.3 Aprovechamiento de los residuos del proceso de extracción de aceite.

En el apartado anterior se establecieron los parámetros para la extracción de aceite por extrusión, esperando un rendimiento mínimo del 8% de acuerdo con los estudios citados en la tabla 7.1, por lo que el material restante, es decir la torta de prensado constituye el resto de la materia procesada, para el caso 188.6 kg de torta de prensado en base seca de acuerdo con el lote de producción descrito en este capítulo; considerando que la humedad contenida en la borra inicialmente se evapora en la prensa y solo una pequeña fracción está presente en la torta de prensado.

Esto sugiere el aprovechamiento de este residuo en la obtención de otros materiales y/o subproductos. De acuerdo con los estudios concluidos en la tabla 6.10; en concordancia con las propiedades fisicoquímicas de la torta de prensado, la factibilidad técnico-económica y la aplicabilidad en el campus universitario, se propone la elaboración de carbón activo y la aplicación de torta del resto como mejorador de los suelos con cubierta vegetativa del campus.

7.3.1 Carbón activado

La obtención de carbón activo, involucra la impregnación de la torta de prensado con el agente activante (deshidratante), formando una pasta que luego es secada y carbonizada en un horno, ocurriendo una deshidratación con el resultado final de la creación de una estructura porosa y una ampliación del área superficial. Los parámetros fundamentales que controlan el proceso de activación química y el producto a obtener son: la proporción de impregnación, la temperatura de activación y el tiempo de residencia.

Las etapas implicadas para la activación de carbono con ácido fosfórico (H_3PO_4), a partir de la torta de prensado de la borra de café son las siguientes:

I. Mezcla de la torta de prensado con H_3PO_4 (reciclado y fresco).

II. Tratamiento térmico en atmósfera inerte entre 125 y 175°C, durante 1h, seguido de un nuevo tratamiento térmico hasta 400-500°C, manteniendo esta temperatura en torno a 1h.

III. Lavado con agua destilada o desionizada, secado, molienda y clasificación por tamaño de partícula del carbón activado.

Los equipos para el proceso de producción de la figura 7.12 se listan en la tabla 7.6.

Tabla 7.6

Equipos del proceso de producción de carbón activo.

Denominación	Descripción de función principal
TRT1	Tanque para recolección de torta de prensado.
TAF1	Tanque para suministrar el activador (ácido fosfórico).
TIA1	Tanque para impregnar con el activador, la torta de prensado.
HTT1	Horno para tratamiento térmico del precursor en atmósfera inerte.
TAD1	Tanque de alimentación de agua destilada para lavado.
TLC1	Tanque para lavado del carbón activo (con filtro decantador).
MBC1	Molino de bolas para pulverizar el carbón activo.
TVC1	Tamizador vibratorio para la clasificación del producto terminado.

La figura 7.12 esquematiza las etapas del proceso de producción de carbón activado con H_3PO_4 .

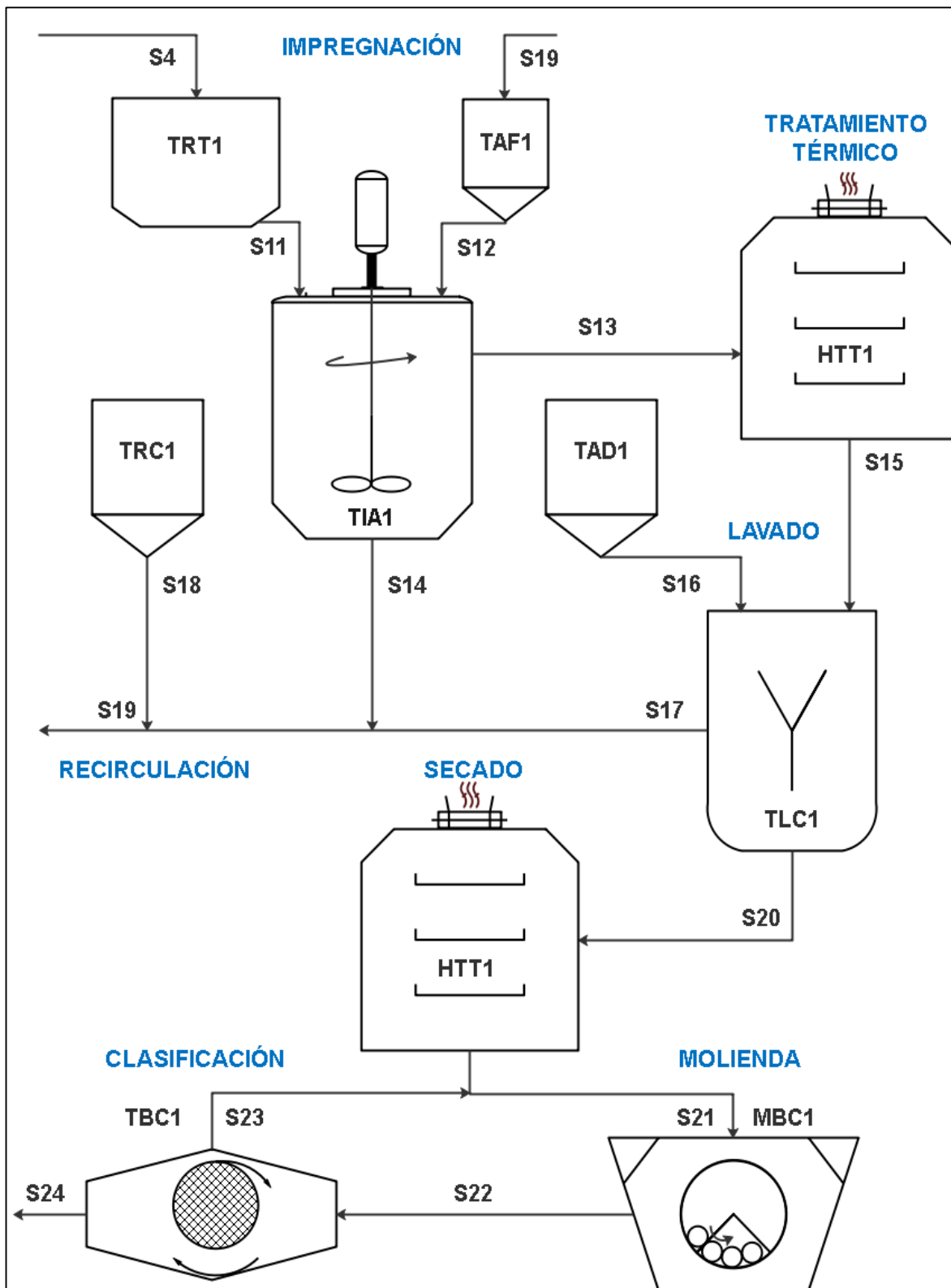


Figura 7.12 Diagrama de proceso de producción de carbón activo.

La proporción ácido fosfórico: precursor, más empleada suele ser 1:5 (aunque proporciones diferentes dan lugar a carbones con distintas propiedades), el rendimiento en carbón activado suele ser del 50% (TAR, 2016). En el lote de producción descrito en este capítulo se utiliza dicha proporción 1:5 (ácido fosfórico: torta de prensado), con pérdidas por combustión de un 50% es decir el rendimiento esperado, para un carbón con estructura microporosa.

Las corrientes del lote de producción se caracterizan de la siguiente manera:

Corriente (S4): ~188.6 kg de torta de prensado, de la prensa al tanque de recolección.

Corriente (S11): 188.6 kg de torta de prensado, alimentados al tanque de impregnación.

Corriente (S12): 37.7 kg de sln ácido fosfórico al 50%p/p.

Corriente (S13): ~226.3 kg de torta de prensado impregnada del activante.

Corriente (S14): Solución de ácido fosfórico concentrada.

Corriente (S15): ~113 kg de carbón activo, con restos del activador.

Corriente (S16): Agua destilada o desionizada para lavar el carbón activo.

Corriente (S17): Agua de lavado del carbón activo (filtro decantador).

Corriente (S18): Regulador de concentración de la corriente S12.

Corriente (S19): Corriente de solución de ácido fosfórico al 50% p/p.

Corriente (S20): Carbón activo húmedo.

Corriente (S21): Carbón activo seco a molienda.

Corriente (S22): Carbón activo molido a tamizador.

Corriente (S23): Carbón activado con tamaño de partícula superior a 0.35 mm a molienda.

Corriente (S24): 94.3 kg de producto terminado, carbón activado en polvo ($\phi \leq 0.35$ mm).

7.4 Propuesta de desarrollo de productos del aceite extraído de la borra de café

La producción mundial de aceite y aceite esencial de café tiene como materia prima los granos de café en diferentes estados, en su mayoría se produce a partir del grano verde donde el contenido de aceite es aproximadamente 18% en peso, con un alto contenido en ácidos palmítico y linoleico, usado mucho en la industria cosmética por sus propiedades emolientes y su capacidad de bloqueo de los rayos solares, llegando a los aceites de café tostado más especializados para ser un vehículo de aroma y sabor de café, con aplicación en la industria alimenticia como saborizante en bebidas, pastelería, confitería y potenciador de sabor por su estabilidad y perfil aromático (Dorado, 2013), también es funcional como componente de productos de limpieza.

De acuerdo a Oliveira et al. (2006) la alternativa de aprovechamiento en la industria química, alimenticia y farmacéutica, en granos de café defectuosos verdes y tostados, no existe diferencias significativas en la variación de ácidos grasos de los aceites extraídos de granos sanos y defectuosos.

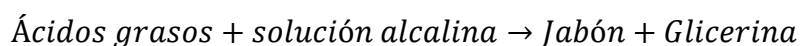
El aceite fijo contenido en el grano de café tostado tiene una composición química similar a la de muchos aceites vegetales comestibles tales como el de la semilla de algodón, soya, maíz, coco, oliva y linaza, entre otros (López, 2007). Sus características se ven presente o ausentes en los aceites vegetales dependiendo de factores como las condiciones del cultivo y grano a utilizar, almacenamiento de la materia prima y el método de obtención del aceite.

En el caso de la borra de café en perfil de residuo que conserva aún características dichas anteriormente del grano de café, se observa una fuente de materia prima útil a provechar el aceite extraído, el diseño de planta piloto de los apartados anteriores trabaja bajo una capacidad de alimentación de 205 kg de borra de café/mes por lo tanto con el 8% de rendimiento mínimo esperado del método de extrusión proporciona 16.4 kg de aceite de borra de café mensualmente, logrando tener 164 kg anuales. A continuación, se desarrollarán las propuestas para el uso del aceite extraído en el Laboratorio de Ingeniería Química de la UES, dando como resultados productos finales que cierren el círculo del aprovechamiento del residuo.

7.4.1 Elaboración de jabones suaves

Un jabón suave o de tocador se define como aquel que ayuda a eliminar los gérmenes patógenos, pero sin agredir ni alterar el equilibrio natural de la piel, es decir, conservando el pH, el manto hidrolipídico y las enzimas naturales de la piel de manera intacta (Ramírez, 2014). Colocándose como un producto sólido de la industria cosmética, que entra en el rango de los jabones naturales por su principio activo siendo el aceite de café a raíz de la borra de café.

La mezclar de un jabón consiste en un ácido graso con un álcali cáustico o base fuerte, por lo general es hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH), con los añadidos de ingredientes o componentes naturales o químicos, modificando el enfoque del jabón a las necesidades de las personas. La reacción presente en la mezcla se denomina saponificación fundamentándose en un hidrolisis alcalino de los esteres glicéricos de ácidos grasos, dando como producto el jabón y subproducto la glicerina. La reacción es la siguiente:



La estructura de aceites y grasas se encuentra en que los aceites son mezclas predominando triglicéridos dando origen a los ácidos grasos con insaturados, presentan enlaces dobles entre carbonos provocando una disminución de los hidrógenos que las que contiene las grasas, por esta razón a temperatura ambiente son líquidos.

El aceite que se escoja para fabricar jabón natural necesita una cantidad específica de hidróxido de sodio o potasio para transformar los ácidos grasos en jabón en la saponificación. Esta etapa es importante sobre todo porque el exceso del álcali en el jabón es capaz de irritar la piel, mientras que una falta del mismo hará que el jabón resulte muy blando y pastoso. Es donde entra el índice de saponificación que presenta los miligramos de hidróxido de potasio necesarios en la neutralización de los ácidos grasos en un gramo de grasa (aceite vegetal en este caso), por lo tanto, mientras mayor sea el índice presenta mayor pureza. Es importante tener presente el índice de saponificación, ya que este representa exactamente la cantidad de la base fuerte para reaccionar y producir el jabón.

Existen una gran serie de propiedades e índices, que en su conjunto revelan el grado de calidad y conservación del aceite, entre ellos son: punto de fusión, solidificación, densidad, índice de refracción, índice de acidez, índice de yodo, viscosidad, materia insaponificable e índice de peróxido. Además, las técnicas cromatografías son de gran utilidad para investigar algunas impurezas o falsificaciones y los caracteres organolépticos (Figuroa y Sánchez, 2013). En la tabla 7.7 muestra los principales parámetros químicos en la caracterización de aceites para la elaboración de jabones y datos documentados para el aceite de café.

Tabla 7 7

Propiedades químicas del aceite de café

Parámetro	Definición	Norma	Método de determinación	P/aceite de café	Referencias
Índice de saponificación	Número de mg de hidróxido de potasio necesarios para saponificar completamente un gramo de grasa.	NTP 209.058 AOCS Cd 3-25	Preparar soluciones de HCl 0.5 N (N) y KOH alcohólica de etanol puro (10g de KOH en 250 ml de etanol puro), a 50m ml de esta última se le adiciona 5 g de muestra de aceite (G), se lleva a un balón conectado a un refrigerante de bolas durante 30 min, dejar enfriar. Se adiciona fenolftaleína a 1% de alcohol de 95° y se titula con solución de HCl 0.5 N. $IS = \frac{56.10(V1 - V2)N}{G}$ V1: sln. HCl en la valoración del ensayo en blanco, en cm ³ . V2: sln. HCl en valoración de la muestra.	133 (café tostado, por extrusión)	(Lavado, Ramírez y Tolentino, 2016)
				286.10 (café tostado, por extrusión)	(Ramírez, 2008)
				Granos defectuosos de café pergamino: 190.08 (por extrusión) 241.17 (por solvente)	(López y Castaño, 1999)
				182.32 (semilla de café)	(Slideshare, 2014)
				190 (borra de café, por solvente)	(Arevalos, 1970)

Continúa.

