

**SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EN INDUSTRIA
SOLUBILIZADORA DE CAFÉ**

KAREN ADRIANA BENAVIDES ARCILA

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍA
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES
MANIZALES CALDAS.**

2022

**SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EN INDUSTRIA
SOLUBILIZADORA DE CAFÉ**

KAREN ADRIANA BENAVIDES ARCILA

**Informe de seminario especializado para optar por el título de especialista en
procesos de alimentos y biomateriales**

Asesor

ANDREA VÁSQUEZ GARCÍA

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍA
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y BIOMATERIALES
MANIZALES CALDAS.**

2022

Nota de aceptación:

Firma del calificador

Firma del director

Firma del Coordinador

MANIZALES CALDAS. 11 octubre de 2022

Contenido

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	10
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
MARCO TEÓRICO.....	11
Residuos generados por el proceso de cultivo e industrialización del café:.....	11
Cisno del café	11
Borra de café	12
Industrialización del café soluble	12
Biocombustible.....	12
Caldera De Biocombustible	12
Combustión Directa De Biomasa.....	13
Optimización de procesos:.....	13
Ingeniería del Producto	13
DESARROLLO DEL PROYECTO	15
Etapas del proceso de solubilización.....	15
Tostado.....	15
Molienda	15
Extracción	15
Clarificación	15
Secado	15
Optimización del proceso biotecnológico.....	17
Fase 1. Planeación del Producto	18
Fase 2. Desarrollo del Concepto:.....	19
Fase 3. Arquitectura del Diseño	19
Fase 4. Diseño Industrial	24
Fase 5. Diseño para el ambiente	24
Fase 6. Diseño de Manufactura.....	25
INFOGRAFIA.....	26
Viabilidad del proyecto	27
Sustentación de la propuesta del proyecto	27
CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFIA.....	29

LISTA DE IMÁGENES

Imagen Nº 1. Metodología de diseño según Ulrich y Eppinger.

Imagen Nº2 Diagrama del proceso de solubilización de café.

Imagen Nº 3. Composición orgánica de la borra.

Imagen Nº 4. Diagrama de proceso de prensado (Filtración por tamiz).

Imagen Nº 5. Diagrama de proceso de combustión de borra.

Imagen Nº 6. Diagrama de flujo del proceso de solubilización para recuperar borra.

Imagen Nº 7 Infografía normatividad nacional e internacional vigente en el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos.

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Características de las operaciones unitarias involucradas en el proceso.

Tabla N° 2. Lista de análisis de laboratorio para borra seca.

RESUMEN

En la solubilizadoras de café la borra o ripio que se genera en las fábricas de producción representa cerca del 10% del peso del fruto fresco, es por esto que se quiere dar un valor agregado al proceso aprovechando los residuos de borra que se generan en las etapas de extracción y clarificación logrando un ahorro significativo en los costos de disposición final de dichos residuos y de igual manera con el combustible para la Caldera. Se espera aprovechar hasta un 80% de los residuos generados. Actualmente la fábrica solubilizadora de café ubicada en la ciudad de Manizales Caldas genera 100 kilos de cascarilla de la etapa de recibo y Tosti3n, 9700 kilos de borra de la etapa de extracci3n y 6000 kilos de lodos de la etapa de clarificaci3n, con el montaje de un tamiz y un decanter para retener m3s del 80% de las part3culas de borra que son enviadas a la Ptar, se disminuir3 considerablemente el costo de disposici3n de los residuos s3lidos de la PTAR, costo de transporte y costo de disposici3n de borra en el relleno sanitario, se disminuir3 la carga en la PTAR, disminuyendo el uso de insumos qu3micos, tales como coagulante, floculante, soda caustica y la borra recuperada ser3 utilizado como combustible de la Caldera.

Palabras clave: Borra de caf3, biocombustible, ingenier3a de producto, Calidad procesos, caldera.

