

**PROPUESTA TÉCNICO FINANCIERA PARA LA PRODUCCIÓN DE PELLETS DE  
BORRA DE CAFÉ UTILIZANDO ACEITE VEGETAL COMO AGLOMERANTE A  
NIVEL PLANTA PILOTO**

**FRANCY CAMILA RAMÍREZ PINZÓN  
YENNY FERNANDA RIAÑO GALÁN**

**Proyecto integral de Grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director  
CLAUDIO ALBERTO MORENO ARIAS  
Ing. Mecánico.**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C**

**2022**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

Claudio Moreno Arias.  
Director.

---

Presidente Jurado.

---

Andrés Triana Bodensiek.  
Jurado.

---

César Sánchez Correa.  
Jurado.

Bogotá D.C. febrero de 2022

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente Institucional de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Francy y Andrés, por el amor y el apoyo que siempre me han dado, y por el sacrificio y esfuerzo que han hecho para que yo cumpla mis sueños, mis logros son sus logros. A mi hermana Juliana, por siempre estar para mí con sus ocurrencias y canciones, eres uno de los motores de mi vida y espero ser un buen ejemplo para ti. A mi perro Odín, por ser el amor incondicional que nunca espere tener, siempre dispuesto a distraerme y a darme amor. A mis abuelos, Ligia y Rubén, por el amor que me dan a su manera. A Jenn, por ser mi alma gemela en la carrera, sin ti esto no sería posible. Y a cada una de las personas que me apoyaron durante esta etapa, que con un abrazo o una palabra de aliento me mostraron la confianza y fe que tienen en mí.

Francy Camila Ramírez Pinzón

A las personas que han hecho parte de esta etapa de mi vida, sin sus consejos y ayuda nada de esto hubiese sido posible. Especialmente para mi mamá y mis abuelos, las personas más importantes de mi vida, porque siempre han estado para motivarme y darme la fuerza cuando lo necesito. Por último y no por eso menos importante, para mi tío, que hablaba con tanto amor de esta carrera que era imposible no contagiarse.

Yenny Fernanda Riaño Galán

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo, queremos agradecerle a Dios por darnos la sabiduría y resiliencia necesaria para terminar esta importante etapa en nuestras vidas.

Gracias a nuestros padres, por el apoyo incondicional que siempre nos han dado, por motivarnos en los momentos más difíciles, especialmente por nunca dejar de creer en nosotras.

Agradecemos a nuestro director Claudio Alberto Moreno Arias, porque su acompañamiento, dedicación y guía durante los últimos meses, nos ha permitido cumplir con cada uno de los objetivos propuestos en este proyecto.

Finalmente, queremos dar las gracias a la Universidad de América y a cada uno de los profesores que nos brindaron sus conocimientos y permitieron nuestra formación integral como Ingenieras Químicas.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	14
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1 Café	15
1.2 Producción mundial de café	17
1.3 Producción nacional de café	18
1.4 Residuos del café	20
1.5 Borra de café	23
1.5.1 Usos de la borra de café	24
1.6 Biocombustible	24
1.7 Peletización	26
1.7.1 Humedad	26
1.7.2 Temperatura de peletización	26
1.7.3 Presión de peletización	27
1.7.4 Aglomerantes	27
1.8 Generalidades de mercado	28
1.9 Estado del arte	29
2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	31
2.1 Borra de café	31
2.1.1 Contenido de humedad	31
2.1.2 Materia volátil	32
2.1.3 Contenido de cenizas	32
2.1.4 Carbono fijo	33
2.1.5 Poder calorífico	33
2.2 Aceite de palma	34
2.2.1 Especificaciones técnicas del aceite crudo de palma	35
2.2.2 Especificaciones técnicas del aceite refinado de palma	35
2.2.3 Selección del aglomerante	36

3.	DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE PELETIZACIÓN DE LA BORRA DE CAFÉ	37
3.1	Capacidad de producción	37
3.2	Etapas del proceso	37
3.2.1	<i>Almacenamiento de materias primas</i>	37
3.2.2	<i>Secado</i>	38
3.2.3	<i>Mezclado</i>	39
3.2.4	<i>Peletización</i>	39
3.2.5	<i>Enfriamiento</i>	40
3.2.6	<i>Tamizado</i>	40
3.2.7	<i>Almacenamiento y ensacado</i>	40
3.3	Diagrama de bloques (BFD)	40
3.4	Balance de masa por etapas	43
3.4.1	<i>Secado</i>	43
3.4.2	<i>Mezclado</i>	47
3.4.3	<i>Peletización</i>	48
3.4.4	<i>Enfriamiento</i>	50
3.4.5	<i>Tamizado</i>	52
3.5	Selección de equipos	54
3.6	Condiciones de operación	64
3.7	Diagrama de flujo de proceso (PFD)	64
3.8	Caracterización de los pellets	66
4.	EVALUACIÓN FINANCIERA	67
4.1	Plan de inversión	67
4.1.1	<i>Activos fijos</i>	67
4.1.2	<i>Activos diferidos</i>	68
4.1.3	<i>Capital de trabajo</i>	69
4.2	Costos y gastos	70
4.2.1	<i>Depreciación de activos</i>	70
4.2.2	<i>Costos de materia prima</i>	70
4.2.3	<i>Costos de producción</i>	71

4.2.4	<i>Gastos administrativos</i>	72
4.3	Ingresos	73
4.4	Financiación	73
4.5	Estados financieros	74
4.5.1	<i>Balance inicial</i>	74
4.5.2	<i>Estado de resultados</i>	75
4.5.3	<i>Flujo de efectivo</i>	77
4.6	Indicadores financieros	79
4.6.1	<i>Valor presente neto</i>	79
4.6.2	<i>Tasa interna de retorno</i>	79
4.6.3	<i>Periodo de recuperación</i>	79
4.6.4	<i>Relación beneficio costo</i>	79
5.	CONCLUSIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	81
	ANEXOS	93

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Sección transversal de la cereza de café	16
Figura 2. Exportaciones de café de países productores y no productores	18
Figura 3. Mapa cosecha cafetera de Colombia	19
Figura 4. Métodos para procesamiento del fruto del café y los respectivos subproductos generados	20
Figura 5. Procesamiento de los granos de café verde y subproductos generados	21
Figura 6. Borra de café	23
Figura 7. Curvas de secado borra de café	39
Figura 8. Diagrama de bloques (BFD)	42
Figura 9. Esquema balance de masa secado	43
Figura 10. Balance de masa y energía del secador	44
Figura 11. Esquema balance de masa mezclado	48
Figura 12. Esquema balance de masa peletización	49
Figura 13. Esquema balance de masa enfriamiento	50
Figura 14. Esquema balance de masa tamizado	53
Figura 15. Secador de tambor rotativo	55
Figura 16. Tanque mezclador	57
Figura 17. Peletizadora	58
Figura 18. Enfriadora de pellets	59
Figura 19. Tamiz vibratorio	60
Figura 20. Silo de almacenamiento	62
Figura 21. Tanque de almacenamiento	63
Figura 22. Diagrama de flujo de proceso (PFD)	65

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Contenido de humedad	32
Tabla 2. Materia volátil	32
Tabla 3. Contenido de cenizas	33
Tabla 4. Carbono fijo	33
Tabla 5. Poder calorífico	34
Tabla 6. Especificaciones técnicas del aceite crudo de palma	35
Tabla 7. Especificaciones técnicas del aceite refinado de palma	36
Tabla 8. Balance de masa secado	44
Tabla 9. Balance de masa mezclado	48
Tabla 10. Balance de masa peletización	49
Tabla 11. Balance de masa enfriamiento	51
Tabla 12. Capacidad calorífica para el proceso de enfriamiento	51
Tabla 13. Balance de masa tamizado	53
Tabla 14. Condiciones de operación por etapa	64
Tabla 15. Propiedades fisicoquímicas de los pellets	66
Tabla 16. Activos Fijos Equipos	67
Tabla 17. Activos Fijos Muebles, enseres y equipos de cómputo y comunicación	68
Tabla 18. Activos Diferidos	69
Tabla 19. Depreciación de activos	70
Tabla 20. Costos de materia prima	71
Tabla 21. Costos de producción	72
Tabla 22. Gastos administrativos	72
Tabla 23. Amortización	74
Tabla 24. Balance inicial	75
Tabla 25. Estado de resultados	76
Tabla 26. Flujo de efectivo	78

## RESUMEN

En el presente trabajo se plantea una propuesta técnico financiera para la producción de pellets de borra de café utilizando aceite vegetal como aglomerante a nivel planta piloto, para esto, inicialmente se realizó una revisión bibliográfica que permitió establecer las propiedades más influyentes de la borra de café: contenido de humedad, materia volátil, cenizas, carbono fijo y poder calorífico. La selección del aglomerante se hizo mediante una comparación de las propiedades más relevantes entre el aceite refinado y el aceite crudo de palma, determinando que este último es el más adecuado.

Una vez seleccionado el aglomerante, se planteó el diseño conceptual del proceso de peletización. En primer lugar, se llevó a cabo la descripción de cada una de las etapas: almacenamiento, secado, mezclado, peletizado, enfriamiento y tamizado; después se definió la capacidad de producción (10 Ton/mes), el balance de masa, la selección de equipos y los diagramas BFD y PFD. Por último, se determinó que el proyecto es viable a partir de los resultados de los siguientes indicadores financieros: VPN, TIR, PR, B/C.

**PALABRAS CLAVE:** Pellet, Borra de café, Planta piloto, Diseño conceptual, Evaluación financiera.

## INTRODUCCIÓN

El aumento en la demanda de energía debido al crecimiento exponencial de la población ha incrementado el uso de fuentes no renovables como el petróleo, el carbón y el gas natural [1]. Sin embargo, estos combustibles fósiles se encuentran de manera limitada en la naturaleza y su combustión genera la emisión de gases contaminantes que promueven el efecto invernadero y el calentamiento global. Por otra parte, el uso de leña en las zonas rurales promueve el desarrollo de enfermedades pulmonares [2] y la deforestación, afectando directamente la calidad del suelo, el hábitat de las especies que se encuentran en la zona, entre otras [3].

En los últimos años las energías alternativas han incrementado su participación en el consumo total de energía [4], permitiendo la creación de distintas propuestas que promuevan el desarrollo sostenible a partir del uso de recursos naturales renovables como la biomasa.

Teniendo en cuenta que Colombia es uno de los principales países productores de café, los residuos de esta agroindustria representan una cantidad significativa de biomasa y en estos se destaca principalmente la pulpa, los mucílago y la borra. Esta última representa el 10,4% del peso del fruto fresco [5] y actualmente es utilizada en la producción de biogás, biodiesel, bioetanol, fertilizantes, sustrato para crecimiento de hongos, entre otros [6].

La borra de café se caracteriza por tener un alto valor de capacidad calorífica y bajo contenido de cenizas [7], propiedades que permiten el desarrollo de un biocombustible sólido en forma de pellets para uso doméstico e industrial, destacando que su proceso de fabricación es sencillo, otorga valor agregado a un residuo agroindustrial y promueve la economía circular.

La implementación de este tipo de biocombustibles permite disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir la cantidad de emisión de gases contaminantes durante la combustión, lo cual tendrá un efecto positivo en la composición del aire, los ecosistemas y la salud de los seres humanos [8].

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Elaborar una propuesta técnico financiera para la producción de pellets de borra de café utilizando aceite vegetal como aglomerante a nivel planta piloto.

### **Objetivos específicos**

- Identificar las características fisicoquímicas de la borra de café.
- Diseñar conceptualmente el proceso de peletización de borra de café a nivel planta piloto.
- Realizar la evaluación financiera del proceso de peletización a nivel planta piloto.

## 1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan generalidades del café, su producción nacional e internacional y los residuos que se producen desde la cosecha hasta la fabricación de la bebida; enfocándose principalmente en la borra y sus distintas aplicaciones en la industria. Resaltando el potencial de esta biomasa como biocombustible, se realiza un acercamiento a la peletización, un proceso mecánico que con ayuda de un aglomerante permite compactar la borra para su uso industrial y doméstico. Finalmente, se realiza una breve revisión bibliográfica que presenta los trabajos de algunos autores que han llevado a cabo la peletización de la biomasa.

### 1.1 Café

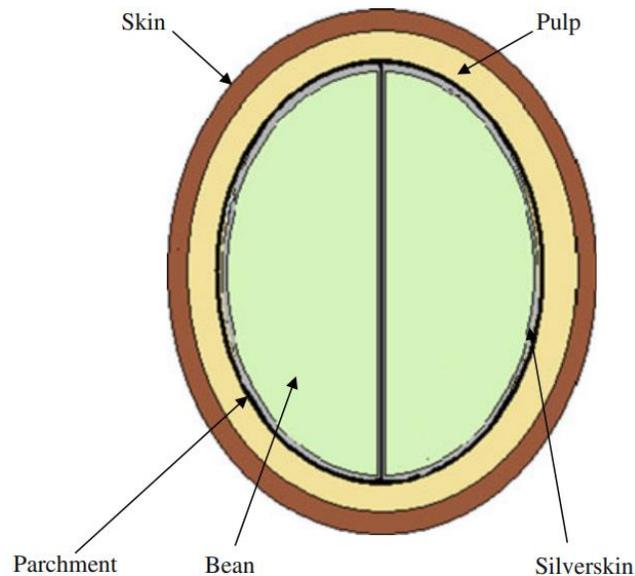
El café es una de las bebidas más consumidas en el mundo [9] que se obtiene a partir de las semillas de un arbusto denominado cafeto, originario de las selvas tropicales de Etiopía. Pertenece a la familia *Rubiaceae* y al género *Coffea*, siendo las especies de mayor importancia el *Coffea arábica* (café arábica) y el *Coffea canephora* (café robusta) [10].

El café arábica es considerado de mayor calidad, tiene menor cantidad de cafeína, es más suave y se cultiva en altitud. Por otra parte, el café robusta tiene más cafeína, es más amargo y se cultiva en zonas más bajas [11].

Debido a las condiciones climáticas que necesita para crecer, se cultiva en países tropicales y subtropicales [12] que hacen parte de la denominada zona “cinturón del café”, la cual está delimitada entre el trópico de Cáncer y el trópico de Capricornio [13].

### Figura 1.

#### *Sección transversal de la cereza de café*



**Nota.** La figura representa la sección transversal de la cereza de café junto con sus partes. Tomado de: S. I. Mussatto, E. M. S. Machado, S. Martins, and J. A. Teixeira, “Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues,” *Food Bioprocess Technol.*, vol. 4, no. 5, pp. 661–672, marzo, 2011, DOI: 10.1007/s11947-011-0565-z. [Acceso: agosto 5, 2021].

Tras la cosecha, se obtiene la fruta del cafeto también conocida como cereza de café, que comprende las siguientes partes: la piel (epicarpio o exocarpio), la pulpa (mesocarpio), el pergamino (endocarpio), la película plateada y dos semillas que son los granos de café (figura 1) [14].

“El procesamiento del café inicia con la conversión de las cerezas de café en granos de café verde y comienza con la eliminación de la pulpa y la cáscara utilizando un método húmedo o seco” [9]. En el método seco las cerezas de café se secan y luego se descascaran mecánicamente; mientras que para el método húmedo, se hace un despulpado del fruto y una fermentación antes de la etapa de secado [15].

Los granos de café verdes se someten a una etapa de tostado del grano, donde se producen diversas reacciones físicas y químicas que modifican las características organolépticas de los granos por completo. Los granos tostados se pueden empacar o moler; en este caso, el café molido puede utilizarse para preparar capsulas o venderse tal cual [15].

## **1.2 Producción mundial de café**

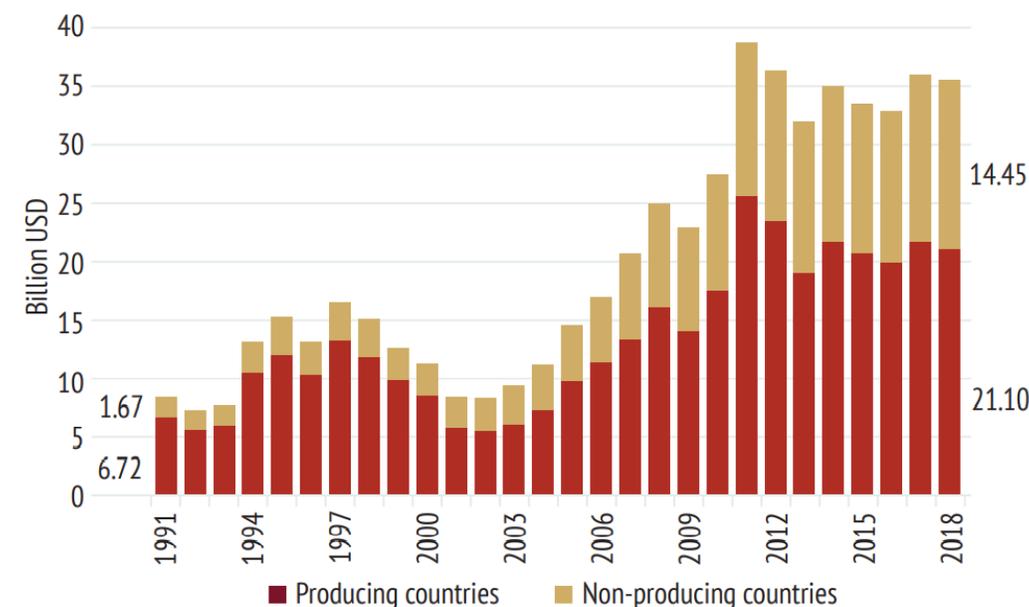
El café es uno de los grandes *commodities* del mercado mundial, pues más del 80% de la producción es objeto del comercio internacional [10]. Actualmente se cultiva en más de 70 países y según cifras de la Organización Internacional del Café (ICO, por sus siglas en inglés), en el 2020 la producción mundial de café fue de aproximadamente 175 millones de bolsas de 60 kilogramos, siendo los principales países productores Brasil y Vietnam con una producción de 69 y 29 millones de bolsas de 60 kilogramos respectivamente; Colombia e Indonesia se encuentran en el tercer y cuarto lugar [16].

Con una producción anual que supera los tres millones y medio de toneladas (un tercio de la producción mundial), Brasil se posiciona como el mayor productor y exportador de café en el mundo [17].

Alrededor del 90% del café (en volumen) se exporta en forma verde, siendo así una materia prima para países industrializados, que se encargan del procesamiento y reexportan café verde descafeinado, café tostado y soluble a gran escala. Estos países no productores se convirtieron en importantes actores en el comercio internacional (Figura 2) [18].

**Figura 2.**

*Exportaciones de café de países productores y no productores*



*Nota.* La figura representa la participación de los países productores y no productores en las exportaciones de café. Tomado de: International Coffee Organization, “The value of coffee - Sustainability, Inclusiveness and Resilience of the Coffee Global Value Chain,” 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.internationalcoffeecouncil.com/cdr2020>.

### 1.3 Producción nacional de café

En Colombia, la industria cafetera tiene gran influencia en la estabilidad económica y social del país [19]. La historia del país muestra como esta actividad ha influido en distintos aspectos tales como: el crecimiento de las ciudades, desarrollo de la infraestructura de transporte, vinculación del país al comercio internacional, entre otras [12].

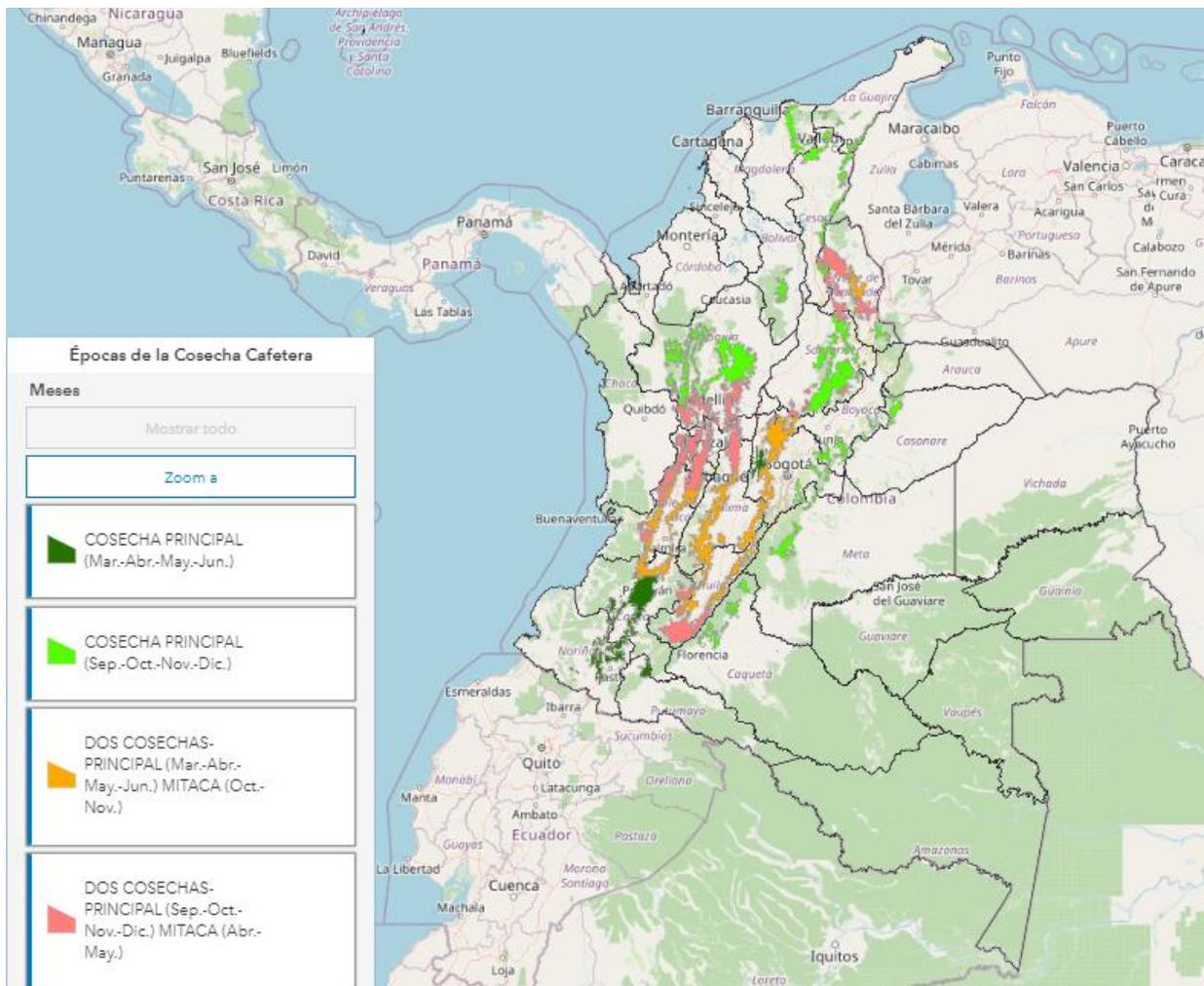
La posición de Colombia como primer productor de café suave en el mundo, caracterizado por su calidad y disponibilidad a lo largo del año, se ve favorecida por la posición que ocupa sobre el trópico, la cual genera regímenes de lluvia y condiciones de humedad relativa y altitud favorables [20].