Tabla 7.7*Propiedades químicas del aceite de café (continuación)*

Parámetro	Definición	Norma	Método de determinación	P/aceite de café	Referencias
Índice de acidez o porcentaje de acidez libre	Expresa en cantidad de mg de hidróxido potásico necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres en 1 g de grasa. Es el grado de hidrólisis de una grasa.	NTP 209.005 AOCS Ca 5a-40	Se prepara 100 ml de sln. de fenolftaleína 1% en alcohol a 95%. Posteriormente 50 ml de alcohol 95% se titulan con NaOH al 0.1 N. Agregar 2 ml de fenolftaleína hasta el viraje al color rosa tenue, con 50 ml de esta sln. se lleva a la estufa por 20 min	4.92% (café tostado, por extrusión)	(Lavado, Ramírez, y Tolentino, 2016)
			Pesar 2.5 g de aceite, añadir la sln. anterior calentada hasta su completa dilución. Agregar 2ml de sln. de fenolftaleína, seguidamente titular con la sln. de NaOH 0.1 N hasta el viraje de color de la sln. % $= \frac{ml\ NaOH \times N \times 28.2}{peso\ de\ muestra}$	2.99% (café tostado, por extrusión)	(Ramírez, 2008)
Índice de yodo	Número de gramos de yodo que son fijados por 100 g de la sustancia grasa, o una medida del grado de insaturación de los componentes de una grasa.	AOCS Cd 1-25	Estandariza la sln. de tiosulfato de sodio con dicromato de potasio. Pesar 1 g de muestra, añadir 15 ml de tetracloruro de carbono, agitar. Pipetear 25 ml de sln. de wijs y adicionarlo a la muestra. Almacenarla en un lugar oscuro por 30 minutos a 25°C.	97.98 cg I ₂ /g (café tostado, por extrusión)	(Ramírez, 2008)

Continúa.

Tabla 7.7

Propiedades químicas del aceite de café (continuación)

Parámetro	Definición	Norma	Método de determinación	P/aceite de café	Referencias
Índice de yodo	Número de gramos de yodo que son fijados por 100 g de la sustancia grasa, o una medida del grado de insaturación de los componentes de una grasa.	AOCS Cd 1-25	<p>Luego añadir 20 ml de sln. de yoduro de potasio con 150 ml de agua destilada.</p> <p>Preparar por lo menos un blanco con cada grupo de muestras simultáneamente y similar a todo respecto a las muestras. Titular con sln. 0.1 M de tiosulfato de sodio agitando constantemente. Titular hasta que tenga un color amarillo claro, añadir 1 a 2 ml de indicador almidón, seguir la titulación hasta que se descolore por completo.</p> <p><i>IY</i></p> $= \frac{(B - S) \times N \times 12.69}{\text{peso de muestra}}$ <p>B: gasto de titulación del blanco, en ml. S: gasto de titulación de la muestra. N: normalidad de sln. tiosulfato de sodio.</p>	127.56 mg I ₂ /g (granos defectuosos de café pergamino, por extrusión)	(López y Castaño, 1999)
				134.67 mg I ₂ /g (por solvente)	
				90-130 mg I ₂ /g (borra de café, por solvente)	(Arevalos, 1970)
Materia insaponificable	Es la parte de una grasa que no puede usarse como base para jabones.	AOCS Ca 6a-40	Pesar 5 g de muestra en frasco soxhlet, agregar 30 ml de alcohol a 95% y 5 ml de KOH al 50%, ponerlo a reflujo en condensador por 1 hora, hasta completar la reacción. Transferir totalmente al cilindro y lavar el soxhlet con 40 ml con alcohol 95%.	1.68 % (café tostado, por extrusión)	(Ramírez, 2008)

Continúa.

Tabla 7.7*Propiedades químicas del aceite de café (continuación)*

Parámetro	Definición	Norma	Método de determinación	P/aceite de café	Referencias
Materia insaponificable	Es la parte de una grasa que no puede usarse como base para jabones.	AOCS Ca 6a-40	<p>Enfriar el cilindro y agregar 50 ml de éter. Inserte el tapón y agitar vigorosamente por 1 minuto hasta separar las dos fases. Las fracciones de éter son drenadas y acumuladas en la ampolla de decantación. Repetir la extracción usando éter en proporciones de 50 ml hasta completar 6 a 7 extracciones, luego agitar con cada extracción. Lavar en forma combinada, los extractos en el separador con lavadas de 25 ml de cada uno (3 veces), estos lavados hacerlos con alcohol 10% en agua destilada, agitar y drenar el alcohol después de cada lavado no remueva el éter. Transferir la capa de éter a un beaker tarado y evaporar el contenido de baño maría, completar el secado en horno a 75-80 °C, contenerlos en desecador y pesar. Agregar el residuo del beaker 50 ml de alcohol 95% caliente (50°C), titular con NaOH 0.02 N y fenolftaleína. Hacer un blanco por prueba.</p> $\% = \frac{(\text{residuo} - \text{grasa ácida}) \times 100}{\text{peso de muestra}}$ <p>A: peso residuo. B: peso grada ácida</p>	7-12% (café tostado, por extrusión)	(López, 2007)

Otros parámetros de propiedades físicas como viscosidad, densidad, solubilidad, humedad, índice de refracción, pH, impurezas insolubles y cenizas, es posible su registro en los aceites vegetales, completando los análisis básicos en la caracterización del aceite de café. En la tabla 7.8 se describen sus valores.

Tabla 7.8

Propiedades físicas del aceite de café

Propiedades físicas	Valores	Referencia
pH	A 22 °C 4.58 (café tostado oscuro, por extrusión) 4.73 (café tostado claro, por extrusión)	(Ramírez, 2008)
	4.7633 (café tostado, por extrusión)	(Lavado, Ramírez y Tolentino, 2016)
Densidad	A 23.2 °C 0.923 g/cm ³ (café tostado oscuro, por extrusión) 0.927 g/cm ³ (café tostado claro, por extrusión)	(Ramírez, 2008)
	0.9526 g/cm ³ (café tostado, por extrusión)	(Lavado, Ramírez y Tolentino, 2016)
Solubilidad	Agua: negativa Etanol: negativo Benceno: positivo Cloroformo: positivo	(Ramírez, 2008)
%Humedad	0.37565% (café tostado oscuro, por extrusión) 0.3767% (café tostado claro, por extrusión)	(Ramírez, 2008)
	0.30% (café tostado, por extrusión)	(Lavado, Ramírez y Tolentino, 2016)

Continúa.

Tabla 7.8 (continuación)

Propiedades físicas del aceite de café

Propiedades físicas	Valores	Referencia
Viscosidad	A 26.2 °C 1 dPa/s	(Ramírez, 2008)
Punto de fusión	15°C	(Ramírez, 2008)
Índice de refracción	A 22.5°C 1.478 (café tostado oscuro, por extrusión) 1.4785 (café tostado claro, por extrusión)	(Ramírez, 2008)
% Impurezas insolubles	2.15%	(Lavado, Ramírez y Tolentino, 2016)
% Ceniza	0.39%	(Lavado, Ramírez y Tolentino, 2016)

La fabricación tradicional de jabón se reduce en el diagrama de la figura 7.13, a continuación:

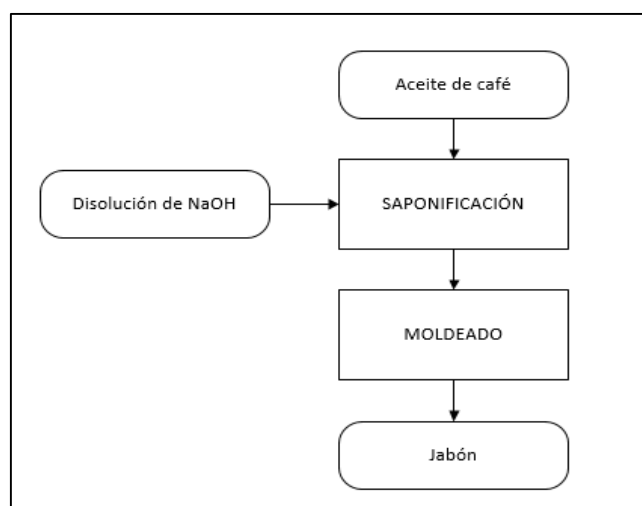


Figura 7.13 Diagrama de proceso de elaboración de jabón artesanal

Si el jabón a producir será en barras (jabón de tocador), se enfría y se corta en porciones, las que enseguida se secan y prensan, dejando un material con un contenido de agua en torno al 35%. Si por el contrario se obtendrá un jabón líquido, se deja enfriar, pero menos tiempo que el anterior, y se le añade más agua junto con los ingredientes finales, para embotellarlo.

7.4.1.1 Formulación de jabón de aceite de café

Es importante definir que el índice de saponificación puede ser en base tanto a KOH como al NaOH, teniendo un factor de 1.4 veces más que NaOH. Estableciendo como índice de saponificación promedio para el aceite de café 190 (Arevalos, 1970), es decir, 190 mg de KOH necesarios para reaccionar con 1 g de aceite, esto es aproximadamente igual a 135.71 mg de NaOH, la razón radica en que el KOH es más reactivo que el NaOH en efecto necesitará más cantidad para saponificar los ácidos grasos. El tipo de jabón a elaborar dependerá el uso de alguna de esas bases fuertes, en el caso de el NaOH se produce jabones tradicionales sólidos y opacos, mientras que con KOH se originan jabones líquidos, más solubles y transparentes. La formulación de jabón se puede llevar a cabo, ya sea puramente artesanal, en laboratorio con condiciones más controlada o a nivel de industria, por lo tanto, no posee limitantes en elaborarlo.

El valor agregado que proporcionan los ingredientes o componentes de los jabones naturales es indiscutible por el hecho de ser puros, se caracteriza por la utilización de ingredientes saludables en mayor escala a comparación de los diferentes procesos productivos del jabón, además de contar con procesos de elaboración más sostenibles para que así el consumidor obtenga un mayor beneficio tanto en su uso como en propiedades (Vences et al., 2018) en oposición a los jabones comerciales que son una mezcla de detergentes, endurecedores, agua, glicerina, EDTA, perfumes, un poco de jabón y hasta aceite mineral. (Bautista, 2017).

A continuación, se propone dos formulaciones con el aceite de café como principio activo del jabón, encajando en la categoría de jabones naturales/artesanales.

a. FORMULACIÓN N°1: “Jabón natural/artesanal de aceite de café”

Para una base de cálculo de 16.4 kg de aceite de café

$$16,400 \text{ g aceite} \times \frac{0.13571 \text{ g NaOH}}{\text{g aceite café}} = 2,225.64 \text{ g de NaOH}$$

Con sobreengrasado de 5%:

$$(1 - 0.05) \times 2225.64 \text{ g de NaOH} = 2,114.36 \text{ g de NaOH}$$

Para una concentración de NaOH del 30% p/p:

$$\frac{2,114.36 \text{ g de NaOH}}{0.30} - 2,114.36 \text{ g de NaOH} = 4,933.51 \text{ g de agua destilada}$$

Producto terminado:

$$16,400 \text{ g aceite} + 2,114.36 \text{ g de NaOH} = 18,514.36 \text{ g de jabón terminado}$$

Dado que no se separan fases y la conversión es total de la reacción de saponificación teniendo al NaOH como el reactivo limitante, la masa que entra será igual a la que sale en forma de jabón, a excepción del agua por su secado previo a su uso y el agua que queda no se tomará en cuenta.

Debido a las posibles pérdidas en el producto, el jabón terminado se redondea en 18,510 g.

Las dimensiones de la presentación final dependen de los moldes a utilizar, se sugiere que sean de silicona por su fácil desprendimiento, el peso de cada pieza será de 90 g.

$$18,510 \text{ g de jabón terminado} \times \frac{1 \text{ pieza}}{90 \text{ g de jabón}} = 205.67 \cong 205 \text{ piezas}$$

Se producirá 205 jabones de 90 g cada uno.

b. FORMULACIÓN N°2: “Jabón natural/artesanal de mezcla de aceites”

Para una composición del 50% de aceite de café, 25% de aceite de palma y 25% de aceite de coco. Según (Moreno, 2008) los índices de saponificación con NaOH de los últimos dos aceites es de 191.09 y 141.96 respectivamente.

Con una base de cálculo de 32,800 g de mezcla de aceites, serán 16,400 g de aceite de café, 8,200 g de aceite de palma y 8,200 g de aceite de coco

$$16,400 \text{ g} \times \frac{0.13571 \text{ g NaOH}}{\text{g aceite café}} + 8,200 \text{ g} \times \frac{0.191 \text{ g NaOH}}{\text{g aceite palma}} + 8,200 \text{ g} \times \frac{0.1496 \text{ g NaOH}}{\text{g aceite coco}} = 5,018.56 \text{ g de NaOH}$$

Con sobreengrasado de 5%:

$$(1 - 0.05) \times 5,018.56 \text{ g de NaOH} = 4,767.63 \text{ g de NaOH}$$

Para una concentración de NaOH del 30% p/p:

$$\frac{4,767.63 \text{ g de NaOH}}{0.30} - 4,767.63 \text{ g de NaOH} = 11,124.47 \text{ g de agua destilada}$$

Producto terminado:

$$32,800 \text{ g aceite} + 11,124.47 \text{ g de NaOH} = 43,924.47 \text{ g de jabón terminado}$$

Debido a las posibles pérdidas en el producto, el jabón terminado se redondea en 43,920 g.

Las dimensiones de la presentación final dependen de los moldes a utilizar, se sugiere que sean de silicona por su fácil desprendimiento, el peso de cada pieza será de 90 g.

$$43,920 \text{ g de jabón terminado} \times \frac{1 \text{ pieza}}{90 \text{ g de jabón}} = 488 \text{ piezas}$$

Se producirá 488 jabones de 90 g cada uno.

Como parámetro de calidad se deberá asegurar su pH, en el caso del método caliente será necesario medirlo en el momento que la reacción de saponificación llegue a su final antes de su moldeado, para poder corregir la formulación si este se aleja mucho de un pH neutro; además, es necesario la curación del jabón que consiste en el secado del agua en exceso en la pieza y la disminución del pH, completando el margen de diferencia si no se consigue un pH neutro, esto marca la finalización por completo del proceso de saponificación, se deberá dejar entre 1 a 2 semanas reposando para su posterior uso en la piel. Es posible acelerar el secado en el horno a 60 °C durante unas horas.

7.4.1.2 Formulación de jabón líquido de aceite de café

La variante del jabón líquido cremoso comprende en ser el mismo jabón que el anterior con la diferencia de contener más agua a grado de convertirse líquido. Trabajando bajo el mismo principio de saponificación en caliente a 80°C ambas partes previas a su unión y aproximadamente manteniendo la temperatura durante el mezclado de la saponificación, dejando un estimado de 1 hora de reposo tapado posterior al mezclado con agua destilada. Luego de estar gelificado se agregará agua destilada para luego calentar a 80°C, se agrega más agua mientras se calienta hasta lograr la consistencia líquida cremosa y embotellarla, es necesario dejar reposar cerca de la semana a su utilización. Las etapas descritas las muestra la figura 7.14. La incorporación como base fuerte del KOH se hace indispensable para el desarrollo de este tipo de formulación, acompañado de glicerina.