INTRODUCCIÓN

El café es la segunda bebida más consumida en el mundo, preparada mediante una infusión a partir de granos molidos, siendo así uno de los productos agrícolas más cultivados en gran parte del mundo. Colombia es el tercer productor mundial de café produciendo y exportando únicamente café de alta calidad (Premium), con una alta demanda de producción debido a sus renovados y resistentes cafetales que producen una mayor densidad de siembra¹.

Uno de los principales residuos en el proceso de molienda de los granos es la borra de café, la cual representa cerca del 10,4% del peso de fruto fresco. En los procesos de obtención de café soluble se evidencia gran producción de este residuo tanto a nivel doméstico como industrial, donde se estima que una tonelada de café verde genera cerca de 650 kg de borra de café, siendo una cantidad considerable que finalmente se convierte en un problema en cuanto a su descomposición, en razón a que exige una alta demanda de oxígeno y la posible liberación de cafeína residual.

Al no ser reciclado o recolectado correctamente puede terminar en vertederos, ocasionando el incremento de contaminación ambiental, contaminación a fuentes hídricas, afectando la calidad del agua y a su vez la salud de las personas. Lo anterior conlleva a una pérdida de ganancias para los caficultores².

Las tecnologías que usan fuentes renovables en la generación de energía, tales como biomasa, eólica, solar, hidráulica o geotérmica están en capacidad de proveerla de una forma sostenible, con emisiones netas de gases de efecto invernadero cercanas a cero. De las anteriores tecnologías, la generación de electricidad a partir de biomasa cobra un papel relevante en el abastecimiento energético y cooperación en el desarrollo de comunidades rurales y zonas no interconectadas en los países en vías de desarrollo.

Cabe apuntar que el uso de la biomasa en la generación de energía, principalmente energía eléctrica, crea oportunidades de emprendimiento en estas comunidades lo que les permite aumentar sus posibilidades de desarrollo con el fin de generar un mejor bienestar social. Una de las fuentes renovables de energía de mayor evolución en el mundo es la biomasa, de hecho, es la más primitiva de las fuentes de energía conocidas por el hombre. En los últimos años las tecnologías dedicadas a su aprovechamiento han permitido desarrollar combustibles para transporte y generación de energía eléctrica y térmica a partir de los recursos biomásicos³. La biomasa es un combustible de origen

¹ CANDELA HERRAN, Jonattan. LOZANO CORTES, Lissa. Caracterización de un sistema de combustión a base de pellets de borra de café para la operación de la caldera pirotubular didáctica de la fundación universidad de América. En *Fundación universidad de América*. Bogotá. 2022. Disponible en: (<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8858/1/210112-2022-1-IM.pdf>)

² Ibid., p.20.

³ ARENAS CASTELLANO, Daniel. Propuesta de diseño de un proceso para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de la producción de café. En P. U. Javeriana. Bogotá. 2009. Disponible en: (<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7371/tesis407.pdf>)

renovable, orgánico, de obtención ilimitada y de generación en cuanto a emisiones de gases efecto invernadero bajas. Actualmente, se ha convertido en una alternativa energética para diferentes sectores como es el caso de la generación de energía térmica a través de las calderas de combustión, el precio de la biomasa no depende de mercados internacionales comparado con los combustibles de origen fósil, por lo que se considera de alta viabilidad y estabilidad a través del tiempo⁴. (Candela Herrán & Lozano Cortés, 2022)

⁴ CANDELA. Óp.cit., p.20.

OBJETIVOS

Diseñar una propuesta para el aprovechamiento de la borra de café como combustible directo en calderas que genera vapor como fuente de energía que puede ser utilizada en procesos de producción y como valor agregado reducir el impacto ambiental generado por este tipo de proceso.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Diagnosticar el proceso de aprovechamiento actual de la borra de café.
2. Evaluar las variables de operación de uso de la borra de café como combustible directo en caldera.
3. Determinar las especificaciones técnicas del proceso.
4. Determinar los análisis fisicoquímicos que se deben tener en cuenta para caracterizar la borra a nivel laboratorio.