Como se puede observar en la figura 3, los cultivos de café se encuentran en las llanuras de la Sierra Nevada de Santa Marta y en las laderas de la Cordillera de los Andes que atraviesa el país [12].

En el 2020, gracias a la implementación de Protocolos de Bioseguridad desarrollados por la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) se logró recoger todo el café cosechado y se alcanzó una producción de 13.9 millones de sacos de 60 kilogramos de café verde, un 6% menos respecto a la cosecha de 2019. En cuanto a las exportaciones, cayeron un 8% con un valor de 12.5 millones de sacos a comparación de los 13.7 millones de sacos exportados en el año anterior [21] y se exporta principalmente a Estados Unidos, Japón y Alemania, según el informe de la industria cafetera 2018 de la FNC [22].

**Figura 3.**

*Mapa cosecha cafetera de Colombia*



**Nota.** La figura representa las regiones donde se cultiva café en Colombia, junto con las épocas de cosecha. Tomado de: Federación Nacional de Cafeteros, “Mapa Cosecha Cafetera.” [En línea] <https://federaciondefcafeteros.org/wp/cosecha-cafetera/> [Acceso: agosto 14, 2021].

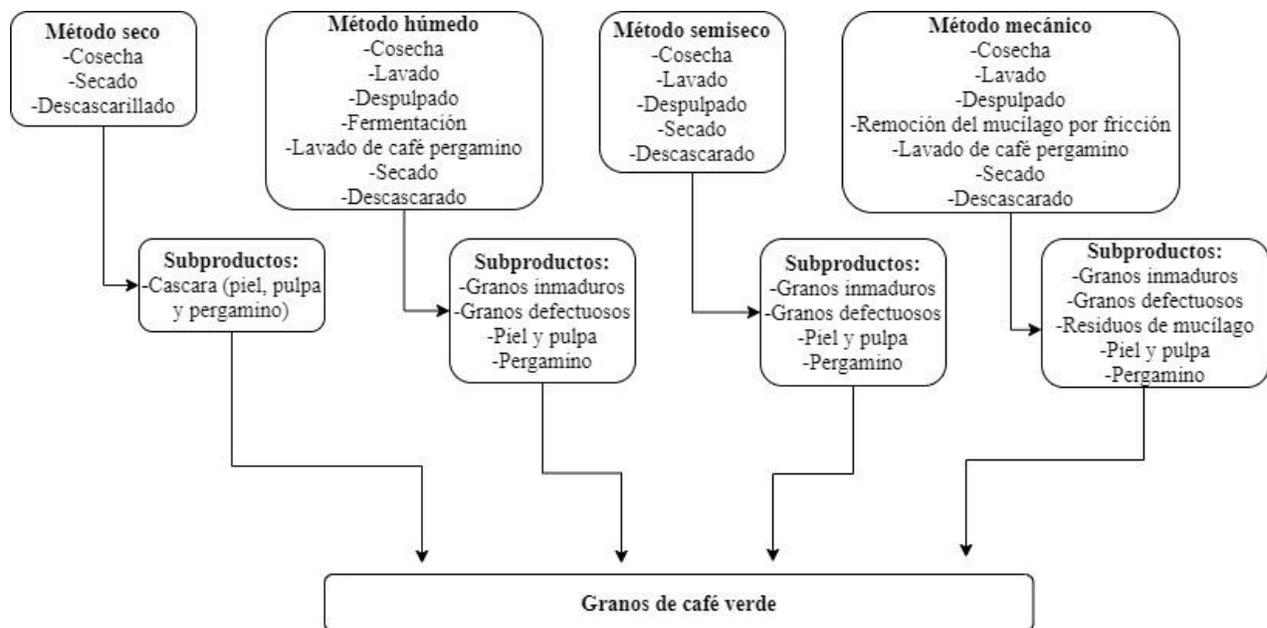
## 1.4 Residuos del café

La industria cafetera genera residuos y subproductos que representan un grave problema ambiental. Las industrias cafeteras pueden valorizar los subproductos que se generan para incrementar la sustentabilidad del proceso; al tiempo que se enfoca en el medio ambiente, se puede ver como una oportunidad para incrementar los ingresos y crear empleos; resaltando que los subproductos son ricos en compuestos químicos valiosos con potencial para aplicaciones en distintos campos [15].

Dependiendo del método de procesamiento postcosecha que se elija para las cerezas de café, se pueden obtener los subproductos presentados en la figura 4.

**Figura 4.**

*Métodos para procesamiento del fruto del café y los respectivos subproductos generados*

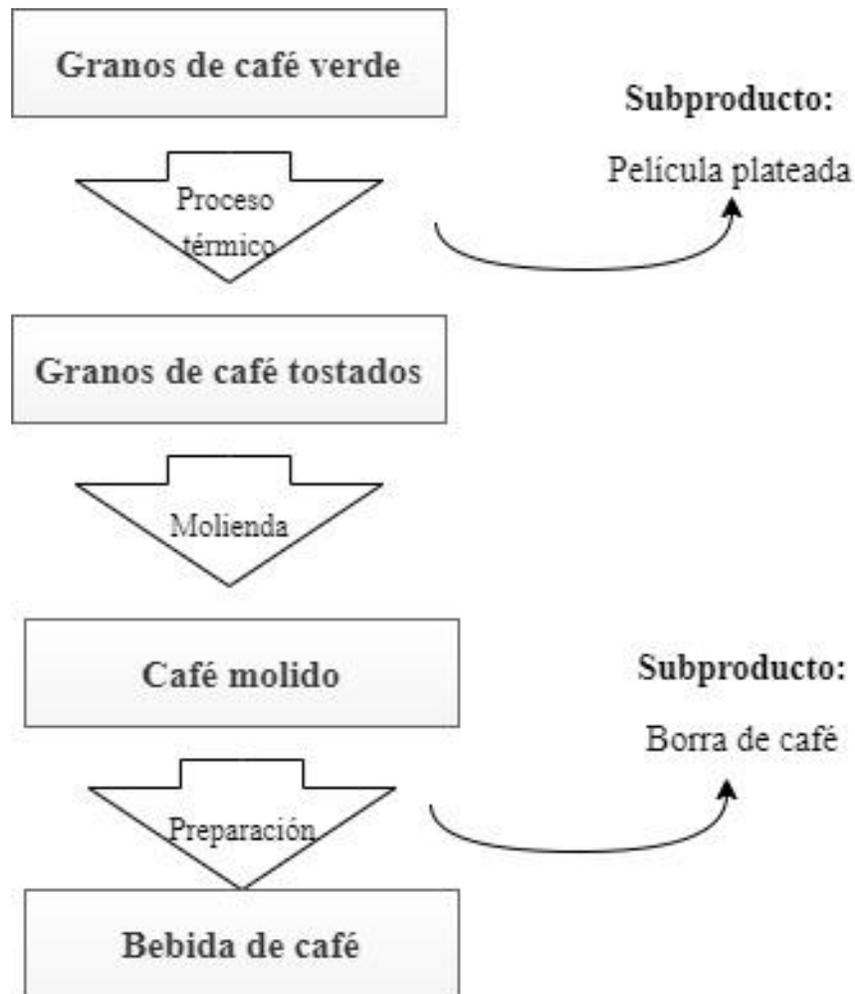


**Nota.** La figura representa los principales métodos para el procesamiento postcosecha del fruto del café y los subproductos generados. Tomado de: C. M. Galanakis, *Handbook of Coffee Processing By-Products*. 2017.

En la figura 5 se muestran los subproductos generados durante el tostado y preparación de la bebida de café.

**Figura 5.**

*Procesamiento de los granos de café verde y subproductos generados*



*Nota.* La figura representa el proceso de los granos de café verde para producir la bebida de café con sus respectivos subproductos generados. Tomado de: C. M. Galanakis, *Handbook of Coffee Processing By-Products*. 2017.

### **Granos de café defectuosos e inmaduros**

Los granos defectuosos representan entre un 15 y 20% de la producción de café en peso, siendo los defectos más destacados: granos negros, amargos, inmaduros, dañados por insectos o rotos [15].

## **Cáscara**

Se obtiene cuando se procesa la cereza de café por método seco. Por cada tonelada de cereza se obtienen 0.18 toneladas de cáscara. Se usa principalmente como combustible en los hornos de las granjas y en gasificadores para producir electricidad o biogás [15].

## **Pulpa**

Es el primer subproducto que obtiene durante el procesamiento húmedo del café y representa alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco [23]. Se utiliza como fertilizante, ingrediente complementario en la alimentación de animales y en la producción de biocombustibles [24].

## **Mucílago**

El mucílago se genera en la etapa del desmucilaginado y en base húmeda, representa alrededor del 14,85% del peso del fruto fresco [23]. En términos de volumen, por cada kilogramo de cereza de café se producen 91 ml de mucilago puro [5]. Debido a la alta cantidad de azúcares contenidos y la facilidad de ser utilizados por microorganismos, se le otorga a este subproducto importancia como sustrato [5].

## **Cisco**

El cisco o pergamino, corresponde al endocarpio de la cereza del café y se retira durante la trilla de los granos de café secos antes de ser tostados. Uno de los usos más frecuentes es en la preparación de sustratos para la siembra de almácigos de café y otras plantas [25].

## **Película plateada**

La película plateada es un tegumento que está en contacto directo con los granos de café y se obtiene como subproducto de la etapa de tostado [9] dado que esta no se expande como el grano durante el procesamiento térmico. El tostado de 4 toneladas de café produce alrededor de 30 kg de película plateada [15].

## **Borra de café**

La borra de café, también conocida como café gastado, es el subproducto que se obtienen tanto en la preparación de café doméstico (en cafeterías, restaurantes, hogares) como en la preparación industrial del café instantáneo [15].

### **1.5 Borra de café**

La borra de café es un residuo sólido de color marrón con alto contenido de humedad [15] generado en una cantidad considerable, siendo un desafío su disposición debido a la alta demanda de oxígeno para su descomposición y la posible liberación de cafeína residual [26].

Representa el 10,4% del peso del fruto fresco [5] y es el principal residuo generado en las fábricas de café soluble [27]. “En promedio, una tonelada de grano verde de café genera alrededor de 650 kg de borra y por cada kg de café soluble se producen cerca de 2 kg de borra de café” [7] resaltando que cerca del 50% de la producción mundial de café se procesa para la preparación de café soluble [9].

#### **Figura 6.**

*Borra de café*



*Nota.* La figura muestra la borra de café. Tomado de: Anezcu. (2019) La borra del café. Anezcu. <https://anezcu.com/la-borra-del-cafe/>

La composición de la borra de café depende de varios factores como el método de preparación, las condiciones de cultivo y el tipo de café. Sin embargo, la mayoría tiene una composición similar. Los principales componentes son la celulosa y la hemicelulosa, que forman alrededor del 50% de la masa seca de la borra; luego se encuentra la lignina y la proteína que constituyen aproximadamente el 20% cada uno sobre la base de la masa seca. Contiene una cantidad considerable de aceite y otros componentes en menor medida tales como compuestos fenólicos, minerales, cafeína y taninos [6].

### ***1.5.1 Usos de la borra de café***

En el sector energético la producción de biodiesel ha sido uno de los temas más investigados; consiste en extraer los aceites contenidos dentro de la borra y posteriormente mediante la reacción de transesterificación obtener los ésteres metílicos de ácidos grasos (biodiesel) [6]. Igualmente se ha utilizado como biocombustible sólido gracias a su alto poder calorífico; varios estudios demuestran que tiene un rendimiento similar al de otras biomásas [6].

Algunos investigadores han sugerido utilizar los azúcares de la borra en la industria alimentaria o en la producción de bioetanol mediante fermentación [6]. También se ha estudiado la licuefacción hidrotermal, pirolisis, digestión y gasificación para la producción de energía [6].

Por su contenido de compuestos fenólicos y antioxidantes, se han estudiado diversos métodos de extracción que permitan aislar dichos componentes [6] para su aplicación en alimentos, productos farmacéuticos, industrias cosméticas, entre otras [28].

Otras aplicaciones destacadas son la producción de fertilizantes, compostaje, adsorbente para una amplia gama de contaminantes [6], biopolímeros y cremas exfoliantes [28].

## **1.6 Biocombustible**

“El biocombustible es una combinación de materias primas orgánicas, que se emplea para producir energía en motores de combustión interna” [29]. Estos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos y se producen a partir de biomasa, es decir, son renovables y funcionan como sustitutos a los combustibles fósiles [30].

Pueden clasificarse según su procedencia de la siguiente forma:

- Primera generación: Los biocombustibles de primera generación corresponden a biomásas provenientes de cultivos agrícolas alimentarios, como lo son el azúcar, almidón, aceite vegetal, entre otros, y se procesan de manera convencional, con tecnologías como la fermentación y transesterificación, que permiten obtener, por ejemplo, etanol, biodiesel y biogás. Este tipo de biocombustibles a pesar de ser fáciles de producir y de la baja emisión de gases de efecto invernadero, representan un riesgo al suministro de alimentos dado el aumento de la demanda de estos insumos, además de los daños ambientales generados como la deforestación de selvas principalmente por los cultivos a gran escala [30]–[32].
- Segunda generación: Son los correspondientes a los residuos o desperdicios de cultivos comestibles, como tallos, vainas, cáscaras, borra, entre otros; así como los obtenidos a partir de cultivos agroforestales que no se destinan a la alimentación. Utilizan procesos como la sacarificación-fermentación y el proceso Fischer-Tropsch, lo que representa una complejidad más alta que disminuye la ganancia respecto a la emisión de gases de efecto invernadero. Su ventaja principal se debe a que no se requieren tierras que se destinen únicamente al sector energético [31], [32].
- Tercera generación: La tercera generación de biocombustibles se encuentra en desarrollo y se da a partir de insumos vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y que poseen una alta densidad energética almacenada, como lo son los pastos perennes, algunos árboles y plantas, pero principalmente algas. Estos insumos se diseñan o se adaptan para que exista una mejor conversión de biomasa a biocombustible, permitiendo reducir los costes y generando un balance positivo en la emisión de gases de efecto invernadero, gracias a la captación de anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ). Sin embargo, una desventaja es que utilizan tierras dedicadas al cultivo de alimentos [31], [32].
- Cuarta generación: Los biocombustibles de cuarta generación se encuentran en fase teórica y consiste en el uso de bacterias genéticamente modificadas que emplean anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) o alguna otra fuente de carbono para producir etanol mediante una ruta de síntesis. Presenta una ventaja teniendo en cuenta que la bacteria realizaría la totalidad del proceso, sin embargo, puede poseer limitaciones termodinámicas importantes [31].

En Colombia la producción de biocombustibles se rige principalmente por la Ley 693 de 2001, “por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones” [33], y se complementa con la Ley 939 de 2004, “se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diésel” [34].

Los biocombustibles líquidos más producidos en Colombia son el etanol (alcohol carburante) y el biodiesel; el etanol proviene de la fermentación e hidrólisis de materias comestibles como la caña de azúcar y el maíz, mientras que el biodiesel se obtiene del aceite de palma [35].

## **1.7 Peletización**

La peletización se define como la aglomeración de biomasa mediante un proceso de extrusión con o sin aglomerante, que da como resultado un biocombustible sólido de geometría cilíndrica [26]. El tamaño del pellet en términos de diámetro se encuentra entre 4 y 10 mm, mientras que la longitud no debe ser mayor a 30 mm, aproximadamente [36].

Esta compactación mecánica permite aumentar la densidad de la biomasa mejorando su manipulación y transporte; destacando que el aumento de la densidad aumenta a su vez la energía por unidad de volumen [37].

### **1.7.1 Humedad**

Según la normatividad, un pellet debe poseer un contenido de agua inferior al 10% de su peso [36]. Dependiendo del contenido de humedad que tiene la biomasa al momento de su recolección (la borra de café contiene un porcentaje de humedad cercano al 70%), es necesario incluir una etapa de secado antes de la peletización [26].

La humedad influye directamente en el pellet, en características como el poder calorífico, la estructura, su resistencia a la deformación, entre otras [26]. Es importante resaltar que el agua actúa simultáneamente como agente aglomerante y como lubricante [38].

### **1.7.2 Temperatura de peletización**

En el proceso de peletizado es necesario llevar a cabo un aumento de temperatura en la máquina peletizadora, la cual hará que la lignina de la biomasa sufra cambios estructurales que permiten la

aglomeración del pellet. La mayoría de los autores reportan que a temperaturas superiores a 60 °C, se obtiene una mejor calidad de pellet, sin importar la naturaleza de la biomasa [38].

### ***1.7.3 Presión de peletización***

En la peletización es importante la presión a la que se realizará el proceso, debido a que de esta dependerá el aumento de la densidad a granel de la biomasa, permitiendo compactar y aglomerar las partículas [38].

La presión dependerá principalmente del tipo de biomasa, ya que puede variar entre 5 MPa y 800 MPa; según la literatura, para la peletización de la borra de café se puede alcanzar hasta una presión de 130 MPa aproximadamente, utilizando glicerina como aglomerante [26].

### ***1.7.4 Aglomerantes***

Los aglomerantes son sustancias que al formar puentes entre partículas, mediante fuerzas físicas y químicas, pueden adherir o compactar compuestos y así, dar resistencia mecánica al material [26].

Para la selección del aglomerante en la elaboración de pellets, la principal característica a tener en cuenta es que el producto sea compatible física y químicamente [26], además de otros parámetros como: alto poder calorífico, facilidad de obtención, costo asequible, no ser contaminante durante la combustión y poseer buenas propiedades de adhesión [39].

Los aglomerantes provenientes de vegetales presentan mejores propiedades de cohesión para compactar la biomasa, siendo los más comunes para este fin almidón de yuca y maíz, melaza, entre otros [40].

En la elaboración de pellets de borra de café, se ha usado como aglomerante sustancias como la glicerina, biodiésel, aserrín, goma blanca, entre otros, permitiendo así una buena compactación del pellet, otorgándole resistencia mecánica adecuada y aumentando el poder calorífico [26].

1.7.4.a. Aceite vegetal. Los aceites vegetales son compuestos orgánicos, compuestos en su mayoría de triglicéridos y en menor proporción de ácidos grasos libres, esteroides, ceras, vitaminas, entre otros.

Se conoce como aceite crudo al aceite que se obtiene de las semillas oleaginosas por medio de extracción mecánica o extracción con solventes y que no ha sido sometido a ningún proceso de refinación. Mientras que el aceite refinado es aquel que ha pasado por un proceso de refinado, blanqueado y desodorizado, en el que se eliminan ácidos grasos libres, fosfolípidos, compuestos volátiles, entre otros.

La mayor producción y consumo de los aceites vegetales se encuentran liderados por el aceite de palma, con una producción aproximada de 208,1 millones de toneladas lo que representa un 36,4%, seguido del aceite de soja con un 27,7%, el 13,5% por el aceite de colza y el 9,5% por el aceite de girasol [41].

La producción de aceite de palma se concentra en Indonesia, que produce aproximadamente 42,50 millones de toneladas de aceite de palma, Malasia con unos 19 millones de toneladas en segundo lugar, seguido de Tailandia con 2,80 millones de toneladas, y en cuarto lugar se encuentra Colombia con 1,53 millones de toneladas [42].

## **1.8 Generalidades de mercado**

“El suministro para el mercado de los procesos de combustión a gran escala es constante durante el año, lo que garantiza una estabilidad de precio y demanda. Los mercados a atender por los volúmenes de pellets de biomasa que demandan son Europa, Japón y Chile” [43]. El mercado europeo está desarrollado y es el de mayor tamaño, mientras que en Japón y Chile son mercados emergentes [43].

Los pellets más comercializados son los elaborados con el aserrín proveniente de limpiezas forestales e industrias madereras. En Europa tienen un precio medio de venta de 3,92 € por cada saco de 15 kg [44], que en pesos colombianos equivale a \$17302,96 según la tasa de cambio del 10 de diciembre de 2021 (1€ = \$4414,02 COP) [45]. Estos pellets tienen un valor de poder calorífico superior cercano a los 18907 kJ/kg [46].

En Colombia se consiguen bolsas de pellets de madera de 9 kg por \$89900 para su uso doméstico [47].

## 1.9 Estado del arte

Debido a las características que presenta la borra de café, varios autores han llevado a cabo diferentes estudios para su uso como biocombustible sólido, principalmente en forma de pellets. Los siguientes artículos y trabajos de grado resaltan el potencial de la borra como fuente de energía, así como diseños básicos de plantas en los que se peletiza otros tipos de biomasa.

- En el artículo “Spent coffee grounds: A review on current utilization”, los autores Josiah McNutt y Quan He presentan el potencial de la borra en distintas aplicaciones que incluyen los siguientes sectores: energía, materiales, alimentos y salud, entre otros. En el sector de energía resaltan el desempeño similar que tiene con otras biomásas y su aplicación como combustible sólido (pellets) [6].
- Geoconda Nikole Paredes Cedeño en su trabajo de grado “Aprovechamiento de los residuos del café molido y pasado para elaborar un biocombustible de segunda generación”, elaboró pellets de borra y mediante un diseño experimental, determinó la incidencia de la presión de compactación y el porcentaje de aglutinante en la resistencia mecánica y el poder calorífico [39].
- En el trabajo de grado “Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café” de Angelica María Vargas Lazo, se caracterizaron distintas muestras de borra y se eligió la mejor teniendo en cuenta las siguientes propiedades: contenido de humedad, cenizas y poder calorífico. Con la borra seleccionada, se hicieron los pellets siguiendo un diseño factorial en el que se establecieron las combinaciones de humedad-aglomerante. Finalmente, los pellets obtenidos se caracterizaron física, química y mecánicamente de acuerdo a los estándares internacionales para biocombustibles sólidos [26].
- Los autores del artículo “Spent coffee ground characterization, pelletization test and emissions assessment in the combustion process” fabricaron los pellets de borra con distintos porcentajes de aserrín. Adicionalmente, llevaron a cabo pruebas de combustión en una caldera y se caracterizaron las emisiones resultantes [7].
- El trabajo de grado “Caracterización energética del densificado de aserrín como un biocombustible, pellet, utilizando tres diferentes aglutinantes: arcilla, almidón y yeso”, realizado por Josué Fernando Tojes Pacheco dan una descripción de las etapas que debe poseer

el proceso de peletizado de aserrín, usando como aglutinantes arcilla, almidón y yeso en distintas proporciones [40].