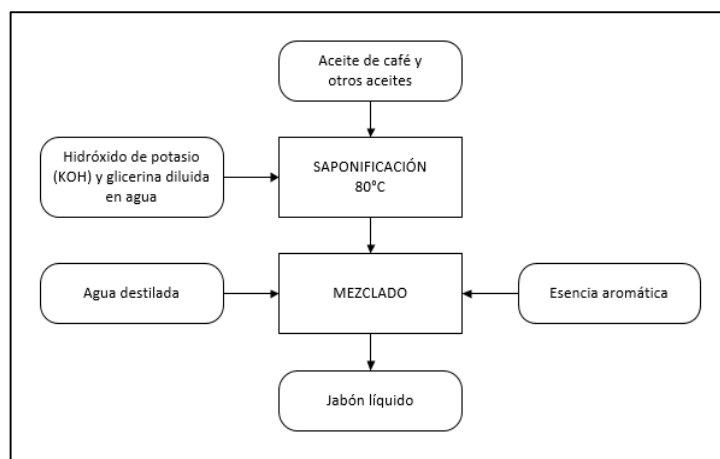


Figura 7.14 Diagrama de proceso de elaboración de jabón líquido casero

c. FORMULACIÓN N° 3 “Jabón líquido de aceite de café natural/artesanal”

Para una composición del 65% de aceite de café, 25% de aceite de coco y 10% de aceite de ricino. Según (Moreno, 2008) los índices de saponificación con KOH de los últimos dos aceites es de 268 y 180.90 respectivamente.

Con una base de cálculo de 25,230.77 g de mezcla de aceites, serán 16,400 g de aceite de café, 6,307.69 g de aceite de coco y 2,523.08 g de aceite de ricino.

$$16,400 \text{ g} \times \frac{0.190 \text{ g NaOH}}{\text{g aceite café}} + 6,307.69 \text{ g} \times \frac{0.268 \text{ g NaOH}}{\text{g aceite coco}} + 2,523.08 \text{ g} \\ \times \frac{0.18090 \text{ g NaOH}}{\text{g aceite ricino}} = 5,262.89 \text{ g de KOH}$$

Con sobreengrasado de 5%:

$$(1 - 0.05) \times 5,262.89 \text{ g de NaOH} = 4999.75 \text{ g de KOH}$$

Para una concentración de KOH al 30%:

$$\frac{4,999.75 \text{ g de KOH}}{0.30} = 16,665.83 \text{ g de solución}$$

$$16,665.83 \text{ g de solución} \times 0.35 = 5,833.04 \text{ g de agua destilada}$$

$$16,665.83 \text{ g de solución} \times 0.35 = 5,833.04 \text{ g de glicerina}$$

Agua destilada total: 32,405.78 g

18% de la solución de KOH con glicerina (5,833.04 g)

62% añadida luego del reposar 1 hora de la saponificación (20,091.58 g)

20% durante su mezclado en forma líquida (6,481.16 g)

Si es necesario se deberá agregar más agua durante su mezclado.

Producto terminado:

$$25,230.77 \text{ g aceites} + 4999.75 \text{ g de KOH} + 32,405.78 \text{ g de agua} \\ + 5,833.04 \text{ g de glicerina} = 68,469.34 \cong 68,469 \text{ g de jabón líquido}$$

Usando una presentación de 500 ml (16.90 fl. Oz), para efectos de cálculo se considera que de la onza líquida estadounidense es un estimado cercano de la onza y dando como referencia al agua se tiene que $1 \text{ g} = 1 \text{ ml} = 0.035274 \text{ oz} \approx 0.033814 \text{ fl. Oz}$. Lo más recomendado es estimar la densidad del líquido resultante con precisión de laboratorio.

$$\text{oz de jabón líquido terminado} \times \frac{0.033814 \text{ fl. Oz}}{0.035274 \text{ oz}} = 508.06 \text{ fl. Oz} \cong 508 \text{ fl. Oz}$$

$$2,315.21 \text{ fl. Oz de jabón líquido terminado} \times \frac{1 \text{ envase}}{16.90 \text{ fl. Oz}} \cong 136 \text{ envase}$$

Se producirá 136 envases con jabón líquido de 500 ml.

7.4.2 Aromatizante

La situación actual del mercado de los ambientadores, a pesar de ser bastante amplia y ofrecer distintos productos, se enfoca en su mayoría en la estética y diseño del producto, pero no se percata de los efectos negativos que estos causan tanto en las personas como en el medio ambiente.

Los aceites esenciales son la parte volátil del aceite fijo que consisten en una mezcla compleja de sustancias aromáticas responsable de las fragancias naturales de las plantas, flores, frutas, semillas, etc. dando propiedades directas de los compuestos aromáticos asociados a la fuente que provienen, con amplia aplicabilidad en fármacos, además son grandemente utilizados en cosmética y perfumería, y en la industria alimenticia, confitería y licorería. En general, los aceites esenciales poseen un 0.1 al 1% del peso seco de la fuente de extracción, esto puede variar con respecto a su naturaleza, son líquidos con poca solubilidad en agua, solubles en alcoholes y en solventes orgánicos. La mayoría de los aceites esenciales son menos densos que el agua (salvo excepciones como los aceites esenciales de canela, sazafrán y clavo) y con un alto índice de refracción (López, 2004)

La industria utiliza profundamente la química para obtener los aromas deseados, ya que normalmente es más fácil y barato sintetizar los aromas que extraerlos de los productos naturales de los que proceden (García, 2009)

El café por si solo posee una alta cantidad de compuestos odoríferos que presenta el café tostado por efecto de transformaciones y degradaciones (López, 2007); por lo tanto, la borra de café tomará notas de café tostado por su naturaleza, su extracción se da a partir de su propio aceite extraído por extrusión. El proceso de obtención para este aceite esencial de café se encuentra descrito en la sección 6.3.1.3 o también, es posible extraerlo en la etapa final de refinación; considerando el consumo perdido por desodorización en la refinación del aceite del equipo propuesto, se estima a grandes rasgos que el rendimiento de obtención a partir del aceite fijo es un mínimo de 0.5%, con 16.4 kg de aceite fijo su parte de compuestos aromáticos volátiles es de 0.82 kg (820 g), disponibles para la formulación de aromatizante.

7.4.2.1 Formulación de aromatizante

Las siguientes formulaciones son enfocadas a la elaboración artesanal o casera, para realizadas en laboratorio con condiciones más controladas.

a. FORMULACIÓN N° 1 “Gel aromatizante de café”

Se fundamenta en la utilización de grenetina o gelatina como vehículo de difusión del aroma del producto. Con 820 g de aceite esencial de café siendo el aroma estrella. Asumiendo que en 1 ml de este aceite pesa 0.9 g, se dará una dosis de 3 ml (2.7 g) por cada pastilla de gel que se produzca, por lo tanto, su base de cálculo será para 300 unidades de pastilla de gel aromatizante en presentación de aproximadamente 90 g, en moldes o recipientes de vidrio para que sean retornables cada vez que terminan su vida útil. Se usa cloruro de sodio como conservante por la exposición directa a ambiente del producto.

Para 27,062 g de producto terminado se tiene las siguientes cantidades de insumos:

- Agua destilada: 23,807 g (87.97%)
- Grenetina: 1,488 g (5.50%)
- Cloruro de sodio: 947 g (3.50%)
- Aceite esencial de café: 820 g (3.03%)

En un cuarto de agua destilada fría proporcionada se añade la grenetina, mientras que en una la mitad de agua se calienta hasta que hierve para agregar el cloruro de sodio, retirarla del calentamiento para unir ambas partes, luego se añade el agua fría restante junto con el aceite esencial de café (se podría añadir colorante dependiendo la intensidad del color que se desea), teniendo la mezcla, se pasa a los moldes o recipientes de vidrio con tapadera con agujeros y dejar que termine de gelatinizar o introducir a un refrigerador durante 24 horas así acelerándolo.

Se producirán 300 unidades de 90 g

b. FORMULACIÓN N° 2 “Cera Aromatizante de café”

El agente difusor es proporcionado por la cera ya sea en tabletas, en diferentes formas hasta poder usarlos colocarlos al aire o en recipientes. El aceite esencial de café brindado es 820 g, por lo general, la dosis es del 10% peso de la cera por cada unidad para la elaboración de las pastillas y velas aromáticas, se optará por esa dosis. La cera a utilizar será de origen vegetal para mantener la línea natural de los productos, usando 100 g de cera de soja por unidad, siendo 100% segura de no emitir tóxicos a aire, su duración es prolongada 1 a 3 veces más que la parafina convencional; además, de tener un punto de fusión menor de 40-45 °C, esto lo hace aprovecharla completamente.

Para 8,200 g de cera de soja se necesitará 820 g de aceite esencial de café, dado una cantidad de producto terminado de 9,020 g

Cuando la cera de soja este totalmente derretida en baño María sin dejar de mezclar, se deja reposar unos minutos hasta que su temperatura disminuya y así evitar que los compuestos aromáticos del aceite esencial sean afectados. Posteriormente se deposita en los moldes de figuras o formas designados. Colocarlas ya sea sobre una superficie o antes de solidificar un colgante; una alternativa es usar un difusor que presenta dos cavidades, una superficial donde se dispondrá la pieza de cera y una inferior perteneciente a una vela, el calor provocará indirectamente la evaporación de la pieza de cera.

Otra opción es elaborar velas aromáticas para ellos solo será necesario transferir la cera líquida aromatizada en recipientes de vidrio de su respectivo peso por unidad, previamente haber colocado la mecha de la vela. Con respondiente a su contenido de cera posee un tiempo de combustión de 16 a 18 horas.

Se producirán 100 unidades de 90 g

7.5 Ciclo de vida de la borra de café en el Campus Central de la UES

Según la definición de los residuos sólidos urbanos (RSU) los residuos se clasifican en dos vertientes: Residuos secos o inorgánicos y Residuos húmedos u orgánicos, siendo los inorgánicos los de mayores porcentajes de generación en todas partes del mundo. La borra de café se encuentra en los orgánicos, el residuo posee una característica significativa para realizar su gestión, la cual es la generación sin ningún contaminante no propio de la biomasa, además, no necesita de clasificación ni separación de otros residuos, por ser generada en cafeteras su extracción se hace más controlada para su aprovechamiento.

Basado en el sistema de gestión integral de residuos sólido urbanos (GIRSU), se tiene las siguientes etapas adaptadas a ejecutar: Generación, Recolección, Tratamiento, Disposición final. En la figura 7.15 se ilustran a continuación:

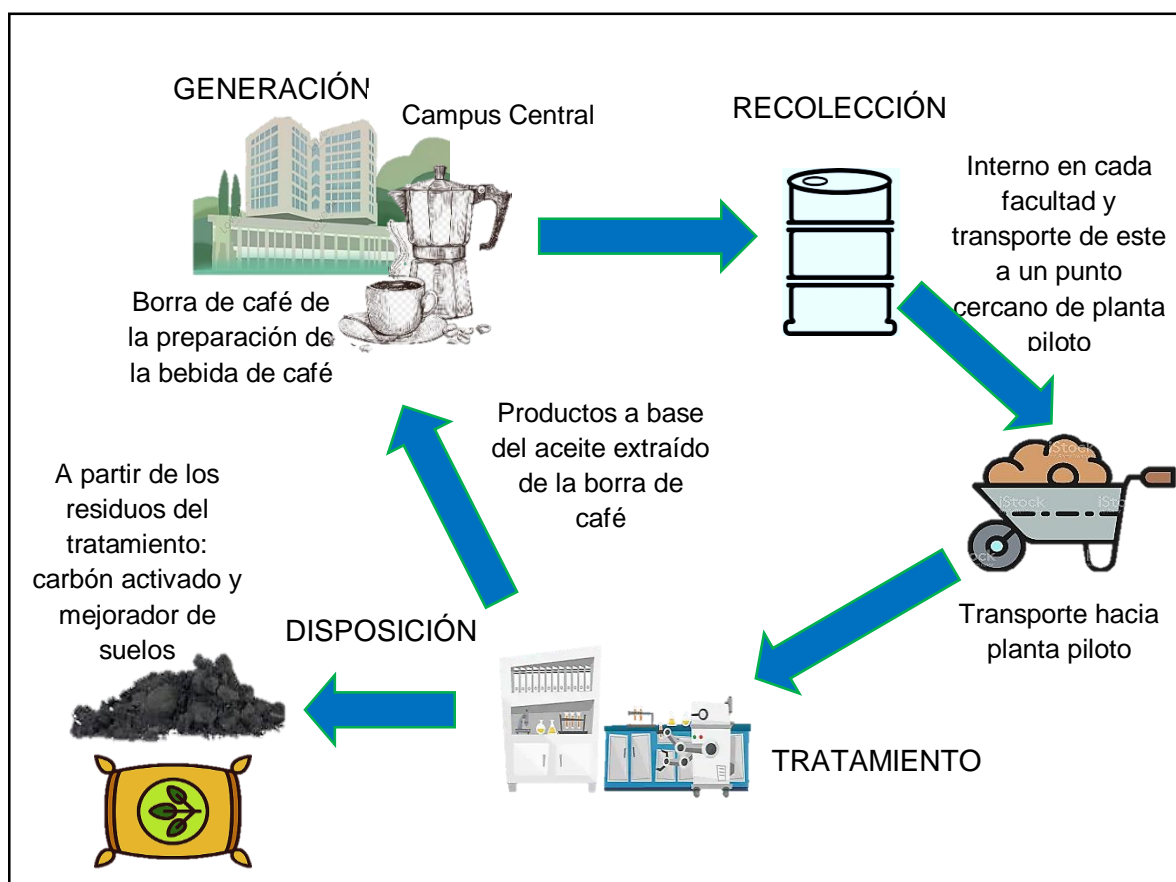


Figura 7.15 Ciclo de vida de la borra de café dentro del campus central de la UES

La generación de la borra de café dentro del campus central de la UES que se encuentran oficinas de las facultades y oficinas centrales, la cual las hace 10 entidades que disponen con más de 2,000 empleados entre docentes y personal administrativo, la recolección se realizará internamente en cada departamento/unidades que forman las entidades, ya sea que la bebida de café se prepare en cafeteras u otro aparato que utilice filtros de papel, siendo su disposición normalmente a los jardines u áreas verdes más cercanas o llevados directamente a la basura mezclándose con los demás desechos y residuos no clasificados, por lo tanto, su recolección se establece con la logística de llevar la borra de café a depósitos seleccionados como por ejemplo basureros de plástico con tapaderos u otros depósitos similares disponibles en el campus, colocadas en zonas estratégicas y rotulados respectivamente donde las personas no los confundan con basureros, así el personal no tendrá mayor esfuerzo de deshacerse del residuo por su cercanía.

En consecuencia, los depósito receptores es necesario que se encuentren tapados debidamente por ser un residuo orgánico húmedo es foco de la proliferación de microorganismos, aunque el pH de la borra de café es suficientemente ácido de 5.8 a 6.2 para su conservación temprana y dado que algunos departamentos u oficinas disponen de aire acondicionado aportará a su conservación, posteriormente el personal de ordenanza designado transportan el residuo al Laboratorio de Ingeniería Química (planta piloto) que se ubica entre la Facultad de Química y Farmacia y la Facultad de Ciencias Agronómicas, luego de depositar el residuo en el recipiente de recolección llega al Laboratorio para su posterior secado, los depósitos receptores deben ser secados para evitar humedad extra del residuo anterior; este procedimiento se hará dos veces por semana en los meses de alta actividad en el campus (febrero-noviembre), siendo recibidos por los designados en el proyecto para ser secados y almacenados, acumulándose como residuos secos hasta tener la cantidad prevista completando un mes de recolección.