MARCO TEÓRICO

Residuos generados por el proceso de cultivo e industrialización del café:

En el proceso del café se estima que menos del 5% de la biomasa generada se aprovecha en la elaboración de la bebida, el resto queda en forma de residual representado en materiales lignocelulósicos como hojas, ramas y tallos, generados en el proceso de renovación de los cafetales; frutos verdes que se caen durante la recolección o que se retiran de la masa de café recolectado; pulpa o exocarpio del fruto, que representa aproximadamente el 44% del fruto fresco; y la borra o ripio, que se genera en las fábricas de producción de café soluble cuando se prepara la bebida a partir del grano tostado y molido, que representa cerca del 10% del peso del fruto fresco y con un contenido de aceite entre el 10% y el 15% en base seca⁵.

La necesidad de los países de aumentar su matriz energética, ha impulsado la investigación y producción de los biocombustibles. Sin embargo, se ha generado una gran polémica por la utilización de materias primas que se emplea para alimentación humana y animal, como el caso de la caña de azúcar, cereales y aceite de palma, y por el balance energético del proceso productivo que, en algunos casos, es negativo. Por lo tanto, se está investigando en la generación de biocombustibles de segunda generación, provenientes de biomasa residual o de especies vegetales que no se utilizan para la alimentación⁶.

Cisco del café:

Endocarpio del fruto, constituido por la cascarilla (cisco) y la película plateada, es un subproducto con excelentes propiedades combustibles. Puede ser utilizado como combustibles directo, el cisco representa en peso el 4,2% del fruto fresco. Se reporta una capacidad calórica de 17,90 MJ/kg. También se ha utilizado como sustrato en el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus*⁷.

En Colombia, se han llevado a cabo algunos experimentos para probar la efectividad de la cascarilla de café como materia prima en la co-gasificación del carbón. En estos experimentos se usaron mezclas de biomasa de entre el 6% y el 15% de cantidad de biomasa combinada con carbón. Así mismo se concluye que aunque en la gasificación de la biomasa reduce la eficiencia energética, esta reducción no es relevante y por el

⁵ RODRIGUEZ VALENCIA, Nelson y ZAMBRANO FRANCO, Diego. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. En Cenicafé. Colombia. 2010. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>

⁶ Ibid., p.2.

⁷ MURCIA PALACIOS, Diego y GONZALES VERA, Andres. 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. Disponible en: (<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7783/1/6151497-2020-1-IQ.pdf>)

contrario se obtiene un beneficio en la reducción de las emisiones de CO₂ al usar la biomasa como una fuente renovable de energía⁸.

Borra de café:

Residuo que se genera en las fábricas de café soluble y corresponde a la fracción liposoluble del grano tostado. Representa cerca del 10% del peso del fruto fresco. Es usado como combustibles directo en las fábricas de café después del proceso de prensado y secado hasta el rango del 8% al 15% de humedad, la borra se utiliza como combustible en las calderas generadoras de vapor de agua. Su valor calorífico está entre 24,91 MJ/kg y 29,01 MJ/kg de borra seca⁹.

Industrialización del café soluble:

Se conoce cómo industrialización del café soluble al proceso por el cual se transforma el café verde, en café seco en polvo granulado, que se puede disolver rápidamente en agua caliente para ser consumido¹⁰.

Para obtener el café soluble se utilizan dos procesos distintos: el secado por aspersión y la liofilización. En los dos casos, el tueste del café se hace a menor temperatura (entre 190 y 210 °C) y a continuación es molido y solubilizado en agua caliente. El líquido obtenido se centrifuga y luego se seca. El secado por aspersión se realiza por aire caliente, mientras que en la liofilización se realiza por congelación brusca a bajas temperaturas. El café obtenido equivale aproximadamente a una tercera parte del peso del café verde.

Biocombustible:

Son los combustibles sólidos, líquidos o gaseosos elaborados a partir de biomasa, además, son renovables y buenas alternativas para sustituir los combustibles fósiles. El biodiesel, los bioalcoholes, el biogás, el gas de síntesis y biocombustibles sólidos como la madera, el carbón vegetal y el aserrín, son algunos de los ejemplos que pertenecen al grupo de los biocombustibles¹¹.