- Valeriano Torres Ordoñez en su trabajo de máster “Diseño de una planta de elaboración de pellets a partir de residuos de café” presenta el diseño de una planta de peletización de residuos de café, específicamente posos de café, presentando una aproximación a los equipos adecuados para realizar la peletización con sus respectivas dimensiones y posibles consumos energéticos [48].
- Los autores Bereisa Delgado y Oscar Díaz en el trabajo de grado “Diseño de la ingeniería básica de una planta productora de pellets elaborados a partir de biomasa forestal” plantean el diseño de una planta productora de pellets a partir de madera al realizar una descripción de cada una de las etapas del proceso y asignando el equipo necesario para cada una de estas con su respectivo dimensionamiento. Igualmente, realizaron una aproximación de los costos que implica la inversión del proyecto [49].
- Maw Maw Tun, et al., en su artículo de investigación “Spent coffee ground as renewable energy source: Evaluation of the drying processes” emplearon tres procesos de secado para la borra de café: secado en horno, secado al sol y secado al sol al aire libre. Adicionalmente, se hicieron análisis instrumentales que mostraron cambios en la composición de la borra en varios grupos químicos como aldehídos, cetonas, fitoesteroles, entre otros [50].
- Diego Andrés Murcia y Andrés Felipe Gonzales en su trabajo de grado “Desarrollo de briquetas de borra de café y un aglomerante a diferentes composiciones porcentuales para ser utilizadas como combustible sólido alternativo” fabricaron diez briquetas usando almidón de yuca como aglomerante, a diferentes composiciones porcentuales. Se hizo la caracterización correspondiente de las briquetas y se seleccionó la mejor utilizando como criterios el poder calorífico y la estructura sólida [27].
- El principal objetivo de la investigación presentada en el artículo “Energy Utilization of Spent Coffee Grounds in the Form of Pellets” por los autores Radovan Nosek, et al., fue evaluar la posibilidad de utilizar la borra como combustible. Para ello, se elaboraron los pellets con una mezcla de aserrín de madera y borra en diferentes proporciones y se hizo el análisis correspondiente del poder calorífico [28].

## 2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

A continuación, se describen algunas de las características de las materias primas (borra de café, aceite vegetal) que se utilizarán en el proceso de peletización, resaltando la importancia que estas representan en las propiedades finales del pellet.

### 2.1 Borra de café

Siendo la principal materia prima a utilizar, se determinó mediante revisión bibliográfica las siguientes propiedades de la borra: contenido de humedad, poder calorífico, materia volátil, carbono fijo y contenido de cenizas. Estas últimas tres propiedades presentan una diferencia significativa en su valor debido a los protocolos que cada autor llevo a cabo y las características iniciales de la borra utilizada.

#### 2.1.1 *Contenido de humedad*

“El contenido de humedad se define como la cantidad de agua presente en la biomasa, expresada como un porcentaje del peso” [51]. Puede expresarse en base húmeda (fracción entre la cantidad de agua presente y el peso total de la muestra) o en base seca (fracción entre la cantidad de agua presente y el peso seco de la muestra) [52].

Al someter la biomasa a combustión, primero se debe evaporar el agua antes de que el calor esté disponible, por lo que en cuanto mayor sea el contenido de humedad, menor poder calorífico [51].

Dependiendo del proceso de fabricación de café soluble de cada empresa y la forma de preparación de la bebida en las cafeterías, la borra puede tener un contenido de humedad entre 55 y 80% [53] como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1.**

*Contenido de humedad*

<b>Humedad (%)</b>	<b>Fuentes Bibliográficas</b>
57,43	(D. Murcia y A. Gonzáles, 2020) [27]
58,90	(A. Vargas, 2018) [26]
75,75	(J. Cevallos y J. Guerrero, 2017) [54]

*Nota.* La tabla presenta el valor del contenido de humedad en base húmeda de la borra de café presentado por varios autores.

### **2.1.2 Materia volátil**

La materia volátil corresponde a la porción de combustible que es gasificada por acción pirolítica [55] y procede tanto de la parte orgánica de la biomasa como de la inorgánica [56]. Un aumento en esta propiedad genera a su vez un aumento en el poder calorífico de la borra [57].

**Tabla 2.**

*Materia volátil*

<b>Materia volátil (%)</b>	<b>Fuentes Bibliográficas</b>
75,15	(D. Murcia y A. Gonzáles, 2020) [27]
94,68	(C. Blasco, 2018) [58]
72,15	(N. Tangmankongworakoon, 2019) [59]

*Nota.* La tabla presenta el valor de materia volátil de la borra de café presentado por varios autores.

### **2.1.3 Contenido de cenizas**

El contenido de cenizas representa los compuestos inorgánicos [26] que quedan luego de la oxidación completa de la biomasa [56]. “Los elementos que forman las cenizas están presentes en la biomasa como sales unidas químicamente a la estructura del carbón o pueden venir con la biomasa como partículas minerales de la tierra donde han sido cultivadas” [60].

Es deseable que la biomasa tenga un contenido de cenizas bajo para evitar la generación de residuos asociados a la combustión [27] o problemas de corrosión en calderas [55].

**Tabla 3.***Contenido de cenizas*

<b>Cenizas (%)</b>	<b>Fuentes Bibliográficas</b>
2,36	(D. Murcia y A. Gonzáles, 2020) [27]
1,57	(C. Blasco, 2018) [58]
1,78	(N. Tangmankongworakoon, 2019) [59]

**Nota.** La tabla presenta el valor del contenido de cenizas de la borra de café presentado por varios autores.

#### **2.1.4 Carbono fijo**

El carbono fijo es la porción del combustible no pirolizado, el cual es quemado en forma sólida [55]. Al igual que la materia volátil, un aumento en el carbono fijo representa un aumento en el poder calorífico [57].

**Tabla 4.***Carbono fijo*

<b>Carbono fijo (%)</b>	<b>Fuentes Bibliográficas</b>
2,85	(D. Murcia y A. Gonzáles, 2020) [27]
3,75	(C. Blasco, 2018) [58]
19,43	(N. Tangmankongworakoon, 2019) [59]

**Nota.** La tabla presenta el valor de carbono fijo de la borra de café presentado por varios autores.

#### **2.1.5 Poder calorífico**

El poder calorífico es la cantidad de energía liberada en forma de calor en un kilogramo, o en un metro cubico de combustible [61] durante una combustión completa [55]. Este puede ser expresado como poder calorífico superior o poder calorífico inferior, dependiendo si se tiene en cuenta o no el calor de condensación del agua presente en la biomasa.

**Tabla 5.**

*Poder calorífico*

<b>Poder Calorífico (MJ/kg)</b>	<b>Fuentes Bibliográficas</b>
23,08	(A. Vargas, 2018) [26]
19,8	(G. Paredes, 2019) [39]
22,24	(A. Colantoni, et. al, 2021) [7]

*Nota.* La tabla presenta el valor del poder calorífico de la borra de café presentado por varios autores.

## **2.2 Aceite de palma**

Se selecciono el aceite de palma como aglomerante teniendo en cuenta que en la tesis de maestría de A. Vargas “Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café”, se encontró que los pellets elaborados con aceite crudo de palma como aglomerante obtuvieron los mejores resultados en cuanto a contenido de cenizas, materia volátil, contenido de humedad y poder calorífico superior, a comparación de los realizados con biodiesel y glicerina [26].

Adicionalmente se consideró que Colombia es el primer productor de aceite de palma en América Latina y el cuarto en el mundo, con un área sembrada de 590.188 hectáreas y una producción de 1,56 millones de toneladas en el 2020 [62], y que cuenta con instituciones sólidas como Fedepalma.

El aceite de palma se obtiene del mesocarpio del fruto de la palma africana *Elaeis guineensis* Jacq a través de procedimientos mecánicos [63]. Este aceite tiene diversas aplicaciones industriales que van desde alimentos hasta la producción de pinturas, jabones, detergentes; en los últimos años ha tomado fuerza su uso en la producción de biocombustibles, principalmente biodiesel [64].

En las tablas 6 y 7 se presentan las propiedades más relevantes para el estudio del aceite de palma crudo y refinado, expuestas por C.I. Biocosta S.A., una compañía comercializadora internacional de aceite ubicada en los departamentos de Magdalena y Cesar, la cual posee una participación del 50% de la producción en la Zona Norte de Colombia [65].

### 2.2.1 Especificaciones técnicas del aceite crudo de palma

Como se observa en la tabla 6, el aceite crudo de palma tiene un porcentaje máximo de humedad y volátiles del 0,4%, siendo un porcentaje bajo no representa un cambio significativo en las características del producto final. Otra propiedad influyente en el proceso es el punto de fusión ya que el alto porcentaje de ácidos grasos saturados [66] genera que, a la temperatura ambiente de la ciudad de Bogotá, este se encuentre en estado semisólido, siendo necesario hacer un calentamiento previo para hacer uso de este en estado líquido. Finalmente, la densidad permite realizar el dimensionamiento de los equipos donde será usado.

**Tabla 6.**

*Especificaciones técnicas del aceite crudo de palma*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Humedad & Volátiles %	0,4 máximo
Impurezas insolubles %	0,1 máximo
Punto de fusión °C	34 - 40
Densidad (40 °C)	0,8965 g/cm <sup>3</sup>

*Nota.* La tabla presenta las principales propiedades del aceite crudo de palma presentadas en la ficha técnica de la empresa C.I. Biocosta S.A. Tomado de: C.I. Biocosta S.A., “Ficha Técnica Aceite Crudo de Palma,” Santa Marta, Colombia., 2015. [En línea]. Disponible: <https://cibiocosta.com/images/products/aceiteCrudoPalma.pdf>.

### 2.2.2 Especificaciones técnicas del aceite refinado de palma

En la tabla 7 se puede apreciar que, al igual que el aceite crudo de palma el porcentaje de humedad y volátiles posee un valor bajo que no representa un cambio significativo en las propiedades del producto final. El contenido de sólidos grasos fue determinado mediante la técnica Resonancia Magnética Nuclear, y como se observa, a medida que aumenta la temperatura, este porcentaje disminuye, siendo esta una propiedad relevante para su manejo.

**Tabla 7.***Especificaciones técnicas del aceite refinado de palma*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Humedad & Volátiles % m/m	0,02 máximo
Punto de fusión capilar °C	36 - 39
Contenido sólidos grasos x NMR %	a 10 °C 50 – 54
	a 20 °C 24 – 28
	a 30 °C 8 – 10
	a 35 °C 4 – 6

*Nota.* La tabla presenta las principales propiedades del aceite refinado de palma presentadas en la ficha técnica de la empresa C.I. Biocosta S.A. Tomado de: C.I. Biocosta S.A., “Ficha Técnica Aceite de Palma RBD,” Santa Marta, Colombia., 2015. [En línea]. Disponible: <https://cibiocosta.com/images/products/aceitePalmaRBD.pdf>

### **2.2.3 Selección del aglomerante**

El aglomerante a utilizar en el proceso es el aceite crudo de palma, ya que las propiedades evaluadas no presentan una diferencia significativa que afecte el proceso o las características finales de los pellets. Igualmente, este aceite tiene un precio más bajo debido al proceso que debe hacerse para su refinación.

Otra ventaja del aceite crudo de palma es su valor de poder calorífico superior, ya que en las fuentes bibliográficas consultadas se reporta que este tiene un aproximado de 39,19 MJ/kg [26], lo cual representa un beneficio en el producto final y en el uso de este como biocombustible.

Por último, se resalta que alrededor del 55% del aceite de palma producido en Colombia está destinado para su venta local, siendo las industrias tradicionales y de biodiesel, quienes tienen la mayor participación en el mercado [62]. Esto resalta la posibilidad de utilizar este aceite como aglomerante sin poner en riesgo la seguridad alimentaria, pues actualmente en el país se destina una parte considerable de aceite para la producción de biocombustibles.

### **3. DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE PELETIZACIÓN DE LA BORRA DE CAFÉ**

El diseño conceptual que se presenta a continuación incluye una descripción del proceso de fabricación de pellets de borra de café, las especificaciones y condiciones de operación del proceso, los diagramas BFD y PFD, el balance de masa por etapas y la selección de equipos. Por último, se realiza una aproximación a las características del producto final.

#### **3.1 Capacidad de producción**

La capacidad de producción planteada de la planta piloto para realizar la propuesta técnico financiera será 10 toneladas mensuales de producto terminado, para ello se deben procesar alrededor de 27 toneladas de borra de café húmeda. Con 22 días de operación al mes y un turno diario de 8 horas, se tendrá una producción de 56,818 kg/h de pellets por cada 141,631 kg/h de borra.

Por la disponibilidad de materia prima, mercado objetivo, mano de obra y servicios públicos, la planta piloto estará localizada en la ciudad de Bogotá, ciudad que cuenta con una temperatura promedio de 16°C y presión de 74,76 kPa.

La producción estará destinada para uso doméstico e industrial, enfocada principalmente en empresas que puedan utilizar este biocombustible como fuente de energía para el funcionamiento de hornos y calderas presentes en sus instalaciones.

#### **3.2 Etapas del proceso**

##### ***3.2.1 Almacenamiento de materias primas***

La borra de café húmeda tendrá tiempos de almacenamiento cortos en silos, con el propósito de evitar la proliferación de microorganismos; de lo contrario sería necesario utilizar recipientes herméticos, preferiblemente en refrigeradores que mantengan una temperatura entre 3 a 5 °C [67], [68]. Se tendrá capacidad de almacenamiento para una semana de producción, lo cual corresponde a aproximadamente 6 toneladas de borra.

Por su parte, para el almacenamiento del aceite crudo de palma se hará uso de un tanque de acero inoxidable debido a las ventajas que ofrece (resistencia a la corrosión, duradero, entre otras). El aceite es semisólido a temperatura ambiente, de manera que será calentado antes de su uso en la etapa de mezclado.

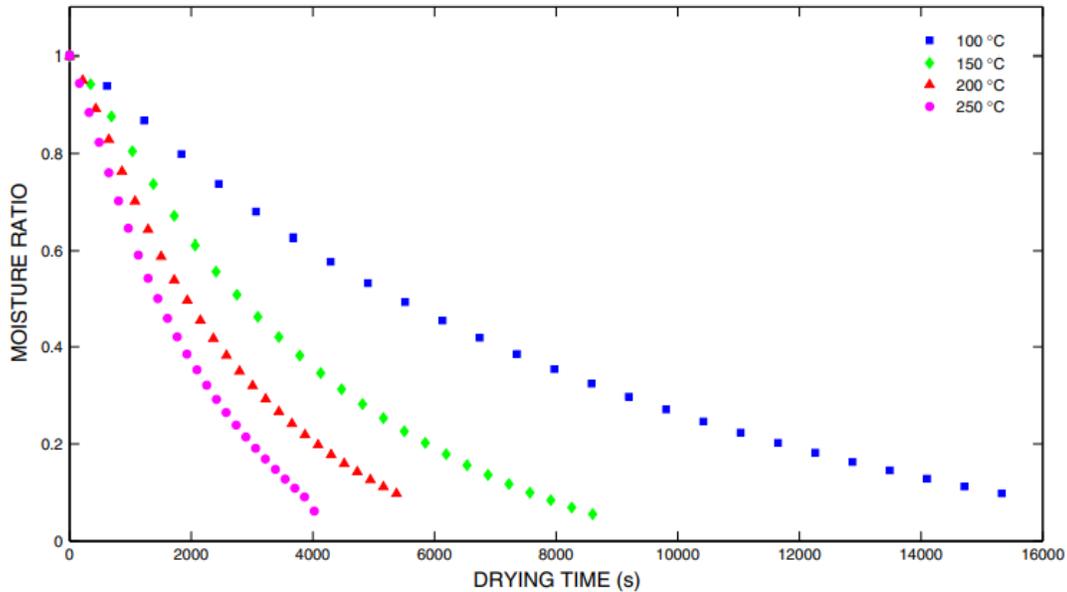
### **3.2.2 *Secado***

La borra de café posee un porcentaje de humedad inicial cercano al 65%, por lo cual se debe llevar a cabo una etapa inicial de secado que permita obtener un porcentaje apropiado de humedad para llevar a cabo la elaboración de los pellets, este debe ser cercano al 8-12% [26]. Se resalta la importancia del secado ya que además de disminuir la humedad, evita la propagación de microorganismos, disminuye la densidad de la borra y mejora el proceso de peletización evitando un exceso en la presión y un tiempo de compresión prolongados [50]. Para esta etapa se hará uso de un secador rotario, pues ha demostrado ser el más rentable para remover grandes volúmenes de agua de la biomasa y tiene bajos costos de mantenimiento [53].

Es importante tener en cuenta la temperatura a la que se va a llevar a cabo este secado, debido a que puede ocurrir la autoignición de la biomasa en temperaturas superiores a 260-280 °C [69]. Fernando Gómez et al. presentan en su estudio que en las pruebas realizadas a 250°C se presentó el fenómeno de combustión y que antes que ocurriera la reacción química, se detuvieron las pruebas de secado; sin embargo, momentos antes de que ocurriera este fenómeno se apreció la pérdida de volátiles; mientras que, para temperaturas iguales o inferiores a 200°C no se presentaron pérdidas independientemente del contenido de humedad [53]. Tomando como referencia los resultados presentados por Gómez, en especial la curva de secado a 100 °C para el espesor de 20 mm (figura 7), se espera que el tiempo de secado tenga un valor aproximado de 4.5 horas para cumplir con el objetivo de planteado (proporción de humedad 0,1).

**Figura 7.**

*Curvas de secado borra de café*



*Nota.* La figura presenta las curvas de secado a diferentes temperaturas con velocidad del aire constante,  $v=1\text{m/s}$ ,  $L=20\text{mm}$ . Tomado de: F. J. Gómez-De La Cruz, F. Cruz-Peragón, P. J. Casanova-Peláez, and J. M. Palomar-Carnicero, “A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 130, no. C, pp. 188–196, 2015, doi: 10.1016/j.fuproc.2014.10.012

### 3.2.3 Mezclado

La naturaleza granular de la borra de café requiere una optimización de la mezcla a introducir en la peletizadora [7], por lo que, es necesario realizar una etapa previa de mezclado en la que se homogeneizarán la borra de café y el aglomerante, esto puede llevarse a cabo en un recipiente donde mediante el amasado se obtenga una textura adecuada [39]. Para el proceso planteado, el porcentaje de biomasa (borra de café) y aglomerante (aceite crudo de palma) a utilizar será de 95% y 5%, respectivamente, al ser la relación con mejores resultados en el trabajo de maestría presentado por A. Vargas titulado “Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café” [26].

### 3.2.4 Peletización

La peletización se lleva a cabo en una máquina peletizadora o extrusora, donde se aplica presión para alimentar la biomasa a través de agujeros en una matriz metálica; como consecuencia del

aumento en la presión y la fricción, la borra de café también aumenta de temperatura, la cual influye en el ablandamiento de la lignina, que ayuda a la formación del pellet [26].

Este proceso permite obtener un biocombustible sólido fácil de manejar con tamaño y consistencia adecuadas para emplearse en calderas [48].

### **3.2.5 *Enfriamiento***

Los pellets resultantes de la etapa anterior tienen una temperatura elevada como consecuencia de las especificaciones del proceso y de la fricción térmica generada en la peletizadora (algunos estudios reportan que se pueden alcanzar temperaturas cercanas a los 90°C [48]); razón por la cual es necesario incluir una etapa de enfriamiento que permita disminuir la temperatura y a su vez, estabilizar los pellets para que continúen en las siguientes etapas del proceso sin presentar cambios en su forma [49].

### **3.2.6 *Tamizado***

Para separar los pellets de la borra de café no peletizada se plantea una etapa de tamizado que permita tener un producto homogéneo, evitando así posibles dificultades asociadas con el manejo y traslado del producto final [49].

### **3.2.7 *Almacenamiento y ensacado***

Una vez se han completado las etapas mencionadas anteriormente, los pellets están listos para ser ensacados (de acuerdo con la presentación) o almacenados como producto terminado en silos, para su posterior distribución.

## **3.3 Diagrama de bloques (BFD)**

La figura 8 corresponde al diagrama de bloques, en el cual se presenta la información más relevante del proceso para peletizar la borra de café utilizando aceite crudo de palma como aglomerante.

La borra de café húmeda ingresa al proceso con una temperatura estimada de 20 °C, 4°C por encima de la temperatura ambiente de la ciudad de Bogotá debido al calor que se genera por el funcionamiento de los equipos en la bodega. La borra ingresa a la etapa de secado donde se busca reducir el contenido de humedad a un 10% (base húmeda), siendo necesario un flujo de aire de 3900,1 kg/h a 100°C para lograrlo.

La borra seca sale de la etapa de secado a una temperatura de 40 °C, que fue establecida tomando como referencia el artículo de Carlos Orozco y Fernando Bedoya donde el  $\Delta T$  que sufre la masa de café es de 20 °C [70]. El  $\Delta T$  del flujo de aire se estimó a partir del trabajo realizado por Valeriano Torres, quien tuvo un  $\Delta T$  de 30 °C para disminuir el porcentaje de humedad del café húmedo desde 50% hasta 18% [48]

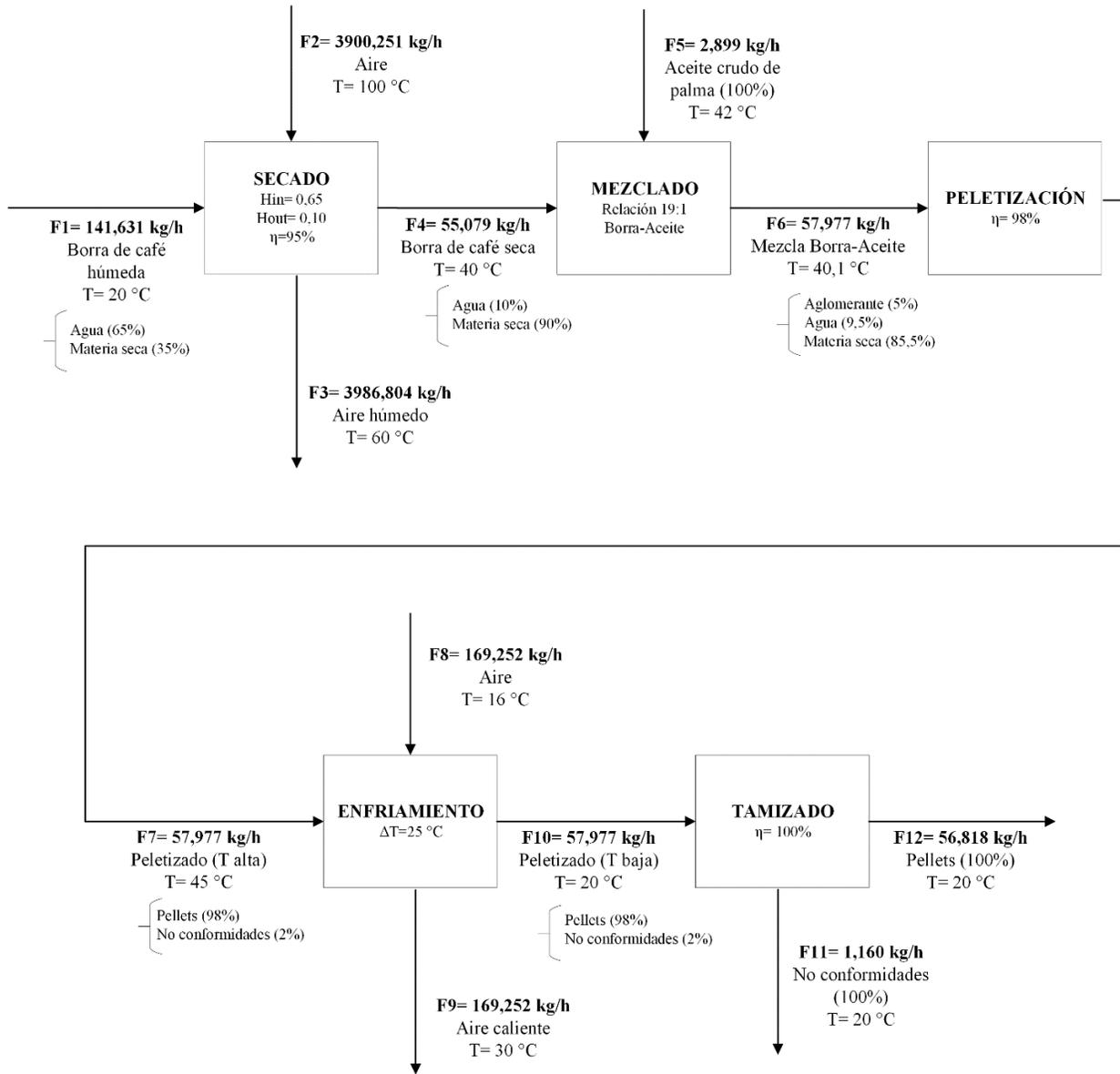
La corriente de borra seca se mezcla con el aceite crudo de palma en la etapa de mezclado. El aceite ingresa a 42°C, 2°C por encima de su punto de fusión de manera que este se encuentre en estado líquido y facilite su homogenización con la borra. Teniendo en cuenta la relación borra-aceite, se estima que la mezcla salga de esta etapa con una temperatura de 40,1 °C y luego pase a la etapa de peletización, en donde se le dará la forma pellets.