El tratamiento como todo proceso químico y físico ocasiona residuos o desechos, dado que la extracción de aceite se aprovecha un 8% de la borra de café y el resto posee un margen grande para seguir trabajándolos; como última etapa del ciclo se tienen las opciones de producir carbón activado, mejorador de suelos como un aditivo para los abonos, completando el círculo de aprovechamiento del residuo.

7.5.1 Recolección de la borra de café

Para concretar la logística de recolección dos veces a la semana, se pretende acumular 205 kg de borra de café en base seca con una humedad inicial alrededor de 74.73% (811.24 kg borra húmeda) generada mensualmente, considerando las pérdidas naturales de humedad con el ambiente se asume que estando en el recipiente tapado la mayoría del tiempo pierda 10% - 15% de su humedad inicial de extracción y su secado semanal en el laboratorio se llegue a una humedad de ambiente, siendo almacenada en el tanque de hierro galvanizado cada semana hasta llegar a la extracción de su aceite cada mes. Por lo tanto, se propone una recolección del residuo los días miércoles y sábados con un estimado por día de 100 kg de borra a humedad inicial.

Se ofrece colocar 60 puntos de recolección como el presentado en la figura 1.16 dispersados por todo el campus en los departamentos y unidades académicas y administrativas, donde un ordenanza designado por facultad y oficinas centrales los cuales serán 10 responsables, recolectarán el residuo dos veces por semana, pasando a cada instancia recogiendo la borra de café en una cubeta o blande rotulada de su sitio de origen como la figura 1.17 para el traslado a la planta piloto. Las cubetas se guardarán juntas en la planta piloto.



Figura 7.17 Recipiente para puntos de recolección



Figura 7.16 Recipiente de traslado de la recolección

7.6 Factibilidad económica

El estudio de factibilidad económica pretende estimar los requerimientos económicos para valorizar la borra de café a través de la extracción del aceite exótico de café, en el Campus Central de la UES.

7.6.1 Costos de Inversión

Los costos para la importación de equipos previamente cotizados se estiman en el anexo XVI bajo el término de comercio internacional, incoterms FOB establecido en la cotización. Estos ascienden al 68.8 % respecto del precio FOB, con un total de \$1,094 USD. El costo total de la inversión se presenta en la tabla 7.9.

Tabla 7. 9

Costos de inversión

CONCEPTO-COSTO	SUBTOTAL
Costos FOB	\$1,590.00
Costos por importación	\$1,094.03
Costos de recipientes de proceso	\$151.80
Costos de recipientes de recolección	\$234.50
Costos de PVC y válvulas	\$50.00
Total de Inversión	\$3,120.33

7.6.2 Costos de operación y mantenimiento

Dado que el proyecto no se constituye como un proyecto con fines de lucro, sino como un proyecto de investigación cuyo objetivo radica en la valorización del residuo “borra de café”, generado en el campus, para la elaboración de productos que beneficien al personal universitario y a la vez que sirva como material de estudio para los estudiantes de ingeniería química e ingeniería de alimentos en las asignaturas de química industrial, por lo que no existen costos de mano de obra. No existen costos de materias primas asociados al proceso de extracción, (a excepción del proceso de refinación el cual no se considera como etapa indispensable en este estudio). Los costos de operación debido al consumo de energía eléctrica, con base en el precio de la energía eléctrica establecido por el distribuidor (CAESS) en el momento del estudio (\$0.11/kWh) se calculan en la tabla 7.10.

Tabla 7.10

Balance de consumo de energía eléctrica.

Equipos	Tamaño de lote (kg)	Capacidad de procesamiento (kg/h)	Horas de operación (h)	Potencia nominal (kW)	Factor de potencia	Consumo eléctrico (kWh)	Costo eléctrico (\$/lote)
Horno secador al vacío	811	30	34	1.40	0.796	37.875	4.17
Prensa de extracción	215.3	45	6	5.50	0.797	26.308	2.89
Filtro prensa de bastidor	16.4	100	0.5	0.55	0.328	0.220	0.02
Total						64.40	7.08

7.6.3 Beneficios económicos potenciales

El aceite de café extraído por extrusión en frío es utilizado en la industria farmacéutica e industria de cosméticos con precios entre \$17.00/l y \$48.00/l. La densidad promedio de los productos en el mercado de aceite de café a temperatura ambiente es aproximadamente de 944.98 kg/m³.

$$BEP = 16.4 \frac{kg}{lote} * 10 \frac{lotes}{año} * \frac{1m^3}{944.98 kg} * \frac{\$17.00}{litro} * \frac{1000 litros}{m^3} = \frac{\$2,950.3 USD}{año}$$

Con base en el beneficio económico potencial de USD \$ 2,950.3/año, costos eléctricos operativos de USD \$70.84/ año e inversión de USD \$3,459.6 se evaluó la factibilidad económica del proyecto; el balance económico se muestra en el Anexo XVII. Para 10 años evaluado con una Tasa mínima de retorno de la inversión (TMAR) del 10%, sin considerar la tasa de inflación, arroja los indicadores económicos presentados en la tabla 7.11.

Tabla 7.11

Indicadores económicos del proyecto.

TMAR	10.00%
Tasa de inflación	0.00%
VAN	\$9,592.19
TIR	65.56%
Costo/Beneficio	3.0741

7.7 Beneficios ambientales

La elaboración de diversos productos a partir de residuos es una opción de aprovechamiento de los recursos materiales y energéticos contenidos en ellos, dándoles un valor agregado económico sin perjudicar el medio ambiente por la demanda de materias vírgenes; también es una medida de gestión de residuos sólidos, que minimiza el volumen de estos que se envían a los vertederos y que a la vez requieren recursos adicionales para su disposición.

El desarrollo de productos como el aceite de café obtenido por el método de extrusión a partir de la borra de café, la extracción de compuestos aromáticos para formular ambientadores, el carbón activo elaborado de los residuos del proceso de extracción de aceite, constituyen un sistema de producción integrado de procesos limpios y sostenibles, sin el uso de sustancias químicas descartables, a la vez que es una estrategia con alto potencial económico como medida de economía circular.

CONCLUSIONES

1. La borra de café es un residuo biomásico de generación masiva, por el consumo cotidiano de la bebida de café tostado y molido que no posee limitaciones a su acceso; para El Salvador el consumo global anual per cápita es de 2.70 kg (CSC, 2016), el consumo de café tostado y molido en el Campus Central es, en promedio de 2,781.51 kg al año que para un personal docente y administrativo de 2,558 personas equivale a una tasa promedio estimada de consumo anual per cápita de 1.08 kg de café tostado y molido, pudiéndose observar que este representa una 40% de la tasa promedio de consumo anual estimada para la UES y la reportada en la bibliografía para el país.
2. La tasa de generación de borra de café en el proceso de beneficiado e industrialización del café es de 0.65 kg de borra de café seca/kg café soluble (Rodríguez y Zambrano, 2010), donde este residuo representa un 10% del fruto fresco; mientras que el factor dado por CSC (2016) es de 0.458 kg borra de café seca/kg de café tostado y molido. En esta investigación se ha estimado que la tasa de generación de borra de café en las diferentes instancias administrativas del campus central de la UES es de 0.818 kg de borra de café seca/kg de café tostado y molido que se consume, es necesario considerar que las diferencias de los valores convergen en la clase o tipo de café, tamaño de partícula y los equipos utilizados para la preparación de la bebida.
3. La investigación bibliográfica de las diversas aplicaciones que dan valor agregado al residuo de café tostado y molido (borra de café), se orienta al aprovechamiento material y energético del residuo en la industria agrícola, química y de alimentos, dado sus características de alto contenido de celulosa, hemicelulosa, lignina, carbohidratos, proteínas, grasas, compuestos fenólicos y una variedad de moléculas orgánicas. En este proyecto, de acuerdo a los resultados presentados en el capítulo IV, usando como criterios orientados al proceso de selección óptimo y objetivo del producto, en función de los requerimientos técnicos, costos de implementación, tasa de consumo, eficiencia y eficacia, propiedades de los materiales, aplicabilidad de la alternativa y de los beneficios en la comunidad del personal del Campus Central. Al ejecutar la matriz de análisis de prioridad a una gama de 20 aplicaciones o alternativas, se obtienen que las alternativa el

mayor puntaje es el Compostaje (12); sin embargo, la razón de consumo de este producto es muy inferior a la capacidad de producción, siendo la Extracción de aceite de café (9) la opción identificada como la más viable para el Campus Central, de la misma manera el Carbón activado (9) y la Formulación de aromatizante (8) como subproductos de la extracción de aceite, descartando la Elaboración de estructuras (7), debido a que no cumplen los estándares de calidad de las propiedades de los materiales.

4. La propuesta para la elaboración de los productos: aceite de café, jabón con extracto de aceite de café y carbón activado, constituyen un sistema de producción integrado en el que se minimizan los desechos, bajo el enfoque de reducción en el uso de materias primas vírgenes, mitigar la contaminación provocada por la borra de café y asegurar en el proyecto un diseño de proceso sostenible que tiene una inversión aproximada de capital de \$3,120, los cuales se pueden justificar a través de un análisis económico teórico en el escenario de utilidades por parte del aceite de café, cuyo valor mínimo en el mercado actual es de \$17 USD/litro. El costo FOB de los equipos de extracción solo representa el 51% de la inversión, el resto de costos están asociados a la importación de los equipos y a la compra de recipientes de almacenaje y recolección del residuo. Este proceso posee un rendimiento teórico mínimo para la extracción de aceite por extrusión del 8% resultando 16.4 kg mensuales; a partir de esa cantidad de aceite fijo se espera obtener 205 unidades de jabón sólido puro de 90 g o 488 unidades sólidas mezclado a 50% o 136 envases de 500 ml de líquido. Otra alternativa propuesta al uso del aceite es la extracción de aceite esencial de café de los cuales se espera 820 g que pueden generar 300 unidades base gel o 100 unidades base cera. Para los 188.6 kg de torta residual se plantea la producción de carbón activado por método químico con pérdidas por combustión del 50%, resultando 94.3 kg de carbón activado con un tamaño de partícula menor a 0.35 mm.

RECOMENDACIONES

1. Extender el campo de estudio con la incorporación de la generación de la cafetería del campus, además de ser posible incluir a las asociaciones estudiantiles que disponen de cafeteras, bajo las condiciones cotidianas de consumo de café tostado y molido.
2. Se deben realizar modelos experimentales que permitan determinar los parámetros óptimos de producción de cada uno de los productos seleccionados con la realización de un análisis estadístico que contemple todos los factores que afectan el proceso designado.
3. Para lograr una perspectiva más precisa en el rendimiento de producción de aceite por extrusión, es necesario hacer los ensayos que avalen la calidad como materia prima al residuo.
4. Estudiar el comportamiento de la pérdida de humedad y la influencia de organismos microbiológicos a temperatura ambiente en la borra de café a escala de laboratorio, replicando las circunstancias para conocer las condiciones óptimas de conservación.
5. Aprovechar las alternativas de valor agregado de la borra de café como puntos de partida de posteriores investigaciones y desarrollo de nuevos productos en las áreas de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos.
6. Incorporar la valorización de la borra de café como medida de gestión ambiental, en los proyectos a realizar por los estudiantes de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, específicamente en la asignatura de Química Industrial, Ingeniería de las Reacciones Químicas, Diseño de Plantas Químicas y en áreas de oportunidad del desarrollo de nuevos productos; en beneficio del recinto universitario.
7. Aplicar la metodología desarrollada en este estudio para la exploración de otros residuos como fuente para la innovación de aplicaciones de ingeniería sostenible.

8. Es trascendente la investigación y propuestas de aprovechamiento de residuos compatibles entre sí y así mejorar la producción bajo el enfoque de economía circular, facilitando la integración de los productos obtenidos a la cotidianidad del Campus Central de la Universidad de El Salvador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, R. (2002). *Obtención de etanol a partir de borra de café*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Químico. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76266/10283843.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amaya, R. (20 de Octubre de 2009). *El café*. Obtenido de Importancia del café: <http://ecocafesal.blogspot.com/2009/10/importancia-del-cafe.html>
- ANDIMA (Junio de 2003). *La Industria Española del aislamiento*. Madrid, España. Obtenido de <http://www.anape.es/pdf/socio/Estudio%20de%20mercado%20materiales%20aislantes%202003.pdf>
- Angarita, F. (2013). *Borra de café como material adsorbente para remoción de cromo(III)*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Ambiental. Bogotá. Colombia: Universidad Libre Sede Bogotá.
- Angeles, L. (2009). *Absorción de cadmio y plomo en efluentes acuosos mediante borra de café peruana*. Trabajo de graduación previo al grado de Magister en Química. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- APLIQA (2019). *Estrategia de negocio para empresas de aislamientos e impermeabilizantes*. Obtenido de <https://apliqa.es/sectores/estudios-mercado-fabricantes-impermeabilizantes-aislamientos/>
- Arangurí, G. (2019). *Efecto del pH en carbón activado de borra de café y tiempo de contacto en adsorción de cianuro*. Trabajo de graduación previo al grado de Doctor en Ingeniería Ambiental. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Arevalos, B. M. (1970). *Aceite de café. Utilización industrial en el uso de acabados*. Trabajo de investigación previo al grado de Ingeniero Químico. San Salvador, El Salvador: Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.

- Armas, E., Cornejo, N., y Murica, K. (2008). *Propuesta para el aprovechamiento de los subproductos del beneficiado del café como una alternativa para la diversificación de la actividad cafetalera y aporte de valor a la cadena productiva*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Industrial. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Avendaño R, D. A. (2003). *El proceso del compostaje*, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, (INIA) , Santiago Chile.
- Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos*. México D.F, México: McGraw-Hill
- Bansal, R., Donnet, J., & Stoeckli, F. (1988). *Activated carbon*. Nueva York: Marcel Dekker.
- Bautista, Y. (2017). *OCWA*. Obtenido de Cómo se hacen los jabones naturales: <https://ocwa.com.mx/se-hacen-los-jabones-naturales/>
- Bedri, L. (05 de Septiembre de 2018). *La Página de Bedri*. Obtenido de Café en el mundo: https://www.bedri.es/Comer_y_beber/Cafe/El_cafe_en_el_mundo.htm
- Burgonio, J. D. (1 de Junio de 2015). *Prevención de Riesgos Laborales DAW*. Obtenido de http://prldawlaguna.blogspot.com/2015/06/senales-de-prohibicion_9.html
- Campo, R. (s.f). *Tecnología del café*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Obtenido de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/213956_2-9-1-13.pdf
- Campos, L. (2018). *Caracterización de un pigmento bioactivo obtenidos a partir de residuos de café y evaluación de su aplicación en productos alimenticios*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Químico. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Carrera, E. G. (1991). *NPE-276: Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales*. Madrid, España: Centro Nacional de Condiciones de Trabajo.
- Castillo, J. (2014). *Determinación de parámetros fisicoquímicos y cinéticos de la degradación térmica de broza y cascarilla de café para ser utilizados en simulaciones*

computacionales del proceso de gasificación. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Químico. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Cefla, K. (2015). *Diseño de una planta para la extracción del aceite vegetal comestible de las semillas de chia (Salvia Hispanica L.) mediante prensado*.

Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Agroindustrial . Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

Cenicafe. (2013). *Digital repository of the National Coffee Research Centre* . Obtenido de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/806/9/8%20Aceite.pdf>

Cenicafé. (7 de Mayo de 2013). *Repositorio digital del centro nacional de investigación de café Colombia*. Obtenido de Los subproductos del café: Fuente de energía renovable: <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/351>

Cenicafé. (s.f). *Aceite*. Colombia: Repositorio Digital. Obtenido de:

<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/806/9/8%20Aceite.pdf>

Cevallos, J., y Guerrero, J. (2017). *Extracción y caracterización de colorante natural a partir de borra de café*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.

Chandrasekar, V., & Viswanathan, R. (Julio de 1999). Physical and thermal properties of coffee. *Journal of agricultural engineering research*, 73(3), 227-234.

Charlker, L. (18 de Febrero de 2015). *Horticultura Myths: Coffee grounds will they perk up plants?*. Obtenido de *Washington State University Extension*: <http://puyallup.wsu.edu/~Linda%20Chalker-Scott/Horticultu>

Chiquillo, K., Gaitán, N., y Vargas, L. (2013). Descripción de la dinámica agroproductiva comercial del subsector café en El Salvador y aproximación al análisis de equidistribución del ingreso generado, 1990-2011. *Revista Realidad* 137, 417-455.

CNPML (s.f) *Guía práctica para realizar estudios de producción más limpia en la industria con estudiantes universitarios*. San Salvador, El Salvador.

- Cogua, H. (2019). *Estudio de la borra de café para su uso en formulaciones de liberación controlada de nutrientes*. Trabajo de graduación previo al grado de Magister en Ingeniería Química. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76039/TM%20Borra%20de%20cafe%20como%20base%20para%20la%20sintesis%20de%20FLC.pdf?sequence=1#page=59>
- CSC (01 de Marzo de 2016). *International Coffee Organization*. Obtenido de Política cafetera para la reactivación de la caficultura: <http://www.ico.org/documents/cy2015-16/Presentations/national-coffee-policies-el-salvador-march-2016.pdf>
- CSC (01 de Abril de 2020). *Consejo Salvadoreño del Café*. Obtenido de Café en El Salvador: <http://www.csc.gob.sv/>
- Dávila, N. (2012). *Caracterización del proceso de biosorción de metales pesados mediante residuos sólidos de café*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- DeLeón M. y Zelada, Y. (2019) *Diseño y desarrollo de un sistema de remoción de H₂S presente de biogas a utilizar en generación termoeléctrica*. Trabajo de graduación previo a grado de Maestro en energías renovables y medio ambiente. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Diaz, O. (2009). *Productos Krofal*. Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana.
- Dorado, D. (2013). *Extracción y caracterización de aceite de café (coffea arábica) a partir grano tostado con CO₂ supercrítico*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Agroindustrial. San Juan de Pasto, Colombia: Universidad de Nariño. Obtenido de <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/89678.pdf>
- E&M. (06 de Marzo de 2017). *Empresa & Management*. Obtenido de El Salvador consume solo el 15% de su café local: <https://www.estrategiaynegocios.net/inicio/1050386-330/el-salvador-consume-solo-el-15-de-su-cafe%C3%A9-local>
- EcoHabitar. (2011). *Aislamientos e impermeabilización ecológicos*. Obtenido de

<http://www.ecohabitar.org/aislamientos-e-impermeabilizacion- convenientes/>

EcuRed. (2017). *EcuRed*. Obtenido de Antocianinas: <https://www.ecured.cu/Antocianinas>

Enterprises, C. (2011 de Mayo de 2011). *Roasted coffee and degree of roast color*. Obtenido de Coffee testing: <https://www.coffeeenterprises.com/2011/05/roasted-coffee-degree-of-roast-color/>

Escobar, L., Escobar, L., y Reyes, J. (2007). *Diseño de procedimientos de control interno aplicados a los inventarios de los beneficios de café basado en el enfoque coso*. Trabajo de graduación previo a grado de Licenciado en Contaduría Pública. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.

Esguerra, M., y McAllister, D. (2017). Mercado: Ayer, hoy y mañana de la producción y consumo de café. *Forúmcafé*, 42-46.

Figuroa, E., Pérez, F., y Godínez, L. (2015). *La producción y consumo del café*. México: ECORFAN.

Figuroa, M., y Sánchez, I. (2013). *Extracción y caracterización fisicoquímica de aceite fijo obtenido por expresión de 5 especies nativas y cultivadas en Guatemala: Crescentia cujete (Morro), Mamea americana (Mamey), Pachira aquatica (Zapotón), Cucumis melo (Melón) y Acrocomia mexicana*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Químico. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3447.pdf

Fornieris, I., y Célis, F. (2018). *Diseño de una planta de generación de carbón activado*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.

FórumCafé. (2020). La física y química en el tueste del café. Obtenido de: https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-41_fisica_quimica_tueste.pdf.

Galdámez V. (2011). *Evaluación térmica, energética y económica del uso de aislantes*

térmicos en edificios de oficina acondicionada en El Salvador. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Mecánico. San Salvador, El Salvador: Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas". Obtenido de http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/evaluacion_termica_energetica_y_economica_del_uso_de_aislantes_termicos_en_edificios_de_oficina_acondicionados_en_El_Salvador.pdf

- Galindo, X. (2011). *Producción e industrialización de café soluble. Caso: Solubles instantáneos*. Trabajo de graduación previo al grado de Economista. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- García, A., y Riaños, E. (1999). Extracción de celulosa a partir de la borra de café. *Cenicafé*, 50(3), 205-214. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050%2803%29205-214.pdf>
- García, B. (08 de Enero de 2018). *La voz del sandinismo*. Obtenido de ¿Po qué tira la borra del café?: <https://www.lavozdelsandinismo.com/salud/2018-01-08/tira-la-borra-del-cafe/>
- García, G. (07 de Febrero de 2016). *Homify*. Obtenido de Té y café: reutilizarlos puede ser mágico para tu casa: https://www.homify.com.ar/libros_de_ideas/434898/te-y-cafe-reutilizarlos-puede-ser-magico-para-tu-casa
- García, S. (Enero de 2009). Los aromatizantes y los colorantes. *Inovación y experiencias educativas*. Obtenido de https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_14/SILVIA_GARCIA_1.pdf
- Garza, J. (2012 de Junio de 2012). *Sistema de Inteligencia de mercados (SIMAG)*. Obtenido de Caracterización de la cadena agroproductiva del café en El Salvador: <http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/Contribuciones2014311105354.pdf>
- Gomes, J., Pereira, J., Fonseca, B., & Da Silva, A. (2014). Drying os spent coffee grounds in a cyclonic dryer. *Coffee Science*, 9(1), 68-76. Obtenido de http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/544/pdf_74
- Gómez, C. (2018). *Evaluación de la incidencia de la zona geográfica de Costa Rica en la composición fisicoquímica de la broza de café para su potencial uso en sistemas de gasificación de lecho descendente*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Químico. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

- Gonzales, S. (11 de Mayo de 2010). *Tendencias*. Obtenido de Beneficios y propiedades del café en la piel: <https://www.tendencias.com/belleza/beneficios-y-propiedades-del-cafe-en-la-piel>
- González, A., y Murcia, D. (2020). *Desarrollo de briquetas de borra de café y un aglomerante a diferentes compisiciones porcentuales para ser utilizadas como combustible sólido alternativo*. Fundación Universidad de América., Bogotá, DC. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7783/1/6151497-2020-1-IQ.pdf>
- Guerra, I., y Meléndez, H. (2009). *Evaluación de adsorción de cromo en solución acosa de flujo no continuo utilizando broza de café*. Trabajo de graduación previo al grado de Licenciado en Química y Farmacia. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Gutierrez, A. (29 de Octubre de 2007). *Oficina de Estudios y Políticas Agrarias*. Obtenido de El biogás: alternativa energética emergente: <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/el-biogas-alternativa-energetica-emergente-2>
- HechodeCafé. (s.f.). *Elaborar la formulación para los productos: jabón exfoliante, exfoliante corporal y mascarilla capilar a base de borra de café*. Obtenido de Pruebas de laboratorio: <http://hechoencafe.net.bh-22.webhostbox.net/web/exfoliantes/>
- ICO (2011). *Centro de comercio Internacional*. Obtenido de Conversiones y Estadísticas: <https://www.intracen.org/guia-del-cafe/el-comercio-mundial-del-cafe/Conversiones-y-estadisticas/>
- ICO (01 de Abril de 2020). *International Coffee Organization*. Obtenido de Estadísticas del comercio: http://www.ico.org/ES/trade_statistics.asp
- ICO (2020). Informe de mercado de café -noviembre 2020. Obtenido de: <http://www.ico.org/documents/cy2020-21/cmr-1120-c.pdf>
- INFOAGRO (2020). *Industria de los cereales y derivados*. El cultivo del café (1° parte). Obtenido de <https://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe.htm>

- Infocafe.es. (01 de Abril de 2020). *InfoCafé*. Obtenido de : <https://www.infocafe.es/cafe/cafe.php>
- Innovakit. (30 de Abril de 2020). *Sistemas de fermentación*. Obtenido de: <https://innovakit.co/sistemas-de-fermentacion/>
- Juarez, A. (03 de Marzo de 2018). Características físicas del fruto de café (*coffea arabica* L.) en híbridos de timor. *Agroproductividad*, 11(3), 115-120.
- Konijnenburg, A. v. (2007). *El compost*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria., Argentina.
- Lavado, O., Ramírez, L., y Tolentino, S. (2016). *Formulación de una crema protectora solar utilizando aceite de café*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Químico Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3466>
- Linares, V. (01 de Octubre de 2018). *ElSalvador.com*. Obtenido de ¿Dónde y cuánto café produce El Salvador?: <https://www.elsalvador.com/noticias/negocios/donde-y-cuanto-cafe-produce-el-salvador/523671/2018/>
- López, E. (2007). Extracción de aceite café. *Ingeniería e investigación*, 27(1). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000100004
- López, E. (2007). Extracción de aceite café. *Ingeniería e investigación*, 27(1). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000100004
- López, E. (31 de Marzo de 2013). *SlideShare*. Obtenido de Proceso de trillado y tipos de café: <https://es.slideshare.net/elois2010/proceso-de-trillado-y-tipos-de-cafe>
- López, E., y Castaño, J. (1999). Extracción de aceite a partir de subproductos de la trilla de café pergamino. *Cenicafé*, 66-77. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050%2801%29066-077.pdf>

- López, J. (12 de Enero de 2015). *Info-farmacia*. Obtenido de Café: origen, química y efectos: http://www.info-farmacia.com/historia/el-cafe-origen-quimica-y-efectos#_ftnref3
- López, K. (2012). El café en El Salvador. *Forúm Café*, 5-9.
- López, M. (Julio de 2004). Los aceites esenciales. Aplicaciones farmacológicas, cosméticas y alimenticias. *OFFTARM*, 23(7), 88-91. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-los-aceites-esenciales-13064296>
- López-Fontal, E. M.-C. (1999). Características del aceite esencial obtenido de subproductos de la trilla de café pergamino. *Cenicafé*, 50(2), 119-125.
- Marín, L., Arcila, P., Montoya, R., y Oliveros, T. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Cenicafé*, 54(4), 297-315. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc054%2804%29297-315.pdf>
- Marsh, H. (1989). *Introducción a la Ciencia del Carbón* (Vol. 1). (H. Marsh, Ed.) Londres: Butterworth.
- Martines, E., y Lira, L. (2010). *Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos*. Querétaro, México: Centro Nacional de Metrología.
- Mattia. (31 de Octubre de 2017). *Tico Coffee*. Obtenido de Tipos de tostado de café y como afectan el sabor en taza: <https://www.ticocoffee.com/blog/tueste-cafe/tipos-tueste-cafe.html>
- Mena, H., y Tigreros, M. (1997). *Estudio de los diferentes productos derivados del café y sus aplicaciones en la industria a nivel nacional e internacional*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Industrial. Santiago de Calí, Colombia: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/2157/1/T0000449.pdf>
- Méndez, O. A. (2020). *Ecoinventos Green Technology*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/casas-de-ladrillos-de-plastico/>

Minambiente. (2002). *Manual de Gestion de Resiudos y Seguridad en Laboratorios Ambientales*. Bogota.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, e. c. (31 de Mayo de 2000). Decreto N°41, Reglamento Especial en Materia de Resiudos y Desechos Peligrosos. San Salvador, El Salvador: Diario Oficial.