Caldera De Biocombustible:

Las calderas de biomasa funcionan de forma similar a cualquier otro tipo de caldera. Su diferencia radica en el tipo de combustible que emplea. De igual manera, el calor generado durante la combustión se transmite mediante un circuito de agua caliente. La alimentación de las calderas de biomasa se realiza mediante un contenedor dónde se almacena el biocombustible, desde este contenedor sale un tornillo sin fin que orienta la

⁸ ARENAS. Óp cit., p.52.

⁹ RODRIGUEZ. Óp., cit., p.4.

¹⁰ Ibid., p.5.

¹¹ CANDELA. Óp. cit., p.22.

biomasa al interior de la caldera en la cual se realizará el proceso de combustión y generación de energía térmica. El residuo generado son cenizas, que son acumuladas en la parte inferior denominada cenicero que debe ser vaciado y limpiado dependiendo su uso¹².

Combustión Directa De Biomasa:

En el proceso de combustión la biomasa o sus biocombustibles derivados, se oxidan hasta dióxido de carbono (CO₂) y agua. Este proceso se realiza a altas temperaturas entre 800 y 1000°C, utilizando como agente oxidante el aire. La combustión de la biomasa inicia con la liberación de energía en forma de calor y otros productos como el dióxido de carbono, agua en forma de vapor y sales minerales contenidas en la biomasa empleada, además de pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno, azufre, monóxido de carbono, partículas de carbono y otros productos orgánicos resultantes de la combustión incompleta de la biomasa¹³.

Optimización de procesos:

La optimización de procesos es la disciplina que se encarga de adaptar los procesos para optimizar sus parámetros, pero sin infringir sus límites. Generalmente, tiene como objetivos minimizar costos y maximizar el rendimiento, la productividad y la eficiencia.

Ingeniería del Producto: La ingeniería del producto, también puede ser llamada como el desarrollo del producto, la cual abarca temas como el diseño y desarrollo del equipo terminado, selección de materiales (requerimiento de materia prima) desde la concepción hasta la finalización del mismo. Comprende actividades referidas con optimizar el costo de producción, así como la facilidad de fabricación del mismo. La ingeniería del producto se subdivide en los siguientes conceptos como se puede ver en la Imagen N°1; planeación del producto, identificación de las necesidades del cliente, especificaciones del cliente, generación de conceptos, arquitectura del diseño, diseño industrial, diseño para el ambiente y diseño de manufactura¹⁴.

Imagen N° 1.

Metodología de diseño según Ulrich y Eppinger



Fuente: ESTRADA, Susy. Presentación Prezi. Diseño y desarrollo de productos. Calidad en la innovación de productos, procesos y servicios. {En línea}. {01 Octubre 2022} Disponible en: <https://prezi.com/rraktgv592kg/diseño-y-desarrollo-de-productos-ulrich-y-eppinger-2013/>

¹² CANDELA. Óp. cit., p.23.

¹³ Ibid., p.24.

¹⁴ ULRICH, Karl. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos (5ta ed.). México: Mc Graw Hill Education.2013.

El método de Karl T. Ulrich abarca todos los campos que intervienen en el desarrollo de un proyecto de diseño. Para el proceso de desarrollo de producto, Ulrich emplea una metodología estructurada fundamentada en seis fases. Cada fase describe las actividades a desarrollar en los departamentos que comúnmente existen en una empresa¹⁵:

Fase 1. Planeación del Producto: Parte inicial que consta de 5 pasos¹⁶:

- 1) Identificar oportunidades.
- 2) Evaluar y dar prioridad a proyectos.
- 3) Asignar recursos y planear tiempos.
- 4) Completar la planeación del anteproyecto.
- 5) Reflexionar en los resultados y el proceso.

Fase 2. Desarrollo del Concepto¹⁷:

- 1) Identificar las necesidades.
- 2) Establecer las especificaciones objetivo.
- 3) Generar Conceptos del producto.
- 4) Seleccionar el concepto del producto.
- 5) Probar concepto.
- 6) Establecer especificaciones finales.
- 7) Planear el desarrollo descendente.

Fase 3. Arquitectura