Como consecuencia de la fricción térmica que ocurre en la máquina, los pellets saldrán con una temperatura de 45°C, por lo que se incluye una etapa de enfriamiento con el fin de disminuir su temperatura hasta 20 °C haciendo uso de una corriente de aire de 169,252 kg/h a 16 °C. Por último, para separar los pellets de las no conformidades (pellets rotos y borra no peletizada) se hace una etapa de tamizado que tiene una eficiencia del 100%.

Las primeras dos etapas del proceso (secado y mezclado) serán por lotes e incluye el cargue y descargue de los equipos por parte de los operarios, mientras que desde la etapa de peletización en adelante será un proceso continuo.

**Figura 8.**

*Diagrama de bloques (BFD)*



**Nota.** La figura presenta el diagrama de bloques (BFD) correspondiente al proceso de peletización de borra de café.

### 3.4 Balance de masa por etapas

El siguiente balance de masa no considera acumulación en los equipos, ni pérdidas de masa por evaporación en la etapa de peletización, suponiendo así un estado ideal del proceso. Adicionalmente, al ser un proceso mecánico no se generan pérdidas significativas.

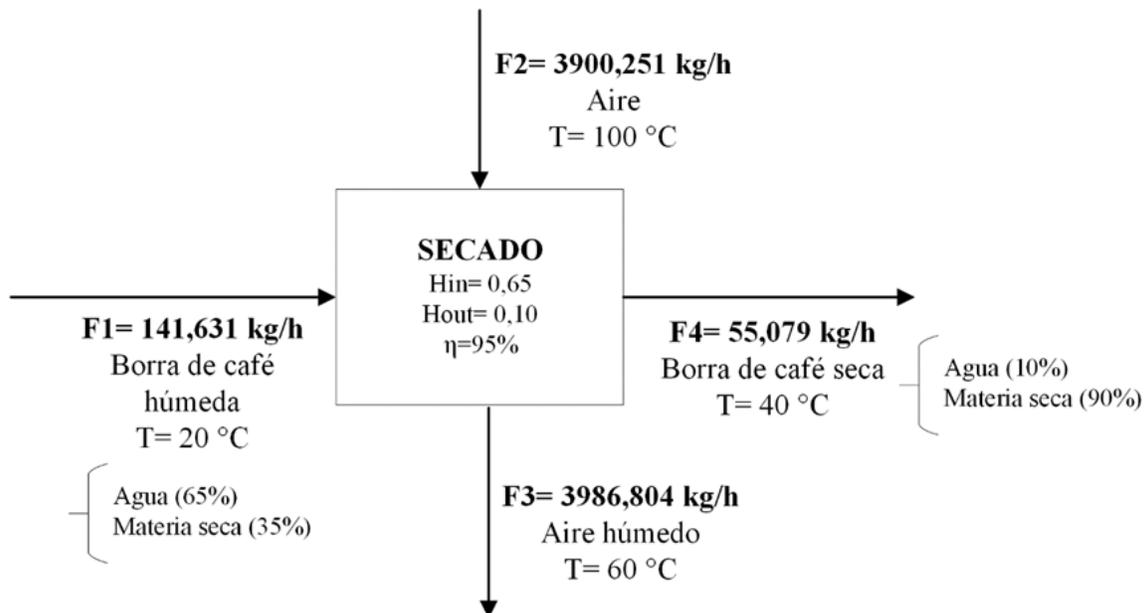
Esta suposición se tiene en cuenta para la selección de equipos y su respectivo dimensionamiento, pues los flujos ideales serán ligeramente mayores a los flujos reales y no se tendrán problemas asociados a una variación en el % de pérdidas.

#### 3.4.1 Secado

A la etapa de secado ingresan 141,631 kg/h de borra de café con un porcentaje de humedad aproximado del 65%, tomando como referencia el reporte de los distintos autores (Tabla 1). Con el objetivo de disminuir la humedad de la borra de café a un porcentaje de 10%, se usará un flujo de aire de 3900,251 kg/h.

**Figura 9.**

*Esquema balance de masa secado*



*Nota.* La figura muestra el esquema del balance de masa en la etapa de secado.

**Tabla 8.**

*Balance de masa secado*

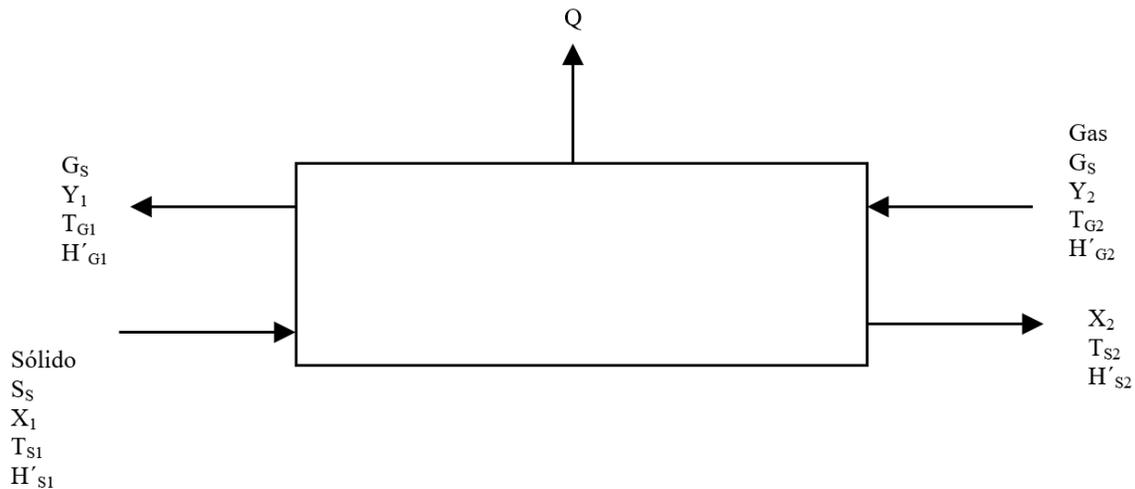
	ENTRADA		SALIDA	
	F1 (kg/h)	F2 (kg/h)	F3 (kg/h)	F4 (kg/h)
Aire	0,000	3900,251	0,000	0,000
Aire húmedo	0,000	0,000	3986,804	0,000
Agua	92,060	0,000	0,000	5,508
Materia seca	49,571	0,000	0,000	49,571
<b>TOTAL</b>	<b>141,631</b>	<b>3900,251</b>	<b>3986,804</b>	<b>55,079</b>

*Nota.* Esta tabla presenta el balance de masa de la etapa de secado.

El flujo de aire fue calculado a partir de la transferencia de calor que se genera entre las dos corrientes de entrada, teniendo presente las propiedades termodinámicas, la eficiencia del proceso y la estimación de las condiciones de salida, como se muestra a continuación:

**Figura 10.**

*Balance de masa y energía del secador*



*Nota.* La figura presenta el balance de masa y energía para la etapa de secado. Tomado de: R. Treybal. (1980). Mass transfer operations. [En línea]. Disponible: [https://www.academia.edu/31240497/Mass\\_Transfer\\_Operations\\_Robert\\_Treybal](https://www.academia.edu/31240497/Mass_Transfer_Operations_Robert_Treybal)

Balance de masa para el contenido de humedad

**Ecuación 1.**

$$X_1 S_S + Y_2 G_S = X_2 S_S + Y_1 G_S$$

$$S_S(X_1 - X_2) = G_S(Y_1 - Y_2)$$

Balance de energía

**Ecuación 2.**

$$G_S H'_{G2} + S_S H'_{S1} = G_S H'_{G1} + S_S H'_{S2} + Q$$

Donde:

$Q = 0$  por operación adiabática.

$$H'_{G2} = C_S(T_{G2} - T^0) + Y_2 \lambda$$

$$H'_{G1} = C_S(T_{G1} - T^0) + Y_1 \lambda$$

$$H'_{S1} = C p_S(T_{S1} - T^0) + X_1 C p_a(T_{S1} - T^0)$$

$$H'_{S2} = C p_S(T_{S2} - T^0) + X_2 C p_a(T_{S2} - T^0)$$

Para calcular el flujo de aire se inicia calculando la humedad en base seca de entrada y salida de la borra de café:

$$X_1 = \frac{65\%}{100\% - 65\%} = 1,857$$

$$X_2 = \frac{10\%}{100\% - 10\%} = 0,111$$

Para una temperatura de 20°C (temperatura ambiente establecida) y un porcentaje de humedad del 80% (promedio para la ciudad de Bogotá), la humedad del aire disponible es de 0,0125 kg agua/kg aire seco =  $Y_2$  (este valor fue tomado de la gráfica de humedad para mezclas de aire y vapor de agua del libro de R. Treybal [71]).

Tomando como temperatura de referencia  $T^0 = 0$  °C y que la borra de café tiene una capacidad calorífica de 1,356 kJ/kg °C [48], se presenta el cálculo de las entalpías:

- Entalpia del aire que ingresa:

$$H'_{G2} = C_S(T_{G2} - T^0) + Y_2\lambda$$

$$H'_{G2} = \left[ 1,005 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} + 1,88 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} (0,0125) \right] (100^\circ C - 0^\circ C) + (0,0125) \left( 2501 \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$H'_{G2} = 134,113 \frac{kJ}{kg}$$

- Entalpia del aire que sale:

$$H'_{G1} = C_S(T_{G1} - T^0) + Y_1\lambda$$

$$H'_{G1} = \left[ 1,005 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} + 1,88 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} (Y_1) \right] (60^\circ C - 0^\circ C) + (Y_1) \left( 2501 \frac{kJ}{kg} \right)$$

$$H'_{G2} = \left( 2613,8 \frac{kJ}{kg} \right) (Y_1) + 60,3 \frac{kJ}{kg}$$

$$H'_{G2} = (2613,8)(Y_1) + 60,3$$

- Entalpia de la borra de café húmeda:

$$H'_{S1} = Cp_S(T_{S1} - T^0) + X_1 Cp_a(T_{S1} - T^0)$$

$$H'_{S1} = \left( 1,356 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right) (20^\circ C - 0^\circ C) + (1,857) \left( 4,187 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right) (20^\circ C - 0^\circ C)$$

$$H'_{S1} = 182,637 \frac{kJ}{kg}$$

- Entalpia de la borra de café seca:

$$H'_{S2} = Cp_S(T_{S2} - T^0) + X_2 Cp_a(T_{S2} - T^0)$$

$$H'_{S2} = \left( 1,356 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right) (40^\circ C - 0^\circ C) + (0,111) \left( 4,187 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right) (40^\circ C - 0^\circ C)$$

$$H'_{S2} = 72,848 \frac{kJ}{kg}$$

Se tienen dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$S_S(X_1 - X_2) = G_S(Y_1 - Y_2)$$

$$G_S = \frac{S_S(X_1 - X_2)}{(Y_1 - Y_2)} \quad (1)$$

$$G_S H'_{G2} + S_S H'_{S1} = G_S H'_{G1} + S_S H'_{S2}$$

$$G_S H'_{G2} - G_S H'_{G1} = S_S H'_{S2} - S_S H'_{S1}$$

$$G_S H'_{G2} - G_S H'_{G1} = S_S (H'_{S2} - H'_{S1})$$

$$G_S H'_{G2} - G_S (2613,8 Y_1 + 60,3) = S_S (H'_{S2} - H'_{S1})$$

$$G_S H'_{G2} - 2613,8 G_S Y_1 + 60,3 G_S = S_S (H'_{S2} - H'_{S1})$$

$$(H'_{G2} + 60,3) G_S - 2613,8 G_S Y_1 = S_S (H'_{S2} - H'_{S1}) \quad (2)$$

Al resolver el sistema de ecuaciones se obtienen los siguientes resultados:

$$G_S = 3900,251 \frac{kg}{h}$$

$$Y_1 = 0,0759$$

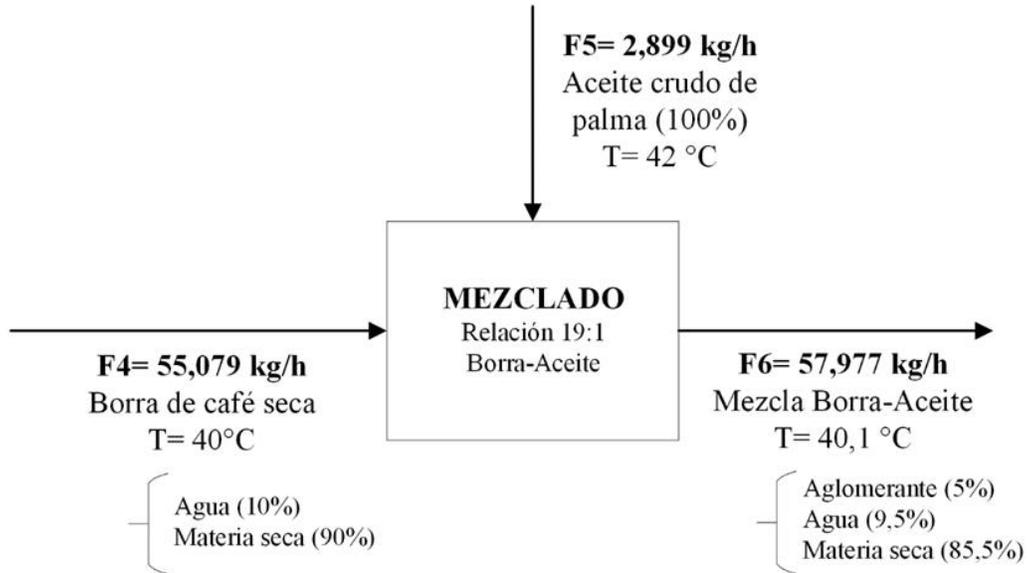
El aire húmedo que sale de la etapa de secado se encuentra a 60°C y tiene una humedad relativa aproximada de 52%; demostrando así que no se tendrán problemas asociados a la condensación del vapor de agua a las condiciones de operación planteadas, pues se tiene un punto de rocío cercano a 47 °C.

### 3.4.2 Mezclado

En la etapa de mezclado, al flujo proveniente de borra seca de la etapa de secado se le adiciona aceite crudo de palma (aglomerante) en una relación aproximada de 19:1. Se agita constantemente hasta obtener una mezcla homogénea.

**Figura 11.**

*Esquema balance de masa mezclado*



*Nota.* La figura muestra el esquema del balance de masa de la etapa de mezclado.

**Tabla 9.**

*Balance de masa mezclado*

	ENTRADA		SALIDA
	F4 (kg/h)	F5 (kg/h)	F6 (kg/h)
Aceite crudo de palma	0,000	2,899	2,899
Agua	5,508	0,000	5,508
Materia seca	49,571	0,000	49,571
<b>TOTAL</b>	<b>55,079</b>	<b>2,899</b>	<b>57,977</b>

*Nota.* Esta tabla presenta el balance de masa de la etapa de mezclado.

### 3.4.3 Peletización

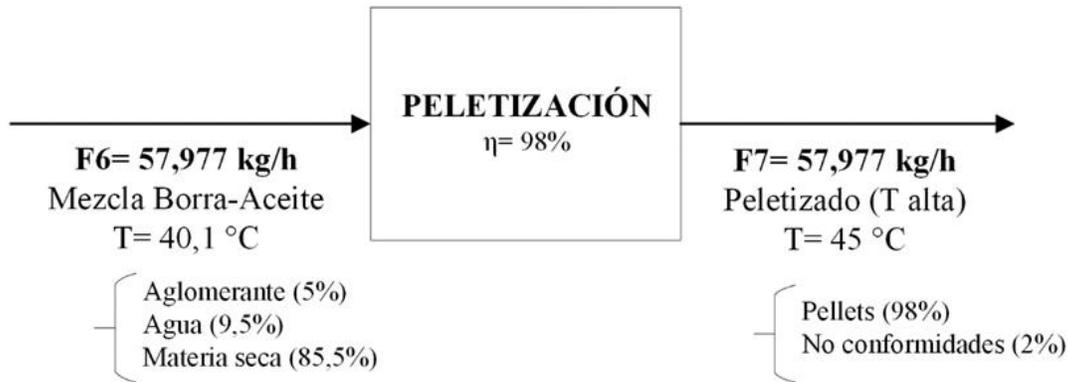
La mezcla borra – aceite ingresa a la peletizadora en donde se le da la forma final, considerando que el 98% de la mezcla se peletiza adecuadamente y el 2% restante corresponde a las no conformidades donde se incluyen los pellets rotos y la borra no peletizada. Este % de no conformidades se estableció tomando como referencia el trabajo de grado de Bereisa Delgado y

Oscar Díaz titulado “Diseño de la ingeniería básica de una planta productora de pellets elaborados a partir de biomasa forestal” [49] y está sujeto a una confirmación siguiendo un método experimental en futuras investigaciones.

El ligero aumento de temperatura en esta etapa puede provocar pérdidas de agua por evaporación en pequeña proporción, sin embargo, estas pérdidas no se tuvieron en cuenta para los cálculos realizados en el balance de masa ya que no afectan la selección y dimensionamiento de equipos de manera significativa.

**Figura 12.**

*Esquema balance de masa peletización*



*Nota.* La figura muestra el esquema del balance de masa de la etapa de peletización.

**Tabla 10.**

*Balance de masa peletización*

	<b>ENTRADA</b>	<b>SALIDA</b>
	<b>F6 (kg/h)</b>	<b>F7 (kg/h)</b>
Aceite crudo de palma	2,899	0,000
Agua	5,508	0,000
Materia seca	49,571	0,000
Pellets	0,000	56,818
No conformidades	0,000	1,160
<b>TOTAL</b>	<b>57,977</b>	<b>57,977</b>

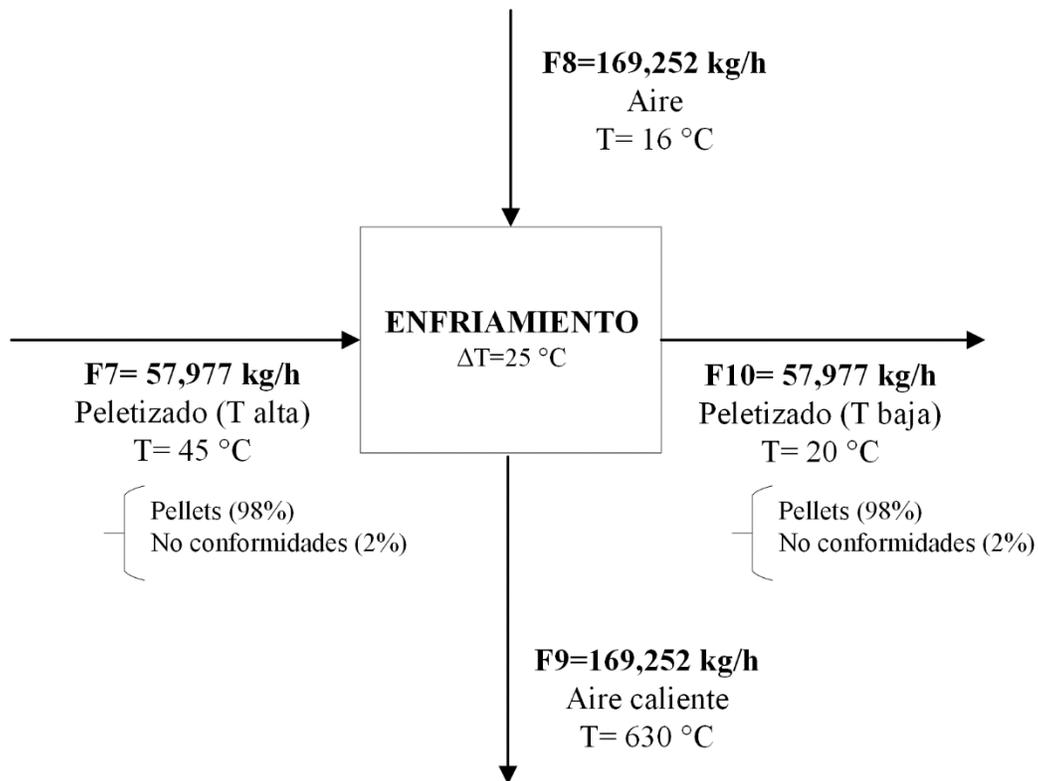
*Nota.* Esta tabla presenta el balance de masa de la etapa de peletización.

### 3.4.4 Enfriamiento

Considerando el aumento de temperatura que se genera en la etapa de peletización, se lleva a cabo el enfriamiento con el propósito de disminuir la temperatura hasta un valor cercano a la temperatura ambiente.

**Figura 13.**

*Esquema balance de masa enfriamiento*



**Nota.** La figura muestra el esquema del balance de masa de la etapa de enfriamiento.

**Tabla 11.***Balance de masa enfriamiento*

	ENTRADA		SALIDA	
	F7 (kg/h)	F8 (kg/h)	F9 (kg/h)	F10 (kg/h)
Pellets	56,818	0,000	0,000	56,818
No conformidades	1,160	0,000	0,000	1,160
Aire	0,000	169,252	0,000	0,000
Aire caliente	0,000	0,000	169,252	0,000
<b>TOTAL</b>	<b>57,977</b>	<b>169,252</b>	<b>169,252</b>	<b>57,977</b>

*Nota.* Esta tabla presenta el balance de masa de la etapa de peletización.