Moreno, M. (2008). *El blog de jabones y comestica natural*. Obtenido de <https://www.jabonnatural.com/wp-content/uploads/2008/04/TABLA-DE-SAPONIFICACI%C3%93N-JABON-NATURAL-1.pdf>

Muangrat, R., & Pongsirikul, I. (2019). Recovery of spent coffee grounds oil using supercritical CO₂: Extraction optimisation and phycochemical properties of oil. *CYTA-Journal of food*, 17(1), 334-346. Obtenido de [tandfonline.com/ doi /pdf/10.1080/19476337.2019.1580771](https://tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19476337.2019.1580771)

MundoHuerto. (s.f.). *MundoHuerto*. Obtenido de Borra o posos de café para las plantas: <https://www.mundohuerto.com/fertilizantes/borra-posos-café>

NCA (10 de Mayo de 2020). *Coffee roast guide USA*. Obtenido de About coffee: <https://www.ncausa.org/About-Coffee/Coffee-Roasts-Guide>

OCU (01 de Mayo de 2020). *Inversiones OCU*. Obtenido de Cómo se procesa el café: del cafeto a la cafetera: <https://www.ocu.org/alimentacion/cafe/informe/procesado-del-cafe#>

OIC (Agosto de 2011). *La Guía del café*. Obtenido de Centro de comercio internacional: <http://www.laguiadelcafe.org/guia-del-cafe/el-comercio-mundial-del-cafe/Conversiones-y-estadisticas/>

Oliveira, L., Franca, A., Mendonca, J., y Barros-Júnior, M. (2006). Proximate composition and fatty acids profile of green and roasted defective coffee beans. *Science Direct*, 235-239. Obtenido de https://www.academia.edu/6039953/Proximate_composition_

and_fatty_acids_profile_of_green_and_roasted_defective_coffee_beans?auto=download

- Ortíz, M., Reza, M., Chew, R., y Meza, J. (2014). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biotecnia*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/232022386/16-BIO-11-DPA-06>
- Paredes, G. (2019). *Aprovechamiento de los residuos del café molido y pasado para elaborar un biocombustible de segunda generación*. Trabajo de graduación previo a grado de Ingeniero Químico. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/19242/1/T-UCE-0017-IQU-048.pdf>
- Prado, D. (15 de Junio de 2017). *BCulinaryLAB*. Obtenido de Borrás de café: <http://www.bculinarylab.com/2017/06/15/borras-de-cafe/>
- Pro-air. (28 de Agosto de 2018). *Pro-air*. Obtenido de ¿Cuál es la diferencia entre aromatizantes naturales sintéticos?: <https://www.pro-air.es/blog/aromatizantes/>
- Proaño, E., y Ramiro, A. (2011). Utilización de Residuos de Café Tostado y Molido como Bioadsorbente para la Remoción de Arsénico (V) en Agua. *Química Central*, 2(01), 49-59.
- Puerta, G. (01 de Diciembre de 2011). *Cenicafe*. Obtenido de Composición química de una taza de café: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04142.pdf>
- Quintero, M., y Rosales, M. (Julio-Diciembre de 2014). El mercado mundial del café: tendencias recientes, estructura y estrategias de competitividad. *Visión Gerencial*, 13(2), 291-307.
- Ramírez, L. (2008). *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización de aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Químico. Guatemala: Universidad de San Carlos. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1093_Q.pdf
- Ramírez, V. (2014). *ISDIN*. Importancia del uso de jabones suaves:

Obtenido de <http://www.disfrutatuembarazo.com/jabones-suaves-bebe>

- Ramos, R. (25 de Enero de 2013). *Eco-medioambient: Blog sobre medio ambiente y reciclaje*. Valorización de residuos Obtenido de: <http://ecomedioambiente.com/medio-ambiente/valorizacion-residuos/>
- Restrepo, J. (15 de Abril de 2015). *SlideShare*. Obtenido de Caracterización física y química de los frutos de café: <https://es.slideshare.net/anamasalazar/quimica-y-fisica-del-café>
- Rey, C. (01 de Mayo de 2020). *Tostador y Barista*. Obtenido de Procesado del café: <https://www.baristachristian.com/procesado-del-cafe/>
- Rico, D. (2017). *Industria de el café en El Salvador, Guiones de clases de la asignatura Química Industrial, Escuela de Ingeniería Química*. San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Risco, M. (2010). *Producción de biodiésel a partir de residuos de café*. Madrid, España: Universidad Rey Juan Carlos.
- Rodríguez, M. (2015). Residuos de café podrían terminar en biodiésel. *Con Ciencia*.
- Rodríguez, N., y Zambrano, D. (2010). Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. *Cenicafé*, 2. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>
- Romero, C. (2020). Observatorio de commodities. Boletín de publicación trimestral enero-marzo 2020 Perú, 2-4. Obtenida de: https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2020/04/Reporte_Obs_Commodities_Cafe.pdf
- Runfola, J., y Gallardo, A. (2009). *Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas*. Barranquilla, Colombia: II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Obtenido de <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/GestionYPoliticaAmbiental/An%C3%A1lisis%20comparativo%20de%20los%20diferentes%20m%C3%A9todos%20de%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20residuos%20urbanos%20para%20su%20recolecci%C3%B3n%20selectiva%20en%20comunidades%20urbanas.pdf>

- S&P. (01 de Octubre de 2018). *El Blog de la ventilación eficiente*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/materiales-aislantes-termicos/>
- Saint-Gobain, I. (30 de Enero de 2019). *Uso: Confort térmico y acústico*. Obtenido de <https://www.isover.es/uso>
- Sanz, M. (23 de Mayo de 2018). *Mundo cafeto*. Obtenido de El cafeto: <https://mundocafeto.com/planta/el-cafeto/>
- Slideshare. (2014). *Caracterización de aceites*. Obtenido de Índice de saponificación: <https://es.slideshare.net/NestorMelendezGomez/ndice-de-saponificacin>
- Smisek, M., y Cerny, S. (2015). *Manufactura del carbón activado* (Vol. 5). Nueva York: Elsevier.
- Somnuk, K., Eawlex, P., & Prateepchaikul, G. (2017). Optimization of coffee oil extraction from spent coffee grounds using four solvents and prototype-scale extraction using circulation process. *Agriculture and Natural Resources*, 181-189. Obtenido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2452316X17303393?token=000C41624E58642746FEB89ED017554F10C414A62E3B7C69A915CF59A6C5FB31A793856EC1F5E940EE676306DE05B12E>
- Suarez, J. (2012). *Aprovechamiento de los residuos sólidos provenientes del beneficio de café, en el municipio de betania Antioquia: usos y aplicaciones*. Trabajo de graduación previo al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos. Caldas Antioquia, Colombia: Corporación Universitaria Lasallista. Obtenido de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/06/APROVECHAMIENTO_RESIDUOS_SOLIDOS_BENEFICIO_CAFE.pdf
- Tangmankongworako, N. (2019). An approach to produce biochar from coffee residue for fuel and soil amendment purpose. *International journal of recycling of organic waste in agriculture*, 8(2), 37-44. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-019-0267-5>
- TAR, (2016). *Manual del carbón activado*. E. U. Politécnica. Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/manual-del-carbon-activo>

Tuset, S. (11 de Julio de 2019). *Condoechem Envitech*. Tratamiento del biogas. Obtenido de <https://blog.condorchem.com/tratamiento-del-biogas/>

UAIP-UES. (2 de Junio de 2015). *Unidad de Acceso a la Información*. Obtenido de Cantidad de personal administrativo, docente y estudiantil por facultad: <http://www.transparencia.ues.edu.sv/node/170>

Unimedios (26 de Junio de 2019). *Agencia de noticias de Univesidad Naciona de Colombia*. Obtenido de Residuos de café instantáneo se convertirían en alcohol etílico: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/residuos-de-cafe-instantaneo-se-convertirian-en-alcohol-etilico.html>

Urribarrí, A., Zabala, A., Sánchez, J., Arenas, E., Chandler, C., Rincón, C. y Mazzarri, C. (2014). Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel. *Multiciencias*, 14(2), 129-139. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/904/90432601006.pdf>

Valencia, N. (2009). *Obtenido de Producción de etanol a partir de subproductos del café*. http://www.olade.org/wp-content/uploads/2015/11/S4-B2009-Nelson_Rodriguez-Colombia.pdf

Vargas, A. (2018). *Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café*. Trabajo de graduación previo a grado de Magister en Ingeniería Química. Bogotá, Colombia: Universidad Naciona de Colombia.

Vásquez, R. (1997). El manejo de efluentes en el beneficio del café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 1(21), 69-76.

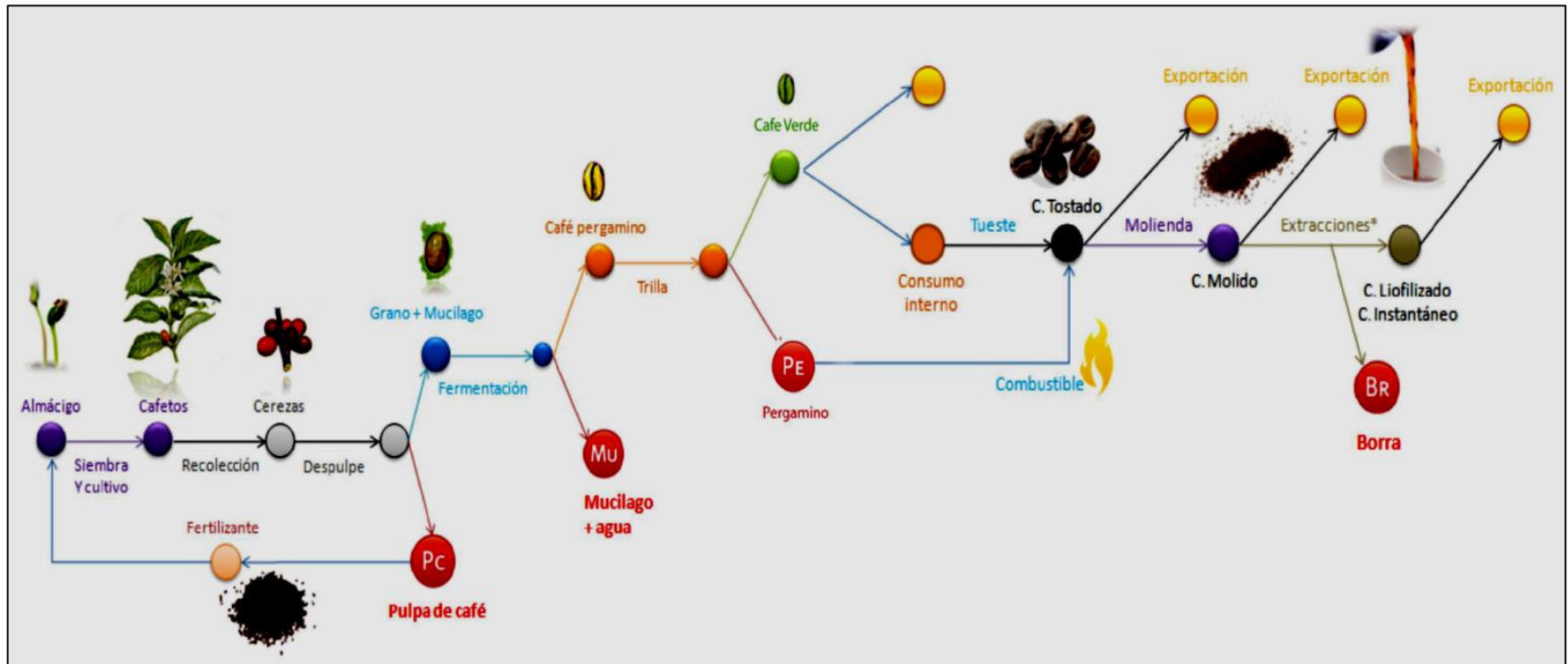
Vences, J., Nuñez, K., Oliva, M., Pichilingue, J., y Ruiz, P. (2018). *Diseño del proceso productivo de un jabón artesanal a base de cascarilla de cacao de la cooperativa agraria Norandino*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero Industrial. Perú: Universidad de Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3835/PYT_Informe_Final_Proyecto_JABONCACAO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vila, D. (2016). *Obtención de carbón activado a partir de la borra del café y su evaluación en la remoción*. Trabajo de graduación previo al grado de Ingeniero de Materiales. Barranquilla, Colombia: Universidad Autónoma del Caribe. Obtenido de <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/2325/Obtenci%c3%b3n%20de%20carb%c3%b3n%20activado%20a%20partir%20de%20la%20borra%20del%20caf%c3%a9%20y%20su%20evaluaci%c3%b3n%20en%20la%20remoci%c3%b3n%20del.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

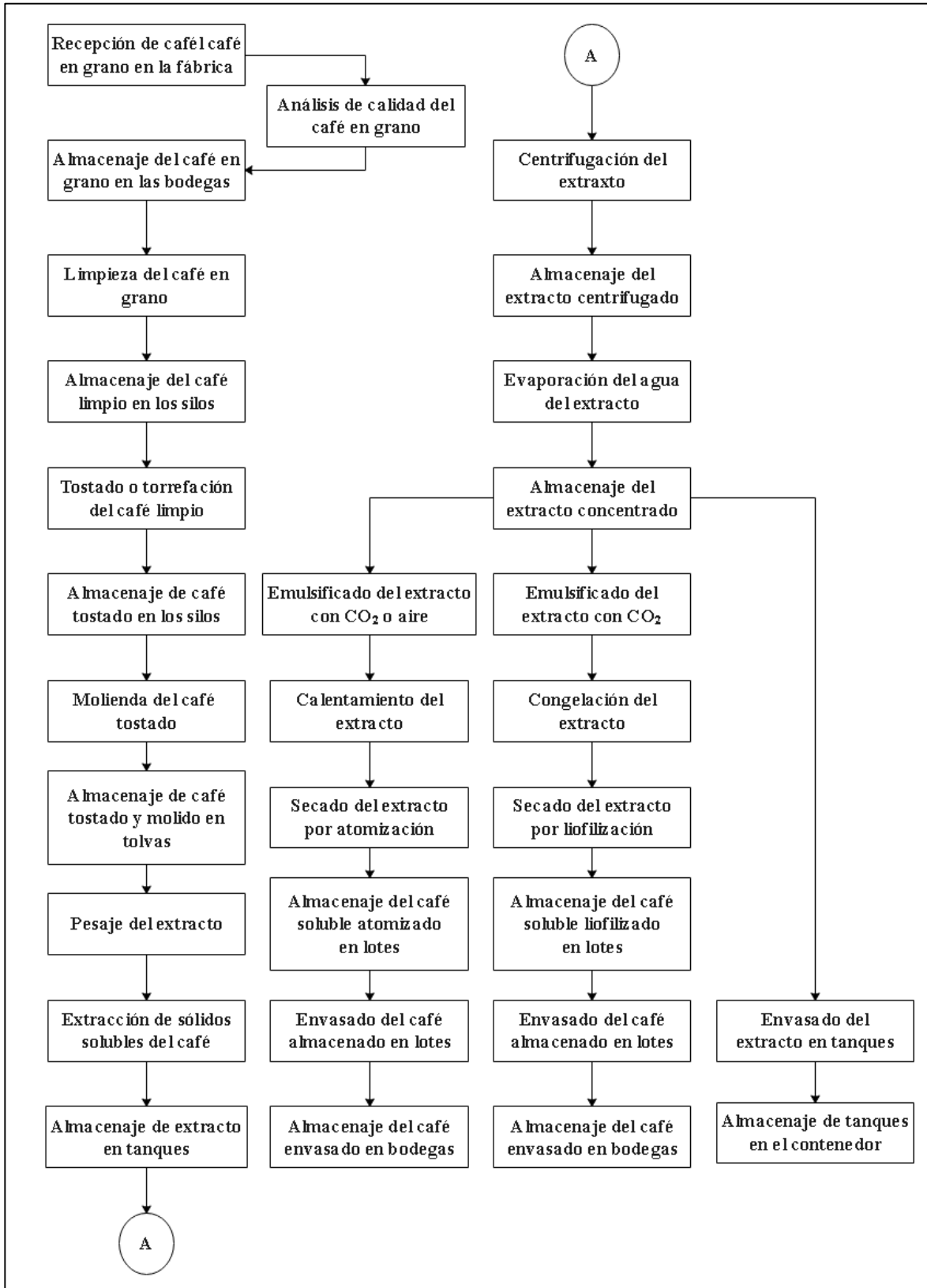
Villanta, K. (2016). *Estudio de la estabilidad de un extracto rojo en polvo de la broza de café (coffea arabica) para su aplicación como ingrediente colorante de alimentos*. Trabajo de graduación previo a grado de Ingeniero en Alimentos. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3884/1/40156.pdf>

ANEXOS

Anexo I Esquema de cadena productiva del café (Diaz, 2009)



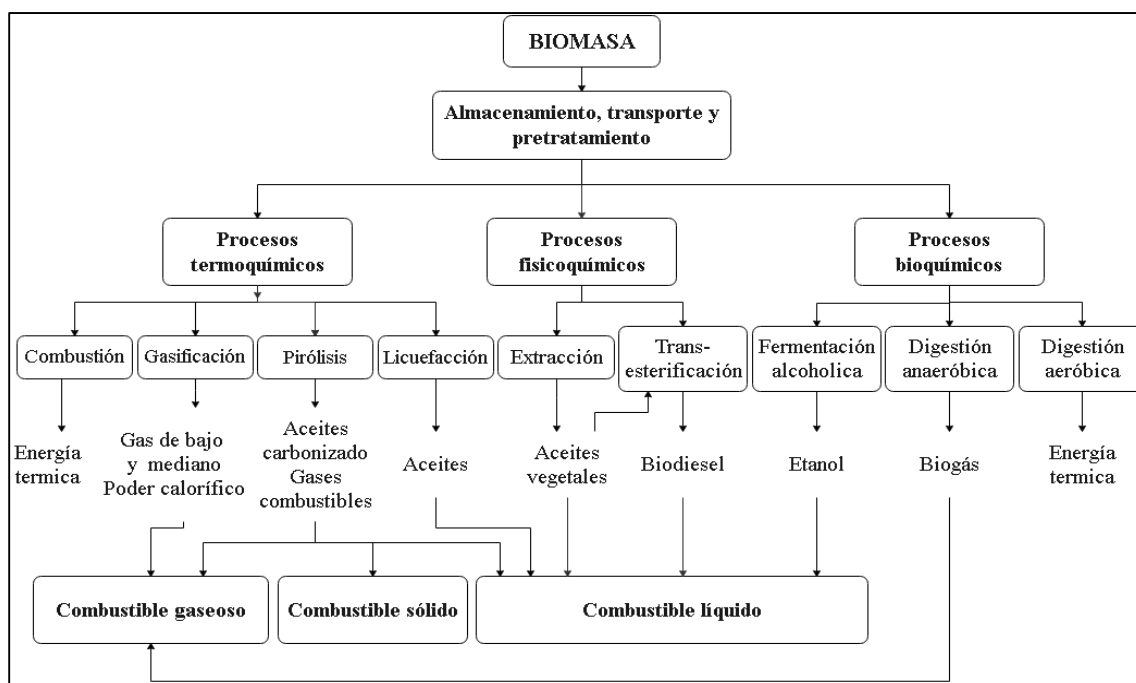
Anexo II Diagrama de flujo del proceso de café soluble (Galindo, 2011)



Anexo III Poder calorífico de los subproductos del café (Valencia, 2009)

Subproducto	Poder calorífico	Producción/ha-año	Referencia
Pulpa	15.88 MJ/kg pulpa seca Combustible sólido (Pulpa seca).	2258 kg	Porres <i>et al.</i> , 1987
	0.54 MJ/kg pulpa fresca Combustible gaseoso (Biogás).		Adaptado de arcilla, 1979
	0.54 MJ/kg pulpa fresca Combustible líquido (Etanol).		Rodríguez, 2007
Mucílago	1.31 MJ/kg mucílago fresco Combustible gaseoso (Biogás).	768 kg	Adaptado de Zambrano, 1994
	1.25 MJ/kg mucílago fresco Combustible líquido (Etanol).		Rodríguez, 2007
Cisco	17.90 MJ/kg Combustible sólido	227 kg	Roa, 2003
Borra	29.01 MJ/kg Combustible sólido	-	Federacafé, 1997
Ripios	15.60 MJ/kg Combustible sólido	-	-
Tallos	19.75 MJ/kg Combustible sólido	3200 kg	Roa, 2003

Anexo IV Procesos para la transformación de la biomasa con fines energéticos (Castillo, 2014)



Anexo V Procedimientos analíticas para la caracterización fisicoquímica de biomasas usadas para combustibles (Gómez, 2018)

Análisis químico	Procedimiento analítico
Metodología general de análisis	ASTM E870-82: Combustibles de madera.
Recolección y preparación de muestras	ASTM E1757-01: Biomasa de madera, materiales herbáceos, residuos agroindustriales y papel de desecho.
Análisis próximo: contenido de humedad, cenizas, materias volátiles y carbono fijo	E1755-01: Biomasa de madera, materiales herbáceos, residuos agroindustriales y papel de desecho. E-871-82: Combustibles derivados de madera. E-872-82: Combustibles derivados de madera.
Análisis último: análisis elemental	CIA-SC09-01-01-P10: Abonos orgánicos. (Método interno del Centro de Investigaciones Agronómicas(CIA) de la Universidad de Costa Rica).
Análisis de metales	IPC: Matrices acuosas (Método interno del Centro de Electroquímica y energía Química, de la Universidad de Costa Rica).
Carbohidratos estructurales (hemicelulosa, celulosa) y lignina	AOC 973.18: Fibra ácida detergente y lignina en alimento animal.
Poder calorífico	ASTM D240-14: Combustibles de hidrocarburos líquidos.

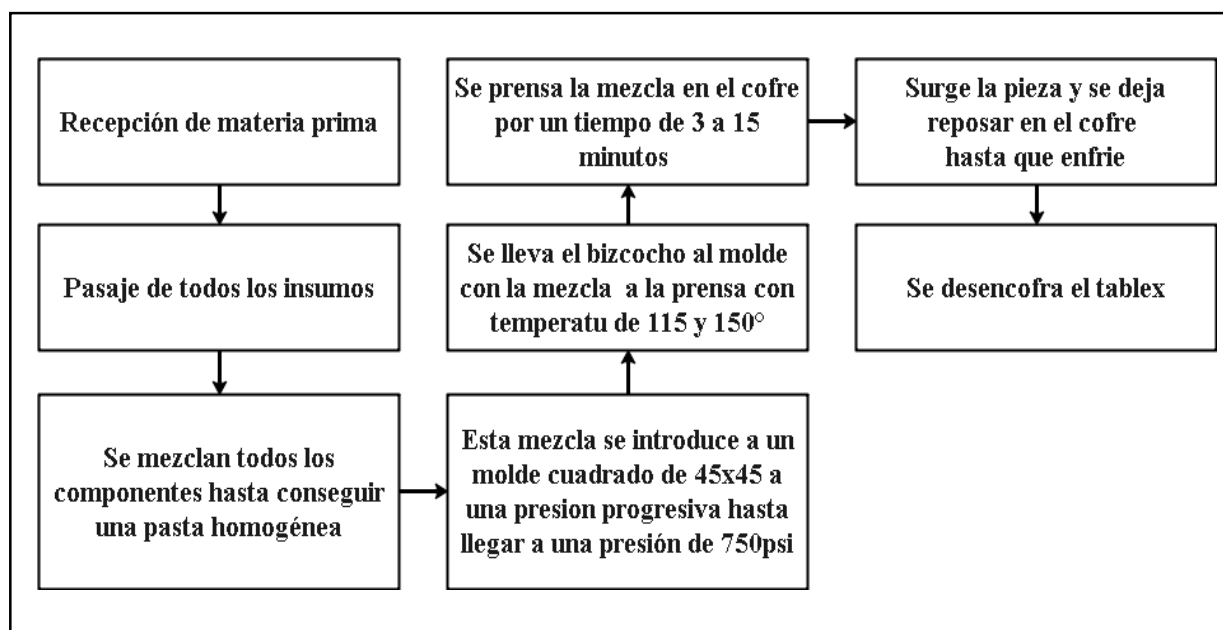
Anexo VI Normas de pruebas fisicoquímicas para la caracterización de la borra de café utilizada en elaboración de papel o productos a base de celulosa (García y Riaños, 1999)

Prueba	Código	Descripción
Solubles en agua fría	A1	Norma TAPPI t 207 os-75
Solubles en agua caliente	A2	Norma TAPPI t 207 os-75
Extracción con éter	A3	Norma TAPPI t os-59
Solubles en NaOH al 1 %	A4	Norma TAPPI t 4 m-59
Lignina	A5	Norma TAPPI t 13 wd-74;NTC 998
Solubles en alcohol/benceno	A6	Norma TAPPI t 5 os-73
Alfa celulosa	A7	Norma NTC 697

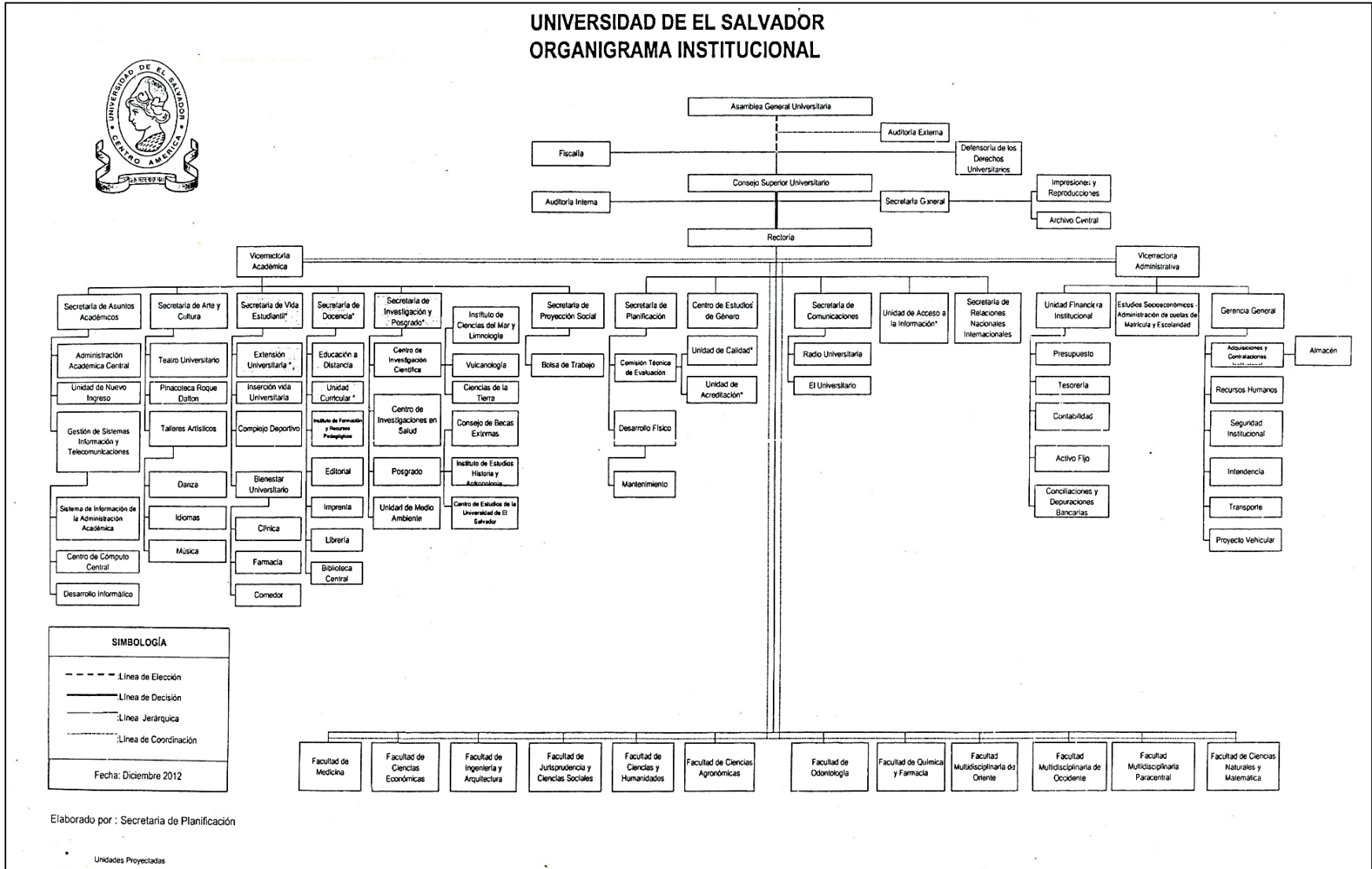
Anexo VII Definición de la composición (ingredientes) de productos del cuidado de la piel. (HechodeCafé, s.f.)

PROTOTIPO	INGREDIENTES	pH
Jabón exfoliante en barra	-Borra de café -Glicerina -Aceite de argán -Vitamina E -Esencia de café	5-7
Exfoliante corporal	-Borra de café -Aceite de oliva -Aceite de rosa de mosqueta -Vitamina E	3.5-7.5
Mascarilla capilar	-Borra de café -Base crema neutra -Aceite romero -Vitamina E -Esencia de café	3-5

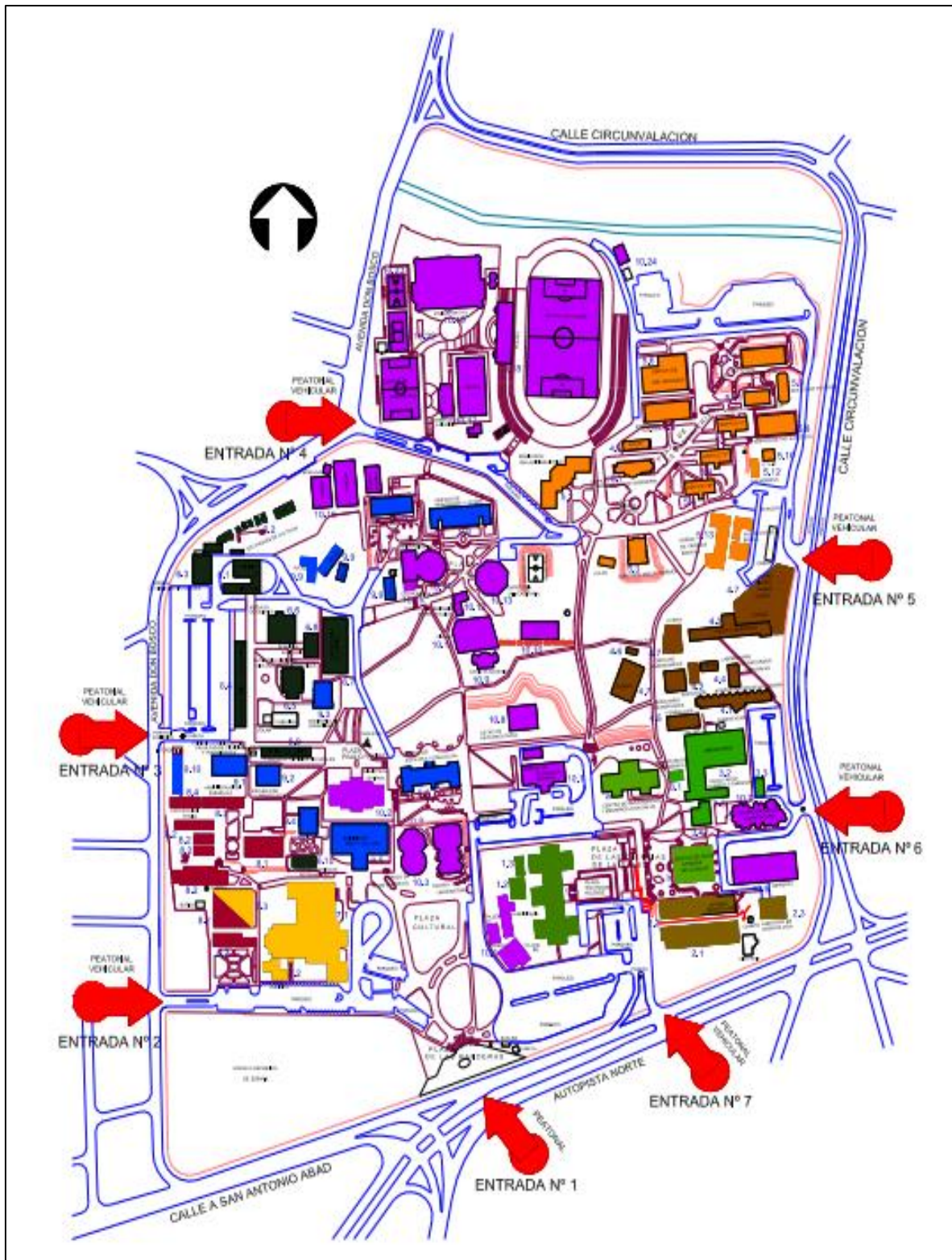
Anexo VIII Proceso de elaboración de tablas de borra de café de 45x45 cm (HechodeCafé, s.f.)