El cálculo del flujo de aire requerido para el enfriamiento de los pellets se realizó a partir de la estimación de las temperaturas de salida y la transferencia de calor entre las corrientes, como se detalla en seguida:

**Tabla 12.***Capacidad calorífica para el proceso de enfriamiento*

	Cp (kJ/kg K)
Agua	4,182 [48]
Borra de café	1,356 [48]
Aceite crudo de palma	1,955 [72]
Aire	1,012 [48]

*Nota.* La tabla presenta la capacidad calorífica del agua, la borra de café, el aceite crudo de palma y el aire.

El calor cedido por los pellets  $\dot{Q}_p$  es igual al calor ganado por la corriente de aire  $\dot{Q}_a$ :

**Ecuación 3.**

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_a$$

Inicialmente se hallar el calor emitido por los pellets, considerando que el flujo de pellets a enfriar es de 57,977 kg/h, la temperatura de entrada es de 45 °C y la de salida de 20 °C:

#### Ecuación 4.

$$\dot{Q}_p = m_p * C_{p_p} * \Delta T_p$$

$$\dot{Q}_p = \left( 57,977 \frac{kg}{h} \right) \left( 1,654 \frac{kJ}{kg K} \right) (318,15 K - 293,15K)$$

$$\dot{Q}_p = 2397,961 \frac{kJ}{h}$$

Asumiendo que el calor absorbido por el aire es igual al calor cedido emitido por los pellets se puede determinar el flujo de aire:

$$\dot{Q}_a = m_a * C_{p_a} * \Delta T_a$$

$$m_a = \left( \frac{Q_a}{C_{p_a} * \Delta T_a} \right)$$

$$m_a = \left( \frac{2397,961 \frac{kJ}{h}}{1,012 \frac{kJ}{kg K} * (303,15 K - 289,15K)} \right)$$

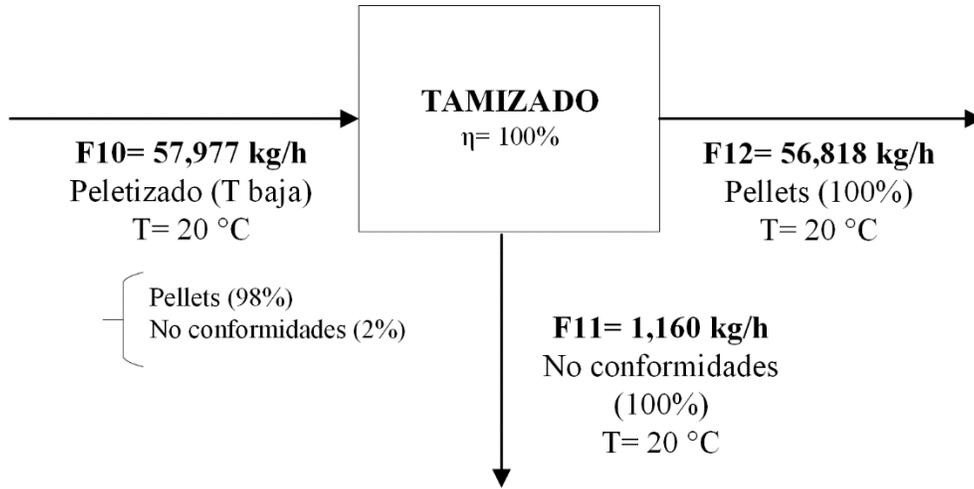
$$m_a = 169,252 \frac{kg}{h}$$

#### 3.4.5 Tamizado

Con el fin de separar las no conformidades del producto final (pellets), se realiza un tamizado a la corriente 10 proveniente de la etapa de enfriamiento. Se considero una eficiencia del 100% en esta etapa del proceso.

**Figura 14.**

*Esquema balance de masa tamizado*



*Nota.* La figura muestra el esquema del balance de masa de la etapa de tamizado.

**Tabla 13.**

*Balance de masa tamizado*

	ENTRADA		SALIDA	
	F10 (kg/h)	F11 (kg/h)	F12 (kg/h)	
Pellets	56,818	0,000	56,818	
No conformidades	1,160	1,160	0,000	
<b>TOTAL</b>	<b>57,977</b>	<b>1,160</b>	<b>56,818</b>	

*Nota.* Esta tabla presenta el balance de masa de la etapa de tamizado.

Las no conformidades que salen en la corriente 11 pueden ser recirculadas nuevamente a la etapa de mezclado, evitando así la pérdida de recursos asociada al desperdicio de materia prima y generación de residuos.

### 3.5 Selección de equipos

Cada uno de los equipos enlistados en esta sección fue seleccionado de manera que cumpla con la capacidad de producción planteada en el balance de masa, además se realizó un dimensionamiento teórico aproximado de los equipos más relevantes del proceso.

En el Anexo 1 se presenta con mayor detalle las especificaciones de cada equipo.

- DE-101 Secador de tambor rotativo.

Este secador de tambor rotatorio elegido es adecuado para materiales granulados y es ideal para secar materiales con un contenido de humedad <90% hasta un 8-12%, ajustándose así a los requerimientos del proceso planteado ( $H_{in}=65\%$ ,  $H_{out}=10\%$ ). Utiliza un método para minimizar el riesgo de explosión por combustión interna, garantizando la calidad del producto y producción segura [73]. Adicionalmente incluye un sistema de calefacción que permite usar los pellets producidos en la planta como fuente de energía y tiene las siguientes especificaciones:

Marca: SHANQIAO, Modelo:  $\Phi 0.6 \times 0.8$ , Potencia: 3 kW, Dimensiones:  $\Phi 600 \times 8000$  mm.

Tomando como referencia el documento “Secadores rotatorios” [74] se calculó el tiempo de residencia de la borra de café en el secador con la ecuación:

#### Ecuación 5.

$$t = \frac{H}{S}$$

Donde

T = tiempo de residencia

H = material en el secador y se determina como el producto entre el 7,5% del volumen del secado y la densidad de la borra.

S = velocidad de producción

$$t = \frac{0,075 * V * \rho}{S} = \frac{0,075 * (\pi * (0,3 \text{ m})^2 * 8 \text{ m}) * 898,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{55,079 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}$$

$$t = 2,78 \text{ h}$$

**Figura 15.**

*Secador de tambor rotativo*



*Nota.* Esta figura representa el secador de tambor rotativo DE-101. Tomado de: Alibaba. Low temperature Rotary Drum Dryer coconut bran dryer. [https://www.alibaba.com/product-detail/Low-temperature-Rotary-Drum-Dryer-coconut\\_62321815392.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Low-temperature-Rotary-Drum-Dryer-coconut_62321815392.html)

- M-101 Mezclador.

Se cargarán dos lotes diarios en el mezclador, pese a esto el cálculo del volumen de este equipo corresponderá al requerido para un día de producción, de esta manera se facilita la homogenización de la borra con el aceite.

**Ecuación 6.**

$$v_{Total} = v_{Borra} + v_{Aceite}$$

Se requiere mezclar 440,629 kg de borra seca y 23,191 kg de aceite.

$$v_{Borra} = \frac{440,629 \text{ kg}}{835,46 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} *} = 0,527 \text{ m}^3$$

\*Densidad de la borra seca según V. Torres [48].

$$v_{Aceite} = \frac{23,191 \text{ kg}}{896,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,026 \text{ m}^3$$

$$v_{Total} = 0,527 \text{ m}^3 + 0,026 \text{ m}^3 = 0,553 \text{ m}^3$$

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes para determinar el diámetro y la altura del tanque de mezclado estándar:

**Ecuación 7.**

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * v_{Total \text{ M\u00ednimo}}}{2\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 0,553 \text{ m}^3}{2\pi}}$$

$$D = 0,706 \text{ m}$$

Relación entre el diámetro y altura del tanque:

**Ecuación 8.**

$$\frac{H}{D} = 2$$

$$H = 2 * D = 2 * 0,706 \text{ m}$$

$$H = 1,412 \text{ m}$$

De esta manera las medidas estándar que se deben considerar para el tanque son el diámetro con un valor de 0,706 m y la altura con un valor de 1,412 m. Considerando que un lote para mezcla necesita de un volumen mínimo de 0,277 m<sup>3</sup>, al calcular el volumen necesario para un día de producción se da un sobredimensionamiento aproximado del 50% que permite evitar derrames o pérdidas de contenido en el momento de llevar a cabo el mezclado.

Se escogió el tanque de mezcla de acero inoxidable con de la marca Farfly, con un volumen máximo de 500 L.

**Figura 16.**

*Tanque mezclador*



*Nota.* Esta figura presenta el tanque mezclador M-101. Tomado de: Alibaba. China Farfly Tank High Capacity Heavy Duty Stainless Steel Mixing Tank. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/china-farfly-tank-high-capacity-heavy-duty-stainless-steel-mixing-tank-60714355694.html>

- L-101 Peletizadora

Esta peletizadora es usada principalmente para procesar biomasa y trabaja con un contenido de humedad entre 12-16%. Tiene un diseño vertical que le permite usar la gravedad como la principal fuerza para la alimentación del material a través de la máquina [75].

El volumen del recipiente para el sistema de alimentación de la peletizadora para un día de producción está dado por la siguiente ecuación:

**Ecuación 9.**

$$\text{Volumen del recipiente} = \frac{\text{Masa de borra – aceite a peletizar diaria}}{\text{Densidad de la mezcla borra – aceite}}$$

$$V = \frac{463,82 \text{ kg}}{838,55 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0,553 \text{ m}^3$$

Se requiere procesar alrededor de 58 kg/h de borra de café para cumplir con la capacidad de producción y el modelo escogido cuenta con una capacidad de 80 kg/h, de modo que se tendría la capacidad de aumentar la producción en un 34%.

Marca: Hongke - Modelo: 125 – Potencia: 3-4 kW.

**Figura 17.**

*Peletizadora*



*Nota.* Esta figura representa la peletizadora L-101. Tomado de: Alibaba. Model125-400 Sawdust Pelletizer in Chile Pellet Machine Wood Pellets Biomass Machine. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/model125-400-sawdust-pelletizer-in-chile-pellet-machine-wood-pellets-biomass-machine-1600145283900.html>

- E-102 Enfriador de Pellets.

Esta máquina de refrigeración trabaja a contraflujo y es ideal para los diferentes tipos de pellets, resaltando que los mismos pellets producidos se pueden usar como combustible para su funcionamiento. Se ajusta a las distintas capacidades de producción y entrega los pellets a una temperatura de 3 a 5 grados inferior a la temperatura ambiente [76].

Marca: LEABON - Modelo: SKLN-0,6 - Dimensiones: 1080 x 800 x 2400 mm - Potencia: 3 kW.

**Figura 18.**

*Enfriadora de pellets*



**Nota.** Esta figura representa la enfriadora de pellets E-101. Tomado de: Alibaba. LEABON animal feed pellet cooler with vibrating screen. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/leabon-animal-feed-pellet-cooler-with-vibrating-screen-60284403557.html>

- F-101 Tamiz vibratorio.

Este equipo cuenta con un sistema de vibración que hace saltar el material en línea recta y puede tener de 1 a 6 capas, la precisión del tamizado alcanza la malla 400 [77].

Marca: Fuorishing - Modelo: DZSF1020 - Potencia: 2 kW - Dimensiones: 1000 x 2000 mm.

**Figura 19.**

*Tamiz vibratorio*



*Nota.* Esta figura representa el tamiz vibratorio F-101. Tomado de: Alibaba. Multi layer linear vibrating screen powder sieving machine. [https://www.alibaba.com/product-detail/Multi-layer-linear-vibrating-screen-powder\\_62314123244.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Multi-layer-linear-vibrating-screen-powder_62314123244.html)

- TK-101 Silo de almacenamiento.

Se tendrá un silo de almacenamiento con capacidad de almacenar la borra de café húmeda de una semana de producción, lo cual corresponde a 5,665 toneladas. Para el dimensionamiento del silo, se hace el cálculo del volumen mínimo requerido:

**Ecuación 10.**

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{m}{\rho}$$

La densidad de la borra de café húmeda reportada por V. Torres es 898,5 kg/m<sup>3</sup> [48].

$$v = \frac{5665 \text{ kg}}{898,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$v = 6,305 \text{ m}^3$$

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes para determinar el diámetro y la altura estándar del cuerpo del silo de almacenamiento:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * v}{2\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 6,305 \text{ m}^3}{2\pi}}$$

$$D = 1,589 \text{ m}$$

Relación entre el diámetro y altura del tanque:

$$\frac{H}{D} = 2$$

$$H = 2 * D$$

$$H = 2 * 1,589 \text{ m}$$

$$H = 3,178 \text{ m}$$

De esta manera las medidas estándar que se deben considerar para el silo en la parte de su cuerpo son el diámetro con un valor de 1,589 m y la altura con un valor de 3,178 m.

El silo seleccionado cuenta con un volumen de 6,93 m<sup>3</sup>, contando con un 10% más de capacidad a la requerida.

Marca: Hailong - Modelo: HL18302 - Diámetro: 1830 mm - Altura: 5000 mm

## Figura 20.

### Silo de almacenamiento



*Nota.* Esta figura representa el silo de almacenamiento de borra de café TK-101. Tomado de: Alibaba. Automatic silo de almacenamiento grain bins for small farms animal feeder. [https://www.alibaba.com/product-detail/automatic-silo-de-almacenamiento-grain-bins\\_1600232617359.html](https://www.alibaba.com/product-detail/automatic-silo-de-almacenamiento-grain-bins_1600232617359.html)

Se hará uso de tres silos de almacenamiento (Figura 20) para la borra de café húmeda, la borra seca y los pellets finales.

- TK-102 Tanque de almacenamiento.

El tanque de almacenamiento del aceite crudo de palma contará con capacidad para almacenar el aceite requerido en un mes de producción. Siendo necesario un volumen mínimo de:

$$v = \frac{510,202 \text{ kg}}{896,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$v = 0,569 \text{ m}^3 = 569 \text{ L}$$

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes para determinar el diámetro y la altura estándar del tanque de almacenamiento:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 0,569 \text{ m}^3}{2\pi}}$$

$$D = 0,713 \text{ m}$$

Relación entre el diámetro y altura del tanque:

$$H = 2 * D = 2 * 0,713 \text{ m}$$

$$H = 1,426 \text{ m}$$

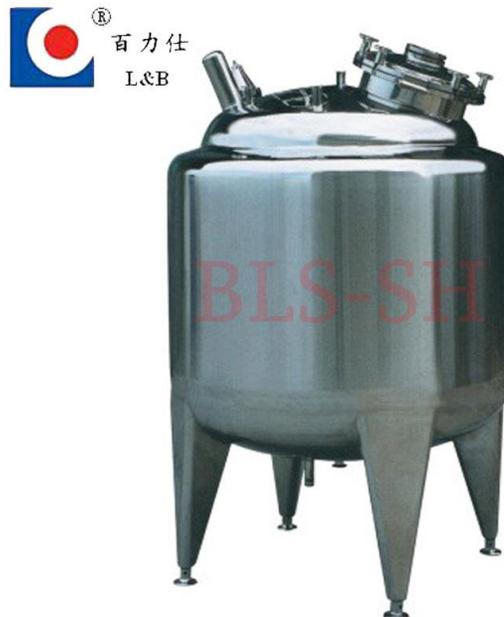
De esta manera las medidas estándar que se deben considerar para el silo en la parte de su cuerpo son el diámetro con un valor de 0,713 m y la altura con un valor de 1,426 m.

Se selecciono un tanque en acero inoxidable con capacidad de 600L.

Marca: BLS- Volumen: 600 L

**Figura 21.**

*Tanque de almacenamiento*



*Nota.* Esta figura representa el tanque de almacenamiento de aceite crudo de palma TK-102. Tomado de: Alibaba. Warehousing tank stainless Steel. [https://www.alibaba.com/product-detail/Warehousing-tank-stainless-steel\\_300002668043.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Warehousing-tank-stainless-steel_300002668043.html)

### 3.6 Condiciones de operación

La tabla 14 muestra las condiciones de operación de cada una de las etapas en el proceso de peletización. Estas condiciones dependen principalmente de la caracterización de las corrientes involucradas en cada etapa, exceptuando la peletización, ya que en esta se hace uso de una fuerza externa que permite compactar la biomasa para que se forme el pellet.

**Tabla 14.**

*Condiciones de operación por etapa*

<b>Etapas</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Presión (kPa)</b>
Secado	100,00	74,76
Mezclado	40,10	74,76
Peletización	45,00	50000,00*
Enfriado	20,00	74,76
Tamizado	20,00	74,76

\*Presión máxima reportada por A. Vargas en su trabajo de maestría [26].

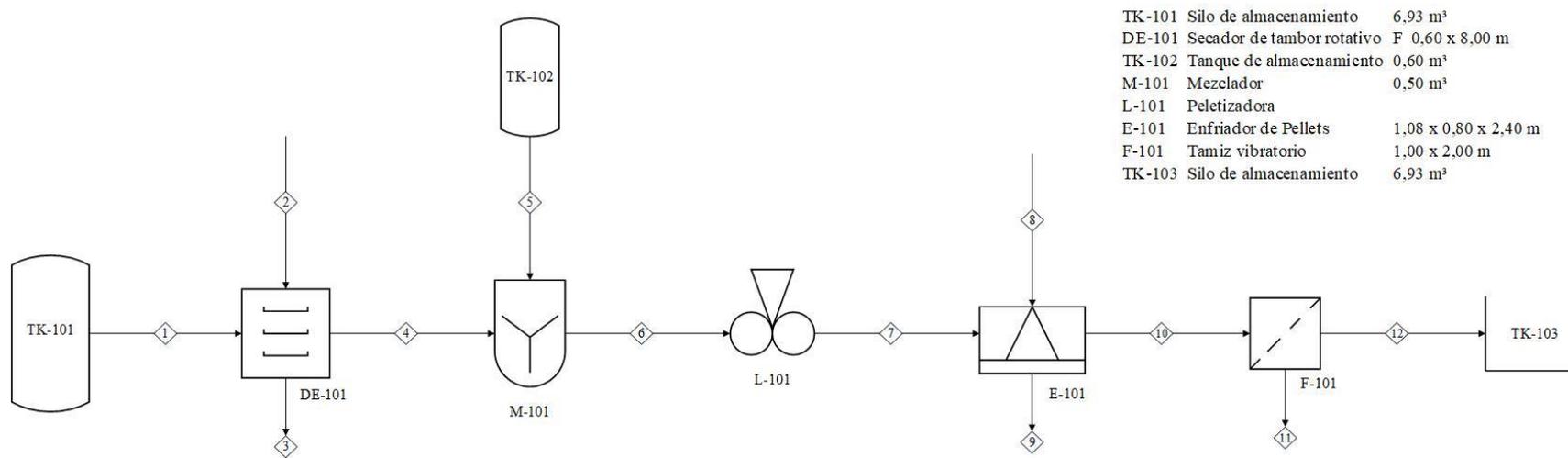
**Nota.** La tabla presenta las condiciones de operación de las etapas del proceso.

### 3.7 Diagrama de flujo de proceso (PFD)

La figura 22 presenta el diagrama de flujo de proceso (PFD) correspondiente al proceso de peletización de borra de café utilizando aceite vegetal como aglomerante, donde se muestra la relación entre los principales equipos de la planta piloto, además se especifica la composición de las corrientes y el dimensionamiento de los equipos.

**Figura 22.**

*Diagrama de flujo de proceso (PFD)*



- TK-101 Silo de almacenamiento 6,93 m<sup>3</sup>
- DE-101 Secador de tambor rotativo F 0,60 x 8,00 m
- TK-102 Tanque de almacenamiento 0,60 m<sup>3</sup>
- M-101 Mezclador 0,50 m<sup>3</sup>
- L-101 Peletizadora
- E-101 Enfriador de Pellets 1,08 x 0,80 x 2,40 m
- F-101 Tamiz vibratorio 1,00 x 2,00 m
- TK-103 Silo de almacenamiento 6,93 m<sup>3</sup>

CORRIENTE	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
Aire (kg/h)	0,000	3900,251	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	169,252	0,000	0,000	0,000	0,000
Aire húmedo (kg/h)	0,000	0,000	3986,804	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Aire caliente (kg/h)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	169,252	0,000	0,000	0,000
Agua (kg/h)	92,060	0,000	0,000	5,508	0,000	5,508	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Matena seca (kg/h)	49,571	0,000	0,000	49,571	0,000	49,571	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Acete crudo de palma (kg/h)	0,000	0,000	0,000	0,000	2,899	2,899	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pellets (kg/h)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	56,818	0,000	0,000	56,818	0,000	56,818
No conformidades (kg/h)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,160	0,000	0,000	1,160	1,160	0,000
<b>TOTAL (kg/h)</b>	<b>141,631</b>	<b>3900,251</b>	<b>3986,804</b>	<b>55,079</b>	<b>2,899</b>	<b>57,977</b>	<b>57,977</b>	<b>169,252</b>	<b>169,252</b>	<b>57,977</b>	<b>1,160</b>	<b>56,818</b>
Temperatura (°C)	20,000	100,000	60,000	40,000	42,000	40,100	45,000	16,000	30,000	20,000	20,000	20,000
Presión (kPa)	74,760	74,760	74,760	74,760	74,760	74,760	74,760	74,760	74,760	74,760	74,760	74,760

*Nota.* La figura muestra el diagrama de flujo de proceso (PFD) de la peletización de borra de café.

### 3.8 Caracterización de los pellets

De acuerdo al proceso planteado y los resultados presentados por A. Vargas en su trabajo de maestría, se presentan las siguientes propiedades como una aproximación a las que tendría el producto final:

**Tabla 15.**

*Propiedades fisicoquímicas de los pellets*

<b>Propiedad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Contenido de humedad	%	7,50
Contenido de cenizas	%	1,06
Poder calorífico superior	MJ/kg	21,32
Dureza	kg	5,80
Resistencia al impacto	%	75,00

*Nota.* La tabla presenta las propiedades fisicoquímicas de los pellets con 5% de aglomerante y 8% de humedad. Tomado de: A. M. Vargas Lazo, “Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café,” Universidad nacional de Colombia, 2018.

## 4. EVALUACIÓN FINANCIERA

Para establecer la viabilidad financiera de la propuesta se determinaron los siguientes indicadores financieros: valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR), periodo de recuperación y relación costo beneficio. Estos indicadores se determinan gracias a los estados financieros, en los que se incluye el plan de inversión, los ingresos, costos y gastos del proyecto.

### 4.1 Plan de inversión

Por un total de \$115.124.194,56, el plan de inversión del proyecto comprende los activos fijos, activos diferidos y el capital de trabajo necesario para iniciar las operaciones de la planta piloto.

#### 4.1.1 Activos fijos

Los activos fijos poseen un valor total de \$41.577.835,00 e incluyen los equipos requeridos para la producción de pellets, al igual que los muebles, enseres y equipos de cómputo y comunicación.

**Tabla 16.**

*Activos Fijos Equipos*

Activo Fijo	Valor Unitario (COP)	Cantidad	Total (COP)
Secador de tambor rotativo [73]	\$ 3.874.875,00	1	\$ 3.874.875,00
Mezclador [78]	\$ 3.015.618,00	1	\$ 3.015.618,00
Peletizadora [75]	\$ 2.261.713,00	1	\$ 2.261.713,00
Enfriador de pellets [76]	\$ 8.104.473,00	1	\$ 8.104.473,00
Tamiz vibratorio [77]	\$ 2.265.676,00	1	\$ 2.265.676,00
Silo de almacenamiento [79]	\$ 1.809.370,00	3	\$ 5.428.110,00
Tanque de almacenamiento [80]	\$ 1.948.869,00	1	\$ 1.948.869,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 26.899.334,00</b>

*Nota.* La tabla presenta los equipos requeridos con su respectivo costo unitario, cantidad y total

La referencia de los equipos seleccionados para el proceso siempre fue la de menor capacidad, por lo que se estableció que el precio de venta correspondía al valor mínimo del rango de precios presentando por la página de Alibaba y que se puede ver con mayor detalle en el Anexo 1.

Se considero que el valor de los equipos presentado en la tabla 16 no incluye los costos de envío ni aranceles, razón por la cual en los activos diferidos se tuvo en cuenta el 30% del valor total de los equipos para este gasto.

**Tabla 17.**

*Activos Fijos Muebles, enseres y equipos de cómputo y comunicación*

Activo Fijo	Valor		
	Unitario (COP)	Cantidad	Total (COP)
Silla de Escritorio Profesional con Brazos Negro [81]	\$ 159.900,00	2	\$ 319.800,00
Escritorio Acre 75x120x45cm Rovere/Blanco [82]	\$ 289.900,00	2	\$ 579.800,00
Computador Portátil LENOVO 14" Pulgadas IdeaPad			
3 Intel Core i3 - 8GB Ram - Disco Duro 1TB – Azul [83]	\$ 1.815.000,00	2	\$ 3.630.000,00
Impresora Multifuncional EPSON L3160 [84]	\$ 899.000,00	1	\$ 899.000,00
Horno Microondas WHIRLPOOL 0.7 WM1807W Blanco [85]	\$ 289.900,00	1	\$ 289.900,00
Ventilador de Torre KALLEY K-TF45 Negro [86]	\$ 209.900,00	2	\$ 419.800,00
Sistema de Video seguridad DVR Alámbrico VTA 1 Tera + 4 Cámaras 1080P [87]	\$ 989.900,00	1	\$ 989.900,00
Celular MOTOROLA G20 128GB VERDE [88]	\$ 749.900,00	2	\$ 1.499.800,00
Dispensador de Agua KALLEY K-WD15KR [89]	\$ 644.900,00	1	\$ 644.900,00
Locker metálico 9 puestos azul de 180x93x30 cm [90]	\$ 719.900,00	1	\$ 719.900,00
Estantería Metal/Madera Sin Tornillos 192x100x50 cm 5 Niveles Gris [91]	\$ 299.900,00	1	\$ 299.900,00
Papelería	\$ 200.000,00	1	\$ 200.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 10.492.700,00</b>

*Nota.* La tabla presenta los muebles, enseres y equipos de cómputo y comunicación con su respectivo costo unitario, cantidad y total.

#### **4.1.2 Activos diferidos**

Los activos diferidos del proyecto, también conocidos como activos intangibles, tendrán un valor de \$21.069.800,20 e incluyen la estimación de los gastos organizacionales, impuestos y transporte

de equipos evaluados con el 30% del valor total de los equipos, instalación y adecuación de equipos, capacitaciones para el personal e imprevistos.

Los gastos organizacionales cubren lo que corresponde a licencias, registros, cámara de comercio, entre otros, necesarios para el funcionamiento y puesta en marcha de la planta piloto.

**Tabla 18.**

*Activos Diferidos*

<b>Activo Diferido</b>	<b>Total (COP)</b>
Gastos organizacionales	\$ 3.000.000,00
Impuestos y transporte de equipos	\$ 8.069.800,20
Instalación y adecuación de equipos	\$ 5.000.000,00
Capacitaciones	\$ 2.000.000,00
Imprevistos	\$ 3.000.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 21.069.800,20</b>

*Nota.* La tabla presenta los activos diferidos del proyecto con su correspondiente valor.

La amortización se hará en cinco cargos anuales por el valor de \$4.213.960,04.

#### **4.1.3 Capital de trabajo**

El capital de trabajo con el que contara la planta piloto para iniciar la producción antes de recibir ingresos fue determinado mediante el método de ciclo productivo, en donde:

**Ecuación 11.**

$$\text{Capital trabajo} = \frac{\text{Costo total anual}}{\text{Días laborados año}} * \text{Días necesarios de capital}$$

El costo total anual posee un valor de \$339.974.162,14 y contempla tanto los costos de producción como los gastos administrativos. Teniendo en cuenta que varios de estos son pagos mensuales, los días laborados año se toman como 360 y se obtiene que, para 60 días se tendrá un capital de trabajo total de \$56.662.360,36.

## 4.2 Costos y gastos

Los costos y gastos que se darán a lo largo del funcionamiento de la planta piloto incluyen la depreciación de activos, costos de producción y los gastos administrativos.

### 4.2.1 Depreciación de activos

La depreciación corresponde a la pérdida de valor que sufren de los activos fijos por su uso o desgaste. Se carga como costo en los diferentes periodos que se beneficien con los ingresos producidos por el mismo [92].

Siguiendo el modelo de depreciación en línea recta (DLR) y la tasa de depreciación fiscal anual estipulada en el Artículo 137 del Decreto 624 de 1989 (Estatuto Tributario) [93], la depreciación para el proyecto se presenta de la siguiente manera:

**Tabla 19.**

*Depreciación de activos*

Activo	Valor Compra (COP)	Tasa de depreciación anual %	Vida útil (Años)	Depreciación Anual (COP)
Maquinaria	\$ 26.899.334,00	10,00%	10	\$ 2.689.933,40
Muebles y enseres	\$ 5.362.900,00	10,00%	10	\$ 536.290,00
Equipo de cómputo y comunicación	\$ 5.129.800,00	20,00%	5	\$ 1.025.960,00

**Nota.** La tabla presenta la depreciación anual de activos fijos dependiendo de su vida útil.

La proyección del proyecto es a 10 años, por lo que los activos fijos contemplados se deprecian en su totalidad y no se tiene valor en libros.

### 4.2.2 Costos de materia prima

Los costos asociados a la materia prima que se tiene en el proceso corresponden a la compra del aglomerante (aceite crudo de palma) y de los empaques para pellets (lonas de fibra resistentes con capacidad de 25 kilos [94]).

El precio del aceite fue tomado de la Resolución 000167 de 2021, en la que se señalan los Precios de Referencia para la liquidación de la Cuota de Fomento de la Agroindustria de la Palma de Aceite para el segundo semestre del 2021 [95]. Para cumplir con la producción anual se requirieron 6123 kg de aceite, no obstante, se hizo un incremento del 10% para posibles imprevistos, necesitando así un total de 6730 kg.

**Tabla 20.**

*Costos de materia prima*

<b>Materia Prima</b>	<b>Valor Unitario (COP)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total Anual (COP)</b>
Aceite Crudo de Palma (kg)	\$ 3.624,00	6730	\$ 24.389.520,00
Empaques de pellets (unidad)	\$ 980,00	4800	\$ 4.704.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 29.093.520,00</b>

*Nota.* La tabla presenta los costos de materia prima para la producción anual.

#### **4.2.3 Costos de producción**

Los costos de producción corresponden a los gastos necesarios inherentes al funcionamiento de la planta piloto [96], por esta razón incluyen los costos de materia prima, la nómina de la mano de obra de producción (dos operarios y un jefe de producción), el 80% del gasto de los servicios de energía eléctrica y agua, el 80% del arriendo de la bodega y el mantenimiento de la maquinaria.

**Tabla 21.***Costos de producción*

<b>Costo</b>	<b>Total Anual (COP)</b>
Materia Prima	\$ 29.093.520,00
Mano de Obra (Operarios y Jefe)	\$ 118.626.685,10
Servicios	\$ 20.028.628,55
Arriendo (80%)	\$ 57.600.000,00
Mantenimiento máquinas	\$ 15.000.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 240.348.833,65</b>

*Nota.* La tabla presenta los costos de producción con su correspondiente valor anual.

Estos valores se explican con mayor detalle en el Anexo 2.

**4.2.4 Gastos administrativos**

Los gastos administrativos son aquellos necesarios para la operación de la empresa, e incluye el salario y prestaciones del asistente administrativo, los servicios (100% de comunicación, 20% restante de energía eléctrica y agua), el 20% restante del arriendo de la bodega y las subcontrataciones de servicios generales y de seguridad y vigilancia.

**Tabla 22.***Gastos administrativos*

<b>Gasto</b>	<b>Total Anual (COP)</b>
Salarios y prestaciones	\$ 24.127.651,35
Servicios	\$ 6.927.157,14
Arriendo (20%)	\$ 14.400.000,00
Servicio General	\$ 18.170.520,00
Seguridad y vigilancia	\$ 36.000.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 99.625.328,49</b>

*Nota.* La tabla presenta los gastos administrativos con su correspondiente valor anual.

Estos valores se explican con mayor detalle en el Anexo 2.

### 4.3 Ingresos

Los ingresos se darán exclusivamente por la venta del producto terminado, es decir, los pellets de borra de café con aceite crudo de palma como aglomerante. El precio de venta por kilogramo de pellets será de \$3.150,00, precio que contempla un margen de ganancia del 10% respecto al costo unitario y se estima de la siguiente manera:

#### **Ecuación 12.**

$$\text{Precio de venta} = \frac{\text{Costo unitario}}{(1 - \text{Margen de ganancia})}$$

El margen de ganancia establecido da un precio de venta competitivo para el sector doméstico pues en Colombia el precio de pellets de madera por kilogramo oscila entre \$8000-\$9000 COP. Para el sector industrial el precio es elevado a comparación de otras alternativas (por ejemplo, el carbón vegetal), no obstante, los pellets de borra de café provienen de un residuo agroindustrial y su uso es una alternativa sostenible que contribuye a la reducción de emisiones de gases contaminantes.

Con una producción anual de 120 Toneladas de pellets (10 Ton/mes), los ingresos anuales ascenderían a \$378.000.000,00.

### 4.4 Financiación

Se tomará un crédito por un valor de \$57.562.097,28, correspondiente al 50% del total de la inversión, con el banco Davivienda, que ofrece este crédito con una tasa de interés del 16,77% efectivo anual [97]. Con cuotas periódicas por constantes el monto de \$17.896.805,68 durante 5 años, se presenta la siguiente tabla de amortización:

**Tabla 23.***Amortización*

<b>Año</b>	<b>Saldo</b>	<b>Intereses</b>	<b>Cuota</b>	<b>Amortización</b>
Año 0	\$ 57.562.097,28	\$-	\$-	\$-
Año 1	\$ 49.318.455,31	\$ 9.653.163,71	\$ 17.896.805,68	\$ 8.243.641,97
Año 2	\$ 39.692.354,58	\$ 8.270.704,95	\$ 17.896.805,68	\$ 9.626.100,73
Año 3	\$ 28.451.956,76	\$ 6.656.407,86	\$ 17.896.805,68	\$ 11.240.397,82
Año 4	\$ 15.326.544,22	\$ 4.771.393,15	\$ 17.896.805,68	\$ 13.125.412,54
Año 5	\$-	\$ 2.570.261,47	\$ 17.896.805,68	\$ 15.326.544,22

*Nota.* La tabla presenta la amortización del crédito siguiendo el método francés.

#### **4.5 Estados financieros**

Los estados financieros presentados a continuación permiten conocer con mayor detalle la situación financiera y los resultados que se espera presente la planta piloto en un periodo determinado [92], estos son establecidos por el decreto 2649 de 1993 [98].

##### **4.5.1 Balance inicial**

El balance inicial permite conocer de manera clara la situación inicial de la propuesta; tiene como elementos los activos, que corresponden a los recursos obtenidos por un ente económico, los pasivos también considerado como obligaciones presentes y el patrimonio o valor residual de los activos después de deducir los pasivos [92].

**Tabla 24.***Balance inicial*

<b>ACTIVOS</b>		<b>PASIVOS</b>	
<i>Activos Corriente</i>		<i>Pasivos Corrientes</i>	
Capital trabajo	\$ 56.662.360,36	Obligaciones a corto plazo	\$ 9.653.163,71
<i>Activos Fijos</i>		<i>Pasivos No Corrientes</i>	
Equipos	\$ 26.899.334,00	Obligaciones a largo plazo	\$ 57.562.097,28
Muebles	\$ 5.362.900,00	<b>TOTAL PASIVOS</b>	\$ 67.215.260,99
Equipo de computación y comunicación	\$ 5.129.800,00		
<i>Activos Diferidos</i>		<b>PATRIMONIO</b>	
Estudios previos	\$ 21.069.800,20	Capital	\$ 43.656.750,16
Depreciación	-\$ 4.252.183,40	<b>TOTAL PATRIMONIO</b>	\$ 43.656.750,16
<b>TOTAL ACTIVOS</b>	<b>\$ 110.872.011,16</b>	<b>TOTAL PASIVO Y PATRIMONIO</b>	<b>\$ 110.872.011,16</b>

*Nota.* La tabla presenta el balance inicial de la propuesta.

#### **4.5.2 Estado de resultados**

El estado de resultados permite evaluar la gestión operacional que se presentaría en la planta piloto, resumiendo las transacciones a realizar e identificando la diferencia entre ingresos y egresos (utilidad) [92].

Teniendo en cuenta que el estado de resultados se proyecta a 10 años, se estima un aumento del 3% en los ingresos operacionales, costos y gastos de acuerdo a la meta inflación establecida por el Banco de la República [99] y una tasa de impuesto de renta del 35%, establecida en la Ley 2155 de 2021 [100].

**Tabla 25.***Estado de resultados*

	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
Ingresos operacionales	\$ 378.000.000,00	\$ 389.340.000,00	\$ 401.020.200,00	\$ 413.050.806,00	\$ 425.442.330,18	\$ 438.205.600,09	\$ 451.351.768,09	\$ 464.892.321,13	\$ 478.839.090,76	\$ 493.204.263,49
Costos de producción	\$ 240.348.833,65	\$ 247.559.298,66	\$ 254.986.077,62	\$ 262.635.659,95	\$ 270.514.729,75	\$ 278.630.171,64	\$ 286.989.076,79	\$ 295.598.749,09	\$ 304.466.711,56	\$ 313.600.712,91
<b>Utilidad Bruta</b>	<b>\$ 137.651.166,35</b>	<b>\$ 141.780.701,34</b>	<b>\$ 146.034.122,38</b>	<b>\$ 150.415.146,05</b>	<b>\$ 154.927.600,43</b>	<b>\$ 159.575.428,45</b>	<b>\$ 164.362.691,30</b>	<b>\$ 169.293.572,04</b>	<b>\$ 174.372.379,20</b>	<b>\$ 179.603.550,58</b>
<b>(%) Margen bruto</b>	<b>36,42%</b>									
Gastos generales y de administración	\$ 99.625.328,49	\$ 102.614.088,34	\$ 105.692.510,99	\$ 108.863.286,32	\$ 112.129.184,91	\$ 115.493.060,46	\$ 118.957.852,27	\$ 122.526.587,84	\$ 126.202.385,48	\$ 129.988.457,04
Depreciación activos fijos	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40
Amortización diferidos	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04					
<b>Utilidad Operacional</b>	<b>\$ 29.559.694,42</b>	<b>\$ 30.700.469,56</b>	<b>\$ 31.875.467,95</b>	<b>\$ 33.085.716,29</b>	<b>\$ 34.332.272,08</b>	<b>\$ 40.856.144,59</b>	<b>\$ 42.178.615,63</b>	<b>\$ 43.540.760,80</b>	<b>\$ 44.943.770,32</b>	<b>\$ 46.388.870,14</b>
<b>(%) Margen Operativo</b>	<b>7,82%</b>	<b>7,89%</b>	<b>7,95%</b>	<b>8,01%</b>	<b>8,07%</b>	<b>9,32%</b>	<b>9,34%</b>	<b>9,37%</b>	<b>9,39%</b>	<b>9,41%</b>
Gastos Financieros	\$ 9.653.163,71	\$ 8.270.704,95	\$ 6.656.407,86	\$ 4.771.393,15	\$ 2.570.261,47	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>Utilidad Antes de Impuestos</b>	<b>\$ 19.906.530,71</b>	<b>\$ 22.429.764,60</b>	<b>\$ 25.219.060,09</b>	<b>\$ 28.314.323,14</b>	<b>\$ 31.762.010,62</b>	<b>\$ 40.856.144,59</b>	<b>\$ 42.178.615,63</b>	<b>\$ 43.540.760,80</b>	<b>\$ 44.943.770,32</b>	<b>\$ 46.388.870,14</b>
Provisión de impuestos (35%)	\$ 6.967.285,75	\$ 7.850.417,61	\$ 8.826.671,03	\$ 9.910.013,10	\$ 11.116.703,72	\$ 14.299.650,61	\$ 14.762.515,47	\$ 15.239.266,28	\$ 15.730.319,61	\$ 16.236.104,55
<b>Utilidad Neta</b>	<b>\$ 12.939.244,96</b>	<b>\$ 14.579.346,99</b>	<b>\$ 16.392.389,06</b>	<b>\$ 18.404.310,04</b>	<b>\$ 20.645.306,90</b>	<b>\$ 26.556.493,98</b>	<b>\$ 27.416.100,16</b>	<b>\$ 28.301.494,52</b>	<b>\$ 29.213.450,71</b>	<b>\$ 30.152.765,59</b>
<b>(%) Margen de Utilidad Neta</b>	<b>3,42%</b>	<b>3,74%</b>	<b>4,09%</b>	<b>4,46%</b>	<b>4,85%</b>	<b>6,06%</b>	<b>6,07%</b>	<b>6,09%</b>	<b>6,10%</b>	<b>6,11%</b>

*Nota.* La tabla presenta el estado de resultados de la propuesta proyectado a 10 años.

### **4.5.3 *Flujo de efectivo***

El flujo de efectivo permite obtener información de las transacciones realizadas respecto al efectivo recaudado y los desembolsos realizados [92].

**Tabla 26.**

*Flujo de efectivo*

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos		\$ 378.000.000,00	\$ 389.340.000,00	\$ 401.020.200,00	\$ 413.050.806,00	\$ 425.442.330,18	\$ 438.205.600,09	\$ 451.351.768,09	\$ 464.892.321,13	\$ 478.839.090,76	\$ 493.204.263,49
Costos de producción		\$ 240.348.833,65	\$ 247.559.298,66	\$ 254.986.077,62	\$ 262.635.659,95	\$ 270.514.729,75	\$ 278.630.171,64	\$ 286.989.076,79	\$ 295.598.749,09	\$ 304.466.711,56	\$ 313.600.712,91
Gastos Administrativos		\$ 99.625.328,49	\$ 102.614.088,34	\$ 105.692.510,99	\$ 108.863.286,32	\$ 112.129.184,91	\$ 115.493.060,46	\$ 118.957.852,27	\$ 122.526.587,84	\$ 126.202.385,48	\$ 129.988.457,04
Gastos Financiaci3n		\$ 9.653.163,71	\$ 8.270.704,95	\$ 6.656.407,86	\$ 4.771.393,15	\$ 2.570.261,47	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Depreciaci3n fijos		\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40
Amortizaci3n diferidos		\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>Utilidad antes de impuestos</b>		<b>\$ 19.906.530,71</b>	<b>\$ 22.429.764,60</b>	<b>\$ 25.219.060,09</b>	<b>\$ 28.314.323,14</b>	<b>\$ 31.762.010,62</b>	<b>\$ 40.856.144,59</b>	<b>\$ 42.178.615,63</b>	<b>\$ 43.540.760,80</b>	<b>\$ 44.943.770,32</b>	<b>\$ 46.388.870,14</b>
Impuesto (35%)		\$ 6.967.285,75	\$ 7.850.417,61	\$ 8.826.671,03	\$ 9.910.013,10	\$ 11.116.703,72	\$ 14.299.650,61	\$ 14.762.515,47	\$ 15.239.266,28	\$ 15.730.319,61	\$ 16.236.104,55
<b>Utilidad despu3s de impuestos</b>		<b>\$ 12.939.244,96</b>	<b>\$ 14.579.346,99</b>	<b>\$ 16.392.389,06</b>	<b>\$ 18.404.310,04</b>	<b>\$ 20.645.306,90</b>	<b>\$ 26.556.493,98</b>	<b>\$ 27.416.100,16</b>	<b>\$ 28.301.494,52</b>	<b>\$ 29.213.450,71</b>	<b>\$ 30.152.765,59</b>
Depreciaci3n fijos		\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 4.252.183,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40	\$ 3.226.223,40
Amortizaci3n diferidos		\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 4.213.960,04	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Amortizaci3n cr3dito		\$ 8.243.641,97	\$ 9.626.100,73	\$ 11.240.397,82	\$ 13.125.412,54	\$ 15.326.544,22	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>INVERSIONES</b>											
Inversi3n fija		-\$ 37.392.034,00									
Inversi3n diferida		-\$ 21.069.800,20									
Inversi3n de capital de trabajo		-\$ 56.662.360,36									
Recuperaci3n de capital de trabajo											\$ 56.662.360,36
Cr3ditos recibidos (+)		\$ 57.562.097,28									
Valor de liquidaci3n											\$ 0,00
<b>Flujo de caja neto</b>		<b>-\$ 57.562.097,28</b>	<b>\$ 13.161.746,43</b>	<b>\$ 13.419.389,70</b>	<b>\$ 13.618.134,67</b>	<b>\$ 13.745.040,95</b>	<b>\$ 13.784.906,12</b>	<b>\$ 29.782.717,38</b>	<b>\$ 30.642.323,56</b>	<b>\$ 31.527.717,92</b>	<b>\$ 32.439.674,11</b>
Acumulado		-\$ 57.562.097,28	-\$ 44.400.350,85	-\$ 30.980.961,14	-\$ 17.362.826,47	-\$ 3.617.785,52	\$ 10.167.120,60	\$ 39.949.837,98	\$ 70.592.161,54	\$ 102.119.879,46	\$ 134.559.553,57
											\$ 224.600.902,91

*Nota.* La tabla presenta el flujo de efectivo de la propuesta proyectado a 10 a3os.

## **4.6 Indicadores financieros**

Los indicadores financieros presentados a continuación permiten evaluar la rentabilidad de la propuesta.

### **4.6.1 Valor presente neto**

El valor presente neto (VPN) permite determinar las ganancias o pérdidas de la propuesta llevados al presente, es decir, el equivalente a hoy. Para determinar este indicador, se tiene en cuenta la tasa interna de oportunidad (TIO) o la rentabilidad mínima que esperaría un inversionista [101], que para este caso se estima en un 15%.

El VPN calculado para la propuesta posee un valor de \$53.876.503,58, al ser un valor superior a cero, indicando que el proyecto es factible y debería aceptarse.

### **4.6.2 Tasa interna de retorno**

La tasa interna de retorno o TIR es un indicador que mide la rentabilidad de un proyecto como un porcentaje, permitiendo al inversionista determinar si cumple con sus expectativas o no [102].

La TIR calculada en la propuesta es de 29,88%, dando como resultado que la  $TIR > TIO$ , se considera que el proyecto es viable para realizar la inversión.

### **4.6.3 Periodo de recuperación**

El periodo de recuperación es el tiempo requerido para que los flujos generados en el proyecto sean iguales a la inversión, este indicador se calcula según el acumulado en valor presente del flujo [101].

El periodo de recuperación se estima en 5,96 años, es decir, este es el tiempo mínimo que deben esperar los inversionistas de la propuesta para recuperar completamente su capital.

### **4.6.4 Relación beneficio costo**

Este indicador permite establecer la relación entre los beneficios y los costos de la propuesta, ambos llevados a valor presente [103]. La B/C calculada posee un valor de 1,94, resaltando así que los beneficios superan a los costos y, por tanto, la propuesta es viable.

## 5. CONCLUSIONES

Las características fisicoquímicas de la borra de café resaltan el potencial de esta biomasa como biocombustible sólido, destacando principalmente el bajo contenido de cenizas y alto poder calorífico, con valores de 2,36% y 19,8 MJ/kg respectivamente. No obstante, el alto contenido de humedad requiere incluir una etapa de secado que permita evitar la proliferación de microorganismos, aumentar el poder calorífico de la borra y facilitar su proceso de peletización.

Se realizó el diseño conceptual para una planta piloto con capacidad de producción de 10 toneladas por mes para la peletización para la borra de café utilizando aceite crudo de palma, definiendo las principales etapas del proceso con sus respectivos equipos y condiciones de operación. Además del balance de masa y los diagramas BFD y PFD.

Con un VPN igual a \$53.876.503,58, TIR de 29,88%, relación B/C de 1,94 y un periodo de 5,96 años para la recuperación de la inversión, los indicadores financieros muestran que la propuesta planteada es económicamente viable pues se supera la rentabilidad mínima esperada. Destacando que los ingresos obtenidos permiten el sostenimiento de la planta piloto tanto para la parte operativa como la administrativa y que cuenta con una utilidad para futuras inversiones, ampliaciones y mejoras.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. y D. Secretaría de Cultura, “Combustibles fósiles.” <https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/bogotanitos/biodiversidad/combustibles-fosiles>.
- [2] Organización Mundial de la Salud, “Energía doméstica y salud Combustibles para una vida mejor,” Oms, p. 56, 2007, [Online]. Available: [https://www.who.int/airpollution/publications/fuelforlife\\_es.pdf?ua=1](https://www.who.int/airpollution/publications/fuelforlife_es.pdf?ua=1).
- [3] Ecología verde, “Causas de la deforestación,” 2021. <https://www.ecologiaverde.com/causas-de-la-deforestacion-258.html>.
- [4] T. André, F. Appavou, A. Brown, and G. Ellis, Renewables 2020 Global Status Report. 2020.
- [5] N. R. Valencia, “Manejo de residuos en la agroindustria cafetera,” Semin. Int. Gestión Integr. Residuos Sólidos Y Peligrosos, 2000.
- [6] J. McNutt and Q. (Sophia) He, “Spent coffee grounds: A review on current utilization,” J. Ind. Eng. Chem., vol. 71, pp. 78–88, 2019, doi: 10.1016/j.jiec.2018.11.054.
- [7] A. Colantoni et al., “Spent coffee ground characterization, pelletization test and emissions assessment in the combustion process,” Sci. Rep., 2021, doi: 10.1038/s41598-021-84772-y.
- [8] Leñera Domínguez, “Ventajas de los pellets respecto a otros sistemas de combustible.” <https://www.leñeradominguez.com/ventajas-de-los-pellets-respecto-a-otros-sistemas-de-combustible/>.
- [9] S. I. Mussatto, E. M. S. Machado, S. Martins, and J. A. Teixeira, “Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues,” Food Bioprocess Technol., vol. 4, no. 5, pp. 661–672, 2011, doi: 10.1007/s11947-011-0565-z.

- [10] L. M. Rizzuto and M. Rosales, “El mercado mundial del café: tendencias recientes, estructura y estrategias de competitividad,” *Visión Gerenc.*, vol. 0, no. 0, pp. 291–307, 2014.
- [11] Nestle, “Viaje por los principales países productores de café.” <https://www.bonka.es/amor-por-el-cafe/paises-productores-de-cafe> (accessed Aug. 18, 2021).
- [12] Fórum Café, “Origen Colombia,” 2018. <http://forumdelcafe.com/noticias/origen-colombia> (accessed Aug. 18, 2021).
- [13] Se habla café, “¿Qué es el cinturón del café?” 2019. <https://sehablacafe.com/curiosidades/que-es-el-cinturon-del-cafe/> (accessed Aug. 18, 2021).
- [14] A. Farah and T. Ferreira Dos Santos, “The Coffee Plant and Beans: An Introduction,” in *Coffee in Health and Disease Prevention*, Rio de Janeiro, Brasil, 2015, pp. 5–10.
- [15] C. M. Galanakis, *Handbook of Coffee Processing By-Products*. Chania, Grecia, 2017.
- [16] International Coffee Organization, “Coffee year production by country,” 2021.
- [17] Tiempo de Café, “Cuáles son los principales países productores de café,” 2021. <https://tiempodecafe.com/cuales-son-los-principales-paises-productores-de-cafe/> (accessed Aug. 13, 2021).
- [18] International Coffee Organization, “The value of coffee - Sustainability, Inclusiveness and Resilience of the Coffee Global Value Chain,” Alemania, 2020. [Online]. Available: <https://www.internationalcoffeecouncil.com/cdr2020>.
- [19] O. L. Ocampo Lopez and L. M. Alvarez-Herrera, “Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia,” *Apunt. Del Cenes*, vol. 36, pp. 139–165, 2017.
- [20] Federación Nacional de Cafeteros, “Ensayos sobre Economía Cafetera.”

- [21] Federación Nacional de Cafeteros, “Producción de café de Colombia en 2020 fue de 13,9 millones de sacos.” <https://federaciondefcafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-en-2020-fue-de-139-millones-de-sacos/#:~:text=Producción de café de Colombia,sacos - Federación Nacional de Cafeteros.>
- [22] Federación Nacional de Cafeteros, “Comportamiento de la Industria Cafetera Colombiana,” 2018.
- [23] N. Rodríguez Valencia and D. Zambrano Franco, “Los subproductos del café: fuente de energía renovable,” *Av. Técnicos Cenicafé*, p. 8, 2010, [Online]. Available: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/351/1/avt0393.pdf>.
- [24] L. F. Restrepo and G. Villa, “Estrategias para el aprovechamiento de la pulpa de cafe en las fincas cafeteras del municipios de Andes, Antioquia,” *Tecnológico Antioquia Inst. Univ.* ., p. 45, 2020, [Online]. Available: [https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/773/Pulpa\\_cafe.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/773/Pulpa_cafe.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [25] S. Gomez Posada, “Subproductos del café: valor agregado para el negocio.” <https://quecafe.info/usos-alternativos-subproductos-cafe/>.
- [26] A. Vargas, “Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café,” Universidad nacional de Colombia, 2018.
- [27] D. A. Murcia Palacios and A. F. Gonzáles Vera, “Desarrollo de briquetas de borra de café y un aglomerante a diferentes composiciones porcentuales para ser utilizadas como combustible sólido alternativo,” Fundación Universidad de América, 2020.
- [28] R. Nosek, M. M. Tun, and D. Juchelkova, “Energy utilization of spent coffee grounds in the form of pellets,” *Energies*, vol. 13, no. 5, pp. 1–8, 2020, doi: 10.3390/en13051235.
- [29] Hello Auto, “¿Qué es un Biocombustible?” <https://helloauto.com/glosario/biocombustible> (accessed Sep. 07, 2021).

- [30] “¿Qué son los biocombustibles?” <https://www.betalabservices.com/espanol/biocombustibles/sobre-los-biocombustibles.html> (accessed Sep. 07, 2021).
- [31] C. Álvarez, “Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional,” *Econ. Inf.*, no. 359, pp. 63–89, 2009.
- [32] A. Herguedas, C. Taranco, E. Rodríguez, and P. Paniagua, *Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad*, vol. 13. 2012.
- [33] MINMINAS, “Ley 693 de 2001,” vol. 2001, no. septiembre 19, p. 11, 2001.
- [34] C. de la R. de Colombia, “Ley 939 de 2004,” D.O No. 45778, 31 diciembre 2004, vol. 2004, no. diciembre 31, p. 3, 2004.
- [35] UPME, “Biocombustibles Colombia,” pp. 1–22, 2009.
- [36] C. A. Forero Nuñez, C. A. Guerrero Fajardo, and F. E. Sierra Vargas, “Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación,” *Iteckne*, vol. 9, no. 1, pp. 21–30, 2012, doi: 10.15332/iteckne.v9i1.57.
- [37] E. R. Durango Padilla, C. Berastegui Barranco, and J. M. Mendoza Fandiño, “Efecto de la adición de aglomerantes en las propiedades mecánicas de los pellets de biomasa,” *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 27, no. 1, pp. 83–88, 2019, doi: 10.4067/s0718-33052019000100083.
- [38] A. Zapata, “Investigación del efecto de los parámetros de elaboración de pellets cuesco de palma en el proceso de pirólisis,” Universidad Nacional de Colombia, 2016.
- [39] G. Paredes and D. Montesdeoca, “Aprovechamiento de los residuos del café molido y pasado para elaborar un biocombustible de segunda generación,” *Univ. Cent. Del Ecuador*, p. 103, 2019.

- [40] J. F. Tojes Pacheco, “Caracterización energética del densificado de aserrín como un biocombustible, pellet, utilizando tres diferentes aglutinantes: arcilla, almidón y yeso,” Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.
- [41] J. M. García, “Perspectivas favorables para el sector de aceites vegetales,” 2019.
- [42] S. A. Soto, “Colombia ocupa la cuarta posición en el escalafón mundial de países más productores de aceite de palma,” Oct. 08, 2020. <https://www.agronegocios.co/agricultura/colombia-cuarto-en-el-escalafon-mundial-de-paises-mas-productores-de-aceite-de-palma-3071339> (accessed Sep. 20, 2021).
- [43] Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Fedepalma, “Perspectivas de negocios en el aprovechamiento energético de la tusa y la fibra de la agroindustria de palma de aceite en Colombia,” Bogotá, Colombia., 2017.
- [44] I. Arnabat, “Pellets como biocombustible ¿qué son y para qué se utilizan?,” 2020. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/biocombustibles-pellets.html> (accessed Dec. 10, 2021).
- [45] Expansión, “Convertor de euro a peso colombiano,” 2021. <https://www.expansion.com/ahorro/convertor-divisas/euro-pesocolombiano> (accessed Dec. 10, 2021).
- [46] P. Casanova, K. Solís, and T. Carrillo, “Propiedades térmicas y fisicoquímicas de pellets con fines energéticos elaborados a partir de residuos de aserradero,” 2017. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6008639> (accessed Dec. 10, 2021).
- [47] Homecenter, “Pellets de madera mezclado,” 2021. <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/497453/pellets-de-madera-mezclado/497453/> (accessed Dec. 11, 2021).
- [48] V. Torres Ordóñez, “Diseño de una planta de elaboración de pellets a partir de residuos de café,” Universidad Pontificia Comillas, 2018.

- [49] Ó. Díaz and B. Delgado, “Diseño de la ingeniería básica de una planta productora de pellets elaborados a partir de biomasa forestal,” Universidad Católica Andrés Bello, 2014.
- [50] M. M. Tun et al., “Spent coffee ground as renewable energy source: Evaluation of the drying processes,” *J. Environ. Manage.*, vol. 275, no. August, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111204.
- [51] X. Isern Hidalgo, “La humedad en la biomasa : herramientas de medida y control,” *energética XXI*, 2014.
- [52] *Manuale sobre energía renovable: Biomasa*, vol. 148. San José, Costa Rica, 2002.
- [53] F. J. Gómez-De La Cruz, F. Cruz-Peragón, P. J. Casanova-Peláez, and J. M. Palomar-Carnicero, “A vital stage in the large-scale production of biofuels from spent coffee grounds: The drying kinetics,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 130, no. C, pp. 188–196, 2015, doi: 10.1016/j.fuproc.2014.10.012.
- [54] J. Guerrero and J. Cevallos, “Extracción y caracterización de colorante natural a partir de la borra de café,” Universidad de Guayaquil, 2017.
- [55] J. C. Barrera H., N. E. Ramírez C., and J. A. García N., “Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en la agroindustria de la palma de aceite,” *Palmas*, vol. 39, no. 4, pp. 24–44, 2018, [Online]. Available: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/12709/12613/>.
- [56] G. Garzón, “Evaluación del proceso de pirolisis de material lignoceluloso proveniente del eucalipto en atmosfera de dióxido de carbono,” *instnameUniversidad Libr.*, p. 80, 2018, [Online]. Available: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11026>.
- [57] K. Sivabalan, S. Hassan, H. Ya, and J. Pasupuleti, “A review on the characteristic of biomass and classification of bioenergy through direct combustion and gasification as an alternative power supply,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1831, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1831/1/012033.

- [58] C. Blasco, “Evaluación de los Recursos agrícolas para su valorización energética en calderas spouted bed reactors,” p. 77, 2017.
- [59] N. Tangmankongworakoon, “An approach to produce biochar from coffee residue for fuel and soil amendment purpose,” *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.*, vol. 8, pp. 37–44, 2019, doi: 10.1007/s40093-019-0267-5.
- [60] B. Melissari, “Comportamiento de cenizas y su impacto en sistemas de combustión de biomasa,” *Mem. Investig. en Ing.*, vol. 10, no. 10, pp. 69–82, 2012.
- [61] J. S. Arroyo Vinuesa, “Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor,” Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 2016.
- [62] J. Mesa and A. F. Azuero, “Balance 2020 y perspectivas 2021 de la agroindustria de la palma de aceite,” Bogotá, Colombia., 2021. [Online]. Available: [http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/03032021\\_Balance\\_y\\_perspectivas\\_de\\_la\\_agroindustria\\_de\\_la\\_palma\\_de\\_aceite\\_2020-2021\\_CMG\\_ASM.pdf](http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/03032021_Balance_y_perspectivas_de_la_agroindustria_de_la_palma_de_aceite_2020-2021_CMG_ASM.pdf).
- [63] J. L. Cubides García and R. A. Mallama Díaz, “Diseño conceptual de una planta piloto para el proceso de refinación de aceite crudo para uso alimenticio,” Fundación Universidad de América, 2017.
- [64] Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), Guía sobre el aceite de palma y sus aplicaciones. Bogotá, Colombia., 2013.
- [65] Grupo Biocosta, “Quiénes Somos.” <https://cibiocosta.com/es/nosotros/quienes-somos> (accessed Sep. 20, 2021).
- [66] Fundación Española del Aceite de Palma, “Qué es el aceite de palma: Composición y características.” <https://aceitedepalmasostenible.es/aceite-palma-composicion-caracteristicas/>.
- [67] A. F. Mendoza Obando, “Extracción de aceite de café a partir de la borra del grano de café tostado como residuo agroindustria,” Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2020.

- [68] L. Morales and D. Pérez, “Valorización de los residuos de café tostado y molido (borra de café) generados en el campus central de la universidad de el Salvador,” Universidad de el Salvador, 2020.
- [69] P. L. Simona, S. Paraschiv, and I. Ion, “Mathematical modelling of sawdust drying process for biomass pelleting,” *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 150–154, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.028.
- [70] C. Orozco and F. Bedoya, “Calculo del flujo másico y caudal de aire para un ventilador utilizado en silos para secado para del café,” no. 35, pp. 207–212, 2007.
- [71] R. Treybal, *Mass-Transfer Operations*, 3rd ed. Nueva York, 1980.
- [72] S. M. Rincón and D. Martínez, “Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria,” *Rev. Palmas*, vol. 30, no. 2, pp. 11–24, 2009.
- [73] Alibaba, “Low temperature Rotary Drum Dryer coconut bran dryer.” [https://www.alibaba.com/product-detail/Low-temperature-Rotary-Drum-Dryer-coconut\\_62321815392.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Low-temperature-Rotary-Drum-Dryer-coconut_62321815392.html) (accessed Oct. 28, 2021).
- [74] Scribd, “Secadores rotatorios.” <https://es.scribd.com/document/469022435/SECADORES-ROTATORIOS-docx>.
- [75] Alibaba, “Model125-400 Sawdust Pelletizer in Chile Pellet Machine Wood Pellets Biomass Machine.” <https://spanish.alibaba.com/product-detail/model125-400-sawdust-pelletizer-in-chile-pellet-machine-wood-pellets-biomass-machine-1600145283900.html> (accessed Oct. 22, 2021).
- [76] Alibaba, “LEABON animal feed pellet cooler with vibrating screen.” <https://spanish.alibaba.com/product-detail/leabon-animal-feed-pellet-cooler-with-vibrating-screen-60284403557.html> (accessed Oct. 22, 2021).
- [77] Alibaba, “Multi layer linear vibrating screen powder sieving machine.” [https://www.alibaba.com/product-detail/Multi-layer-linear-vibrating-screen-powder\\_62314123244.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Multi-layer-linear-vibrating-screen-powder_62314123244.html) (accessed Oct. 22, 2021).

- [78] Alibaba, “China Farfly Tank High Capacity Heavy Duty Stainless Steel Mixing Tank.” <https://spanish.alibaba.com/product-detail/china-farfly-tank-high-capacity-heavy-duty-stainless-steel-mixing-tank-60714355694.html> (accessed Oct. 22, 2021).
- [79] Alibaba, “Automatic silo de almacenamiento grain bins for small farms animal feeder.” [https://www.alibaba.com/product-detail/automatic-silo-de-almacenamiento-grain-bins\\_1600232617359.html](https://www.alibaba.com/product-detail/automatic-silo-de-almacenamiento-grain-bins_1600232617359.html) (accessed Oct. 22, 2021).
- [80] Alibaba, “Warehousing tank stainless steel.” [https://www.alibaba.com/product-detail/Warehousing-tank-stainless-steel\\_300002668043.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Warehousing-tank-stainless-steel_300002668043.html) (accessed Dec. 11, 2021).
- [81] Homecenter, “Silla de Escritorio Profesional con Brazos Negro.” <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/258550/silla-de-escritorio-profesional-con-brazos-negro/258550/?queryId=78ddef34-388f-491d-b37c-6e10137de59b> (accessed Oct. 28, 2021).
- [82] Homecenter, “Escritorio Acre 75x120x45cm Rovere/Blanco.” <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/380957/escritorio-acre-75x120x45cm-rovere-blanco/380957/?queryId=43fa530f-6371-480a-ad59-c652ef8e4988> (accessed Oct. 28, 2021).
- [83] Ktronix, “Computador Portátil LENOVO 14" Pulgadas IdeaPad 3 Intel Core i3 - 8GB Ram - Disco Duro 1TB - Azul.” <https://www.ktronix.com/computador-portatil-lenovo-14-pulgadas-ideapad-3-intel-core-i3-8gb-ram-disco-duro-1tb-azul/p/195477344747> (accessed Oct. 28, 2021).
- [84] Ktronix, “Impresora Multifuncional EPSON L3160.” <https://www.ktronix.com/impresora-multifuncional-epson-l3160/p/010343946842> (accessed Oct. 28, 2021).
- [85] Ktronix, “Horno Microondas WHIRLPOOL 0.7 WM1807W Blanco.” <https://www.ktronix.com/horno-microondas-whirlpool-07-wm1807w-blanco/p/7501545507502> (accessed Oct. 28, 2021).

- [86] Ktronix, “Ventilador de Torre KALLEY K-TF45 Negro.” <https://www.ktronix.com/ventilador-torre-kalley-k-tf45-negro/p/7705946379175> (accessed Oct. 28, 2021).
- [87] Ktronix, “Sistema de Video seguridad DVR Alámbrico VTA 1 Tera + 4 Cámaras 1080P.” <https://www.ktronix.com/sistema-video-seguridad-dvr-alambrico-vta-1-tera-4-camaras-1080p/p/7702271831521> (accessed Oct. 28, 2021).
- [88] Ktronix, “Celular MOTOROLA G20 128GB VERDE.” <https://www.ktronix.com/celular-motorola-g20-128gb-verde/p/840023222528> (accessed Oct. 28, 2021).
- [89] Ktronix, “Dispensador de Agua KALLEY K-WD15KR.” <https://www.alkosto.com/dispensador-agua-kalley-k-wd15kr/p/7701023397551> (accessed Oct. 28, 2021).
- [90] Ktronix, “Locker metálico 16 puestos gris azul de 200x123x30 cm.” <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/215202/locker-metalico-16-puestos-gris-azul-de-200x123x30-cm/215202/?queryId=11673ce1-486a-4d56-a9f7-022165d7b14d> (accessed Oct. 28, 2021).
- [91] Homecenter, “Estantería Metal/Madera Sin Tornillos 176x120x50 cm 5 Niveles Gris.” <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/492524/estanteria-metal-madera-sin-tornillos-192x100x50-cm-5-niveles-gris/492524/?queryId=988c036f-2f28-4e36-8e8a-c9f47473972b> (accessed Oct. 28, 2021).
- [92] H. M. Díaz, Contabilidad general: enfoque práctico con aplicaciones informáticas. 2013.
- [93] Presidente de la República, “Decreto 624 de 1989,” 1989. [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/estatuto\\_tributario\\_pr005.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/estatuto_tributario_pr005.html) (accessed Nov. 07, 2021).
- [94] Gabyventas, “Lonas O Costales En Fibra Nuevas De 25 Kilos X 100 Unidades.” [https://www.gabyventas.com/MCO-622607119-lonas-o-costales-en-fibra-nuevas-de-25-kilos-x-100-unidades-\\_JM](https://www.gabyventas.com/MCO-622607119-lonas-o-costales-en-fibra-nuevas-de-25-kilos-x-100-unidades-_JM) (accessed Nov. 07, 2021).

- [95] Ministerio de agricultura y desarrollo rural, “Resolución Número 000167 de 2021.” p. 2, 2021.
- [96] Aurora Zugarramurdi and María A. Parín, “Ingeniería de la producción,” *Ing. Económica Apl. a la Ind. Pesq.*, p. 34, 1998, Accessed: Nov. 07, 2021. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/v8490s/v8490s00.htm#Contents>.
- [97] Davivienda, “Tarifas de Productos y Servicios,” Oct. 2021. Accessed: Nov. 07, 2021. [Online]. Available: <https://www.davivienda.com/wps/wcm/connect/personas/5f45e48c-8e91-49f2-b85e-71c14b09512b/TASAS+TARIFAS+DAVIVIENDA+02+11+2021+.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nPyq.Ug>.
- [98] Presidente de la República, “Decreto 2649 de 1993.” 1993, [Online]. Available: [https://www.medellin.edu.co/?smd\\_process\\_download=1&download\\_id=7840](https://www.medellin.edu.co/?smd_process_download=1&download_id=7840).
- [99] Banco de la República, “Meta de inflación.” <https://www.banrep.gov.co/es/glosario/meta-inflacion> (accessed Dec. 11, 2021).
- [100] Congreso de Colombia, “Ley 2155 de 2021,” pp. 1–54, 2021, [Online]. Available: [https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY\\_2155\\_DEL\\_14\\_DE\\_SEPTIEMBRE\\_DE\\_2021.pdf](https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY_2155_DEL_14_DE_SEPTIEMBRE_DE_2021.pdf).
- [101] L. A. Botero Sinisterra, “Semana 12-1 VPN y Periodo de Recuperación de Inversión.” 2020.
- [102] L. A. Botero Sinisterra, “Semana 13-1 La Tasa Interna de Retorno (TIR).” 2020.
- [103] L. A. Botero Sinisterra, “Semana 11-2 Evaluación de Proyectos de Inversión.” 2020.
- [104] “Liquidación de la nómina | Gerencie.com.” <https://www.gerencie.com/liquidacion-de-la-nomina.html> (accessed Nov. 07, 2021).

- [105] “Tarifas 2021.” [https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas\\_2021!/ut/p/z1/nZFNa4NAEIZ\\_Sw8e68xuNrL0tgqxTUCzSSV2LkWD2QjGDcZU-u8rKZQaJA2d2wzPOx\\_vAEEKVGcfcna0tZZ1edv5L0vpMefQ8mjeMY56le2ZpFQTM YCNhfA0wEyiTxCwQPU66W\\_ipOALZkAukePg1Dor7g\\_QQxj\\_h\\_970736W8AdLv9BuiC\\_DgQejNErUOFUvSHiOk1MGLRyJChB39tMQcylc2\\_H6bqfCINUFPsiqZo3HPTl\\_dtezw9Oehg13WusdZUhbu1BwfHJHt7aiEdknA8JEmSYvnySPInpx6-ABedpCs!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/tarifas/tarifas_2021!/ut/p/z1/nZFNa4NAEIZ_Sw8e68xuNrL0tgqxTUCzSSV2LkWD2QjGDcZU-u8rKZQaJA2d2wzPOx_vAEEKVGcfcna0tZZ1edv5L0vpMefQ8mjeMY56le2ZpFQTM YCNhfA0wEyiTxCwQPU66W_ipOALZkAukePg1Dor7g_QQxj_h_970736W8AdLv9BuiC_DgQejNErUOFUvSHiOk1MGLRyJChB39tMQcylc2_H6bqfCINUFPsiqZo3HPTl_dtezw9Oehg13WusdZUhbu1BwfHJHt7aiEdknA8JEmSYvnySPInpx6-ABedpCs!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/) (accessed Nov. 08, 2021).
- [106] CREG, “Tarifas de Energía Eléctrica (\$/kWh).” <https://www.enel.com.co/content/dam/enel-co/español/personas/1-17-1/2021/tarifario-octubre-2021.pdf> (accessed Nov. 08, 2021).
- [107] Metro Cuadrado, “Arriendo de Bodega en Fontibon - Bogotá D.C. - 734-M2781259.” <https://www.metrocuadrado.com/inmueble/arriendo-bodega-bogota-palestina-3-banos/734-M2781259> (accessed Nov. 08, 2021).

## **ANEXOS**

## ANEXO 1.

### ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS

#### Especificaciones secador de tambor rotativo



[View larger image](#)






Add to Compare  Share

Low temperature Rotary Drum Dryer coconut bran dryer

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

---

**COP 3,876,073.80 - COP 46,512,885.60** / Set | 1 Set/Sets(Min. Order)

---

Model Number: JZQ350-16-1 JZQ450-16-11 JZQ450-16-11  
ZL50-16-1 ZQ50-1611-2 JZQ650-111  
JZQ750-111 ZL850-13-1

Lead Time: 

Quantity(Sets)	1 - 10	>10
Est. Time(days)	15	To be negotiated

Shipping: **Support Sea freight**  
 **1 Year for machinery warranty**

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

---

Protection: **Trade Assurance** protection your alibaba.com order  
**Refund Policy**

#### Quick Details

Type:	Rotary Drying Equipment	Application:	Chemicals Processing, Food Processing
Condition:	New	Place of Origin:	Shanghai
Brand Name:	SHANQIAO	Voltage:	Customized
Power:	5.5-75kw	Dimension(L*W*H):	10000X1000X2500mm
Key Selling Points:	Automatic	Warranty:	1 Year
Applicable Industries:	Hotels, Garment Shops, Building Material Shops, Manufactu...	After-sales Service Provided:	Online support, Video technical support, Free spare parts, Fi...
Weight:	9800kg	Certification:	CE,ISO
Item:	Rotary drum dryer	Diameter:	800-3000mm
Length:	8000-26000mm	Rotary drum dryer capacity:	500-15000kg/h
Input moisture:	<90%	Output moisture:	>8-12%
Fuel:	Coal,gas,diesel,wood chips etc.	Usage:	Sawdust,wood chips,coal,slurry,sand etc.
Rotary drum dryer color:	As required	Name:	New Type Energy Saving Industrial Drying Equipment Rotary...

**Nota.** Esta figura representa las especificaciones del secador de tambor rotativo. Tomado de: Alibaba. Low temperature Rotary Drum Dryer coconut bran dryer. [https://www.alibaba.com/product-detail/Low-temperature-Rotary-Drum-Dryer-coconut\\_62321815392.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Low-temperature-Rotary-Drum-Dryer-coconut_62321815392.html)

*Especificaciones tanque mezclador*



View larger image







Add to Compare   [Share](#)

**China Farfly Tank High Capacity Heavy Duty Stainless Steel Mixing Tank**  
1 buyer

---

1 - 9 Sets      **COP 3,100,85...**      >=10 Sets      **COP 2,713,25...**

COP 1,938,036.90 OFF    Order more than COP 38,760,738.00 | [Get Coupon](#) ▼

Model Number:

Lead Time ⓘ

Quantity(Sets)	1 - 1	>1
Est. Time(days)	28	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Sets)  
Customized packaging(Min. Order: 1 Sets)  
[More](#) ▼

Shipping: Support Sea freight

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

---

Protection: **Trade Assurance** protection your alibaba.com order  
On-time Dispatch Guarantee      Refund Policy

**Quick Details**

Mixer Type: Agitator	Barrel Volume (L): 500 L
Max. Loading Volume (L): 500 L	Max. Loading Capacity: 5000L
Weight (KG): 120 KG	Condition: New
Product Type: FERTILIZER	Application: Liquid, Chemicals Processing
Additional Capabilities: Granulating	Place of Origin: Shanghai, China
Voltage: 220V/380V/440V	Brand Name: Farfly
Power (kW): 0 kW	Dimension(L*W*H): 1000*1000*1200
Key Selling Points: Long Service Life	Warranty: Unavailable
Showroom Location: None	Applicable Industries: Building Material Shops, Manufacturing Plant, Food Shop
Local Service Location: None	After Warranty Service: Online support
Name: China Farfly Tank High Capacity Heavy Duty Stainless Steel ...	Certification: CE ISO
Color: According to customer's order	After-sales Service Provided: Engineers available to service machinery overseas
	Usage: Storage or Mixing tank

**Nota.** Esta figura presenta las especificaciones del tanque mezclador. Tomado de: Alibaba. China Farfly Tank High Capacity Heavy Duty Stainless Steel Mixing Tank. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/china-farfly-tank-high-capacity-heavy-duty-stainless-steel-mixing-tank-60714355694.html>

*Especificaciones peletizadora*



View larger image



Model125-400 Sawdust Pelletizer in Chile Pellet Machine Wood Pellets Biomass Machine

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

**COP 2,325,644.28 - COP 5,038,895.94/ Unit | 1 Unit/Units(Min. Order)**

Model Number: 125-400

Lead Time

Quantity(Units)	1 - 1	>1
Est. Time(days)	10	To be negotiated

Support:  1 Year for machinery warranty | 1 Year for Core Components

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Protection: **Trade Assurance** protection your alibaba.com order

Refund Policy

**Quick Details**

Place of Origin: Henan, China  
 Raw Material Processed: Grass, Rice Husk, Wood Sawdust, Biomass, Straw, Cotton St...  
 Output (kg/h): 80 - 1200 kg/h  
 Voltage: 220v/380v  
 Motor Power (Kw): 3-30 KW  
 Warranty: 1 Year  
 Key Selling Points: Easy to Operate  
 Showroom Location: France, Germany, Peru, Pakistan, India, Kenya, Argentina, Co...  
 Machinery Test Report: Provided  
 Warranty of core components: 1 Year  
 Color: Customizable  
 Factory: Henan hongke  
 Guarantee: 1 year  
 Spare parts: Longlife  
 Type: Flat die  
 After Warranty Service: Online support  
 Certification: ISO, CE

Condition: New  
 Pellet Diameter (mm): 2.5 - 10  
 Brand Name: Hongke  
 Dimension(L\*W\*H): Depends on model  
 Power (kW): 3-30 KW  
 Applicable Industries: Manufacturing Plant, Farms, Home Use, Construction works...  
 Weight (KG): 100 KG  
 Marketing Type: New Product 2020  
 Video outgoing-inspection: Provided  
 Core Components: Motor, PLC  
 Product name: Pellet machine wood  
 Installation: Engineer Guide  
 After-sale Service: Timely Solution  
 Factory visit: Warmly welcome  
 Capacity: 80-1200 kg/h  
 After-sales Service Provided: Online support  
 Local Service Location: Philippines, Pakistan, India, Mexico, Russia, Spain, Thailand, ...

**Nota.** Esta figura representa las especificaciones de la peletizadora. Tomado de: Alibaba. Model125-400 Sawdust Pelletizer in Chile Pellet Machine Wood Pellets Biomass Machine. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/model125-400-sawdust-pelletizer-in-chile-pellet-machine-wood-pellets-biomass-machine-1600145283900.html>

*Especificaciones enfriadora de pellets*



LEABON animal feed pellet cooler with vibrating screen

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

**COP 8,333,558.67 - COP 13,566,258.30** / Set | 1 Set/Sets(Min. Order)

Model Number: **SKLN-0.6**

Power: **3 kw**

Customization: Customized logo(Min. Order: 1 Sets)  
 Customized packaging(Min. Order: 1 Sets)  
 More ▾

Shipping: Support Sea freight

Support: **1 Year** for machinery warranty | **1 Year** for Core Components ⓘ

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Protection: **Trade Assurance** protection your alibaba.com order  
 On-time Dispatch Guarantee Refund Policy

**Quick Details**

Applicable Industries: Manufacturing Plant, Food & Beverage Factory

Place of Origin: Henan, China

Type: cooler, cooling machine

Dimension(L\*W\*H): 1080\*800\*2400 mm

Warranty: 1 Year

Marketing Type: Ordinary Product

Video outgoing-inspection: Provided

Core Components: Motor

Local Service Location: None

Certification: CE, SGS

Capacity: 1T/Hour

Cooling Temperature: room temperature +3-5degree

Structure: counterflow pellet cooler

Showroom Location: None

Condition: New

Brand Name: LEABON

Voltage: 380V

Weight: 400 kg

Key Selling Points: High Productivity

Machinery Test Report: Not Available

Warranty of core components: 1 Year

After Warranty Service: Video technical support

After-sales Service Provided: Video technical support, Engineers available to service mac...

Cooling Area: 0.6 CBM counter flow cooler

Cooling Time: 6-10 Minutes

Main motor: 3 kw

Input materials: wood pellet, feed pellet

Principle: air as medium

**Nota.** Esta figura representa las especificaciones de la enfriadora de pellets. Tomado de: Alibaba. LEABON animal feed pellet cooler with vibrating screen. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/leabon-animal-feed-pellet-cooler-with-vibrating-screen-60284403557.html>

## Especificaciones tamiz vibratorio



View larger image



Add to Compare  Share

### Multi layer linear vibrating screen powder sieving machine

>=1 Sets

**COP 2,325,64...**

Model Number: **DZSF1030**

Power: **2\*(0.75 - 1.5 kw)**

Samples: **COP 2,325,644.28/Set | 1 Set (Min. Order) | [Buy Samples](#)**

Lead Time	Quantity(Sets)	1 - 1	>1
Est. Time(days)	30	To be negotiated	

Customization: **Customized logo(Min. Order: 1 Sets)**  
**Customized packaging(Min. Order: 1 Sets)**

Shipping: **Support Express · Sea freight · Land freight**

Support: **1 Year for machinery warranty | 1 Year for Core Components**

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Protection: **Trade Assurance** protection your alibaba.com order  
**Refund Policy**

#### Quick Details

Applicable Industries:	Manufacturing Plant, Food & Beverage Factory, Farms, Food...	Showroom Location:	None
		Video outgoing-inspection:	Provided
Machinery Test Report:	Provided	Marketing Type:	Hot Product 2019
		Warranty of core components:	1 Year
Core Components:	Engine, Bearing	Condition:	New
Type:	LINEAR	Application:	Scoring, screening, filtering and classification
Place of Origin:	jiangsu	Brand Name:	flourishing
Voltage:	220V/380V,or as you need	Dimension(L*W*H):	According to model
Weight:	According to model	Warranty:	1 Year
Layer (S):	The 1-5 level	Material Science:	Stainless steel 304
usage:	Fine particle screening	function:	Screening Separation Sorting Screening
Engine:	Vertical Vibration Motor	capacity:	10 kg-10 t/h
Noise level:	Low 75 dB	Amplitude:	4mm to 8mm
Local Service Location:	None	After-sales Service Provided:	Online support, Video technical support
Certification:	CE ISO		

**Nota.** Esta figura representa las especificaciones del tamiz vibratorio. Tomado de: Alibaba. Multi layer linear vibrating screen powder sieving machine. [https://www.alibaba.com/product-detail/Multi-layer-linear-vibrating-screen-powder\\_62314123244.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Multi-layer-linear-vibrating-screen-powder_62314123244.html)

## Especificaciones silo de almacenamiento



View larger image



Add to Compare

### Quick Details

Condition:	New	Applicable Industries:	Farms
Showroom Location:	United States, Indonesia, India, Mexico, Thailand, Japan, Ma...	Video outgoing-inspection:	provided
Machinery Test Report:	provided	Marketing Type:	new product 2021
Core Components:	silos body	Warranty of core components:	1year
Place of Origin:	Shandong, China	Material:	Steel
Dimension(L*W*H):	according to the model	Brand Name:	Hailong
Warranty:	2 years	Weight:	2.5T-34T
Size:	according to silo size	Key Selling Points:	automatic animal feeding ,labor saving
After-sales Service Provided:	Free spare parts, Field installation, commissioning and train...	Local Service Location:	Indonesia, India, Thailand, Malaysia, Chile, Bangladesh

automatic silo de almacenamiento grain bins for small farms animal feeder

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

**COP 1,860,515.43 - COP 5,775,349.97** / Set | 1 Set/Sets(Min. Order)

Capacity:

Model Number:

Lead Time	Quantity(Sets)	1 - 1	>1
	Est. Time(days)	7	To be negotiated

Support:  2 years for machinery warranty |  1 year for Core Components

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

**Nota.** Esta figura representa las especificaciones del silo de almacenamiento. Tomado de: Alibaba. Automatic silo de almacenamiento grain bins for small farms animal feeder. [https://www.alibaba.com/product-detail/automatic-silo-de-almacenamiento-grain-bins\\_1600232617359.html](https://www.alibaba.com/product-detail/automatic-silo-de-almacenamiento-grain-bins_1600232617359.html)

## Especificaciones tanque de almacenamiento



[View larger image](#)



Warehousing tank stainless steel

[Steady Order Pricing](#)

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

**COP 1,948,868.75 - COP 38,977,375.00** | 1 / (Min. Order)

Benefits



US \$3,000 Coupons [Apply Now >](#)

Model Number:

Shipping: [Support Sea freight](#)

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Protection: [Trade Assurance](#) protection your alibaba.com order

[On-time Dispatch Guarantee](#)

[Refund Policy](#)

## Overview

### Quick Details

Brand Name: BLS  
After-sales Service Provided: Overseas third-party support available

Place of Origin: Zhejiang, China  
Type: Grain Processing Equipment

**Nota.** Esta figura representa las especificaciones del tanque de almacenamiento de aceite crudo de palma. Tomado de: Alibaba. Tomado de: Alibaba. Warehousing tank stainless steel. [https://www.alibaba.com/product-detail/Warehousing-tank-stainless-steel\\_300002668043.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Warehousing-tank-stainless-steel_300002668043.html)

## ANEXO 2.

### DESCRIPCIÓN DE COSTOS Y GASTOS

#### NÓMINA

Los requerimientos de personal requeridos en la planta piloto son dos operarios, un jefe de producción y un asistente administrativo, los costos asociados a este personal son sus salarios y prestaciones, que incluye el salario básico y en dado caso el auxilio de transporte, las cargas prestacionales (cesantías, intereses de cesantías, prima de servicios y vacaciones), la seguridad social (salud, pensión y ARL) y los parafiscales (caja de compensación) [104], y se exponen a continuación:

#### *Nómina*

Trabajador	Operario 1	Operario 2	Jefe de producción	Asistente administrativo	TOTAL	
<b>Salario</b>	\$ 1.200.000,00	\$ 1.200.000,00	\$ 5.000.000,00	\$ 1.500.000,00	<b>\$ 8.900.000,00</b>	
<b>Aux. Transporte</b>	\$ 106.454,00	\$ 106.454,00	\$ 0,00	\$ 106.454,00	<b>\$ 319.362,00</b>	
<b>Cargas Prestacionales</b>	Cesantías (8,33%)	\$ 108.827,62	\$ 108.827,62	\$ 416.500,00	\$ 133.817,62	<b>\$ 767.972,85</b>
	Prima de servicios (8,33%)	\$ 108.827,62	\$ 108.827,62	\$ 416.500,00	\$ 133.817,62	<b>\$ 767.972,85</b>
	Vacaciones (4,17%)	\$ 50.040,00	\$ 50.040,00	\$ 208.500,00	\$ 62.550,00	<b>\$ 371.130,00</b>
	Intereses Cesantías (1% mensual)	\$ 13.059,31	\$ 13.059,31	\$ 49.980,00	\$ 16.058,11	<b>\$ 92.156,74</b>
<b>Seguridad Social</b>	Salud (8,5%)	\$ 102.000,00	\$ 102.000,00	\$ 425.000,00	\$ 127.500,00	<b>\$ 756.500,00</b>
	Pensión (12%)	\$ 144.000,00	\$ 144.000,00	\$ 600.000,00	\$ 180.000,00	<b>\$ 1.068.000,00</b>
	ARL	\$ 52.200,00	\$ 52.200,00	\$ 217.500,00	\$ 7.830,00	<b>\$ 329.730,00</b>
<b>Parafiscales</b>	Caja compensación (4%)	\$ 48.000,00	\$ 48.000,00	\$ 200.000,00	\$ 60.000,00	<b>\$ 356.000,00</b>
<b>Valor Anual (COP)</b>	<b>\$ 20.112.602,55</b>	<b>\$ 20.112.602,55</b>	<b>\$ 78.401.480,00</b>	<b>\$ 24.127.651,35</b>	<b>\$ 142.754.336,45</b>	

Para la ARL se tuvo en cuenta un porcentaje de 0,522% para el asistente administrativo ya que se considera Nivel de Riesgo I, mientras que, para los operarios y el jefe de producción, se cotizó con un porcentaje de 4,350%, considerados Nivel de Riesgo IV.

## SERVICIOS

Las tarifas para el servicio de agua fueron tomadas de la empresa del Acueducto para el sector industrial en la ciudad de Bogotá 2021 [105]. De las tarifas de energía eléctrica (\$/kWh) reguladas por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) presentadas por Enel para el mes de octubre 2021 [106], se tomó la tarifa industrial para propiedad de cliente.

### Servicios

Servicio		Cargo fijo (\$/Subscriber/2 meses)	Precio consumo (\$/m3)	Consumo Bimensual (m3)	Total Anual (COP)
Agua	Acueducto	\$18.210,90	\$3.819,48	50,00	\$1.255.109,40
	Alcantarillado	\$8.722,60	\$4.073,44	50,00	\$1.274.367,60
<b>TOTAL AGUA</b>					<b>\$2.529.477,00</b>
		Consumo Mensual (kWh)	Consumo Anual (kWh)	Tarifa (COP x kWh)	Total Anual (COP)
Luz	Oficina	50,00	600,00	\$670,04	\$402.024,72
	Equipos	2749,12	32989,44	\$670,04	\$22.104.283,96
<b>TOTAL LUZ</b>					<b>\$22.506.308,68</b>
		Precio mensual (COP)			Total Anual (COP)
Comunicación	Internet	\$90.000,00			\$1.080.000,00
	Celular	\$70.000,00			\$840.000,00
<b>TOTAL COMUNICACIÓN</b>					<b>\$1.920.000,00</b>

El 80% de los servicios de agua y luz se cargan a los costos de producción, mientras que el 20% restante y los servicios de comunicación se cargan a los gastos administrativos.

## ARRENDAMIENTO BODEGA

Para determinar el valor del arrendamiento se tomó como referencia el inmueble 734-M2781259, publicado por metrocuadrado.com. Esta bodega está localizada en la localidad de Fontibón, ciudad de Bogotá y cuenta con un área construida de 350 m<sup>2</sup> [107].

Se encuentra en arrendamiento por un valor de \$6.000.000 de pesos, para un total anual de \$72.000.000, de los cuales, el 80% se carga como costo de producción y el otro 20% como gasto administrativo.

## **SERVICIOS GENERALES Y SEGURIDAD Y VIGILANCIA**

El costo de las subcontrataciones para servicios generales y seguridad y de vigilancia se contempló de la siguiente manera:

- Servicios generales: 20 SMLV anuales (1SMLV = \$908.526), lo cual corresponde a \$18.170.520.
- Seguridad y vigilancia: \$3.000.000 mensuales, para un total anual de \$36.000.000.

### **ANEXO 3.**

#### **RECOMENDACIONES**

Disminuir el contenido de humedad de la borra de café mediante un sistema de secado que utilice energía solar para tener un proceso sostenible y hacer los correspondientes estudios técnicos y financieros.

Tomando como base el diseño conceptual presentado en este trabajo, plantear la ingeniería detallada para el proceso y reevaluar los indicadores financieros de forma que se confirme la viabilidad financiera.

Escalar el proceso de manera que se tenga una participación más significativa en el mercado y el costo unitario del producto final disminuya, lo cual influye en que el precio de venta sea más competitivo en el mercado.