Anexo IX Organigrama Institucional de la Universidad de El Salvador



Anexo X Croquis de la Sede Central de la Universidad de El Salvador, UES



Anexo XI código de colores del croquis de la Sede Central, Universidad de El Salvador

<ul style="list-style-type: none">■ Ciencias de la salud<ul style="list-style-type: none">a. Centro de Investigación y Desarrollo En Saludb. Edificio de aulas de ciencias de la salud■ 1. Facultad de Medicina<ul style="list-style-type: none">1.1 Edificio de medicina1.2 Aulas de enfermería1.3 Bioterío■ 2. Facultad de Odontología<ul style="list-style-type: none">2.1 Edificio Administrativo2.2 Edificio de Aulas y Laboratorio2.3 Auditorium de Odontología■ 3. Facultad de Química y Farmacia<ul style="list-style-type: none">3.1 Administración Académica3.2 Laboratorios3.3 Aulas3.4 Biblioteca■ 4. Facultad de Ciencias Agronómicas<ul style="list-style-type: none">4.1 Edificio Administrativo De Agronomía4.2 Ciencias Agronómicas4.3 Aulas Y Maestrías4.4 Laboratorio De Recursos Naturales4.5 Laboratorio De Empaques Y Embalajes4.6 Lombricultura4.7 Viveros■ 5. Facultad de Ingeniería y Arquitectura<ul style="list-style-type: none">5.1 Edificio Administrativo5.2 Biblioteca De Ingeniería Y Arquitectura5.3 Auditorium Miguel Mámol5.4 Edificios de aulas B, C y D5.5 Ingeniería civil5.6 Ingeniería mecánica5.7 Ingeniería industrial5.8 Ingeniería eléctrica5.9 Edificio de potencia5.10 C.I.A.N.5.11 Arquitectura5.12 Intendencia5.13 Unidad De Ciencias Básicas■ 6. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática<ul style="list-style-type: none">6.1 Edificio de Biología6.2 Estanques de Cultivos6.3 Bodega de Ciencias Naturales6.4 Edificio de Física y Matemáticas6.5 Auditorium de Ciencias Naturales y Matemáticas6.6 Edificio de Química6.7 Laboratorios de Química6.8 Baños6.9 Oficinas del MINED y Aulas de Ciencias Naturales6.10 Departamento de Matemáticas	<ul style="list-style-type: none">■ 7. Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Sociales<ul style="list-style-type: none">7.1 Edificio de Jurisprudencia y Ciencias Sociales7.2 Socorro Jurídico7.3 Aulas De Derecho■ 8. Facultad de Ciencias Económicas<ul style="list-style-type: none">8.1 Edificio Administrativo de Economía8.2 Edificio de Aulas de Economía8.3 Edificio de Administración8.4 Proyección Social■ 9. Facultad de Ciencias y Humanidades<ul style="list-style-type: none">9.1 Edificio Administrativo de Ciencias Y Humanidades9.2 Escuela de Trabajo Social9.3 Auditorio N° 39.4 Auditorio N° 49.5 Edificio de Arte y Cultura9.6 Edificio de Psicología y Educación9.7 Edificio de Filosofía9.8 Edificio de Periodismo y Letras9.9 Aulas de Humanidades9.10 Intendencia■ 10. Edificios Administrativos y de Apoyo<ul style="list-style-type: none">10.1 Académica central10.2 Biblioteca central10.3 Librería /Usos Múltiples10.4 Teatro Universitario10.5 Talleres de Mantenimiento10.6 Imprenta10.7 Centro de Salud Universitario10.8 Estación Meteorológica10.9 Concha Acústica10.10 Unidad de Ingreso Universitario10.11 Vivero central10.12 Fondo Universitario de Protección10.13 Cafetería Universitaria10.14 Comedor universitario10.15 Cooperativa Universitaria10.16 Área de Canchas10.17 Piscina Olímpica10.18 Platea10.19 Polideportivo10.20 Cancha de Fútbol10.21 Cancha de Papifutbol10.22 Cancha de Voleibol de Playa10.23 Cancha de Básquetbol10.24 Gimnasio
--	---

Anexo XII Cantidad del personal Administrativo por cada una de las facultades de la Universidad de El Salvador (UAIP-UES, 2015)

Facultad	cantidad	
Facultad de Ciencias Agronómicas	100	
Facultad de Ciencias Económicas	64	
Facultad de Química y farmacia	54	
Facultad de Medicina	Ley de salarios	114
	Contratos Fondo general	36
Ciencias Naturales y Matemática	63	
Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Sociales	43	
Facultad de Ingeniería y Arquitectura	94	
Facultad Multidisciplinaria de Occidente	Contratación permanente	73
	Contratación eventual	44
Facultad de Odontología	66	
Facultad Multidisciplinaria Paracentral	35	
Facultad Multidisciplinaria de Oriente	126	

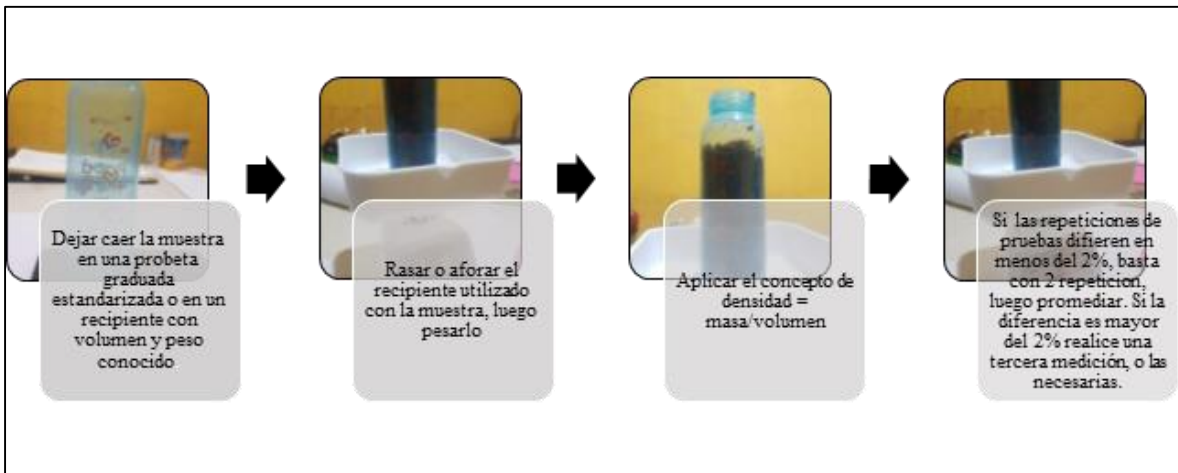
Anexo XIII Cantidad del personal Docente por cada una de las facultades de la Universidad de El Salvador (UAIP-UES, 2015)

Facultad de Ciencias Agronómicas	75	
Facultad de Ciencias Económicas	96	
Facultad de Ciencias y Humanidades	509	
Facultad de Química y farmacia	95	
Facultad de Medicina	Ley de salarios	340
	Contratos Fondo general	50
Ciencias Naturales y Matemática	114	
Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Sociales	115	
Facultad de Ingeniería y Arquitectura	194	
Facultad Multidisciplinaria de Occidente	201	
Facultad de Odontología	74	
Facultad Multidisciplinaria Paracentral	112	
Facultad Multidisciplinaria de Oriente	237	

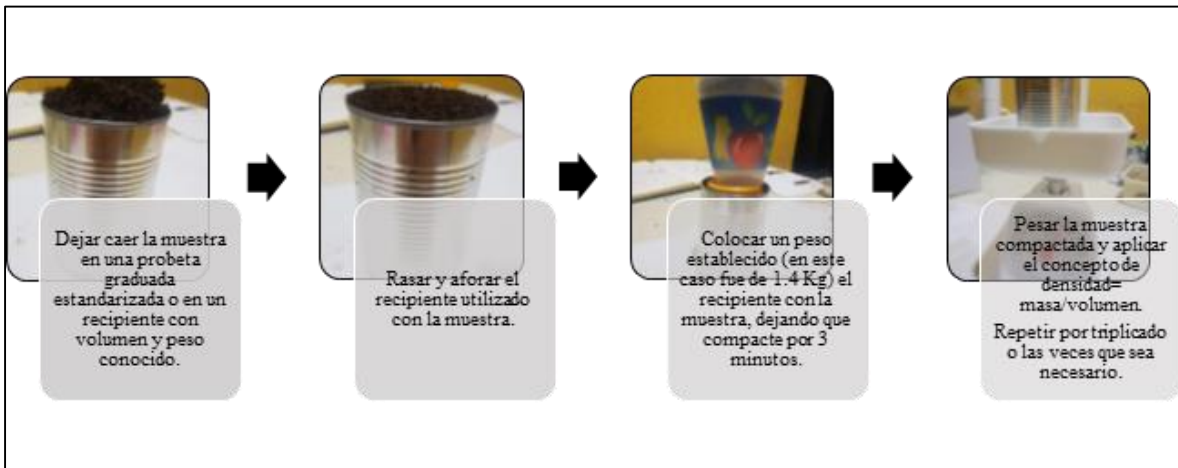
Anexo XIV Diagrama del procedimiento para la determinación del contenido de humedad de la borra de café



Anexo XV Diagrama del procedimiento para la determinación la densidad aparente de la borra de café



Anexo XVI Diagrama del procedimiento para la determinación la densidad aparente compactada de la borra de café



Anexo XVII Costo de flete estimado para la importación de los equipos del proceso de extracción de aceite de café

Los costos para la importación de equipos cotizados en el apartado 7.2.1.3, se evaluó bajo el término de comercio internacional “incoterms FOB” establecido en la cotización. El costo del transporte marítimo, se estimó en el sitio digital de World Freight Rates de Tarifas de flete mundial. Debido a que el volumen total de los equipos es menor al de un contenedor estándar de 20 pies (33 m³); el flete debe calcularse por la modalidad de envío LCL que corresponde a las siglas en inglés “Less than container load”, es decir, menos que una carga de contenedor. Esta modalidad precisa del tipo de producto, peso (kg), las dimensiones (m) y costo FOB (\$ USD) de las mercancías. Los resultados entre el puerto de Shanghai en China y el puerto de Acajutla en El Salvador se muestran en la tabla A. Otros costos adicionales como seguro de flete, gastos aduanales, aranceles, impuestos, IVA y transporte interno se muestran en la tabla B

Tabla A
Costos de FOB y costos flete

Función principal	Costo FOB	Peso(kg)	Volumen(m³)	Costo flete
Horno de secado al vacío	\$480.00	92	0.2056	\$277.58
Prensa de extracción	\$600.00	140	0.2981	\$321.43
Filtro prensa de bastidor	\$400.00	27.5	0.1080	\$142.81
Tanque de almacenamiento	\$110.00	10	0.0685	\$55.52
Total	\$1,590.00	269.5	0.6802	\$797.34

Tabla B*Costos adicionales*

Costos	Sub-total	Porcentaje %
Flete	\$797.34	50.15%
Seguro	\$10.02	0.63%
Gastos en terminal	\$13.04	0.82%
Aranceles	\$0.00	0.00%
Impuestos aduaneros	\$19.24	1.21%
IVA	\$206.70	13.00%
Transporte interno	\$47.70	3.00%
Total importación	\$1,094.03	168.81%

Anexo XVIII Balance económico

Considerando un beneficio económico potencial de USD \$2950.3/año. Los costos eléctricos operativos de USD \$70.84/ año e inversión de USD \$3,120, mostrado el siguiente balance económico:

Tabla A*Depreciación del equipo*

Equipo: Horno de sacado y prensa expeller			Equipo: Horno de sacado y prensa expeller		
Valor		\$980.00	Valor		\$510.00
Vida útil		10 años	Vida útil		15 años
Valor de Salvamento		\$0.00	Valor de Salvamento		\$170.00
Depreciación anual		\$108.00	Depreciación anual		\$34.00
Año	Depreciación ac	Valor en libros	Año	Depreciación ac	Valor en libros
1	\$108.00	\$972.00	1	\$34.00	\$476.00
2	\$216.00	\$864.00	2	\$68.00	\$442.00
3	\$324.00	\$756.00	3	\$102.00	\$408.00
4	\$432.00	\$648.00	4	\$136.00	\$374.00
5	\$540.00	\$540.00	5	\$170.00	\$340.00
6	\$648.00	\$432.00	6	\$204.00	\$306.00
7	\$756.00	\$324.00	7	\$238.00	\$272.00
8	\$864.00	\$216.00	8	\$272.00	\$238.00
9	\$972.00	\$108.00	9	\$306.00	\$204.00
10	\$1,080.00	\$0.00	10	\$340.00	\$170.00

Tabla B*Flujo de caja del proyecto sin financiamiento bancario*

Flujo de Caja del Proyecto sin Financiamiento Bancario											
Concepto/año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
Costos		71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
Flujo de caja adi		2,879	2,879	2,879	2,879	2,879	2,879	2,879	2,879	2,879	2,879
Depreciación		142	142	142	142	142	142	142	142	142	142
Utilidad Bruta		2,737	2,737	2,737	2,737	2,737	2,737	2,737	2,737	2,737	2,737
ISR (30%)		821	821	821	821	821	821	821	821	821	821
Utilidad Neta		1,916	1,916	1,916	1,916	1,916	1,916	1,916	1,916	1,916	1,916
Depreciación		142	142	142	142	142	142	142	142	142	142
Valor de Rescate											170
Flujo de Caja Neto	-3,120	2,058	2,058	2,058	2,058	2,058	2,058	2,058	2,058	2,058	2,228

TMAR	10.00%
Tasa de inflación	0.00%
VAN	\$9,592.19
TIR	65.56%
Costo/Beneficio	3.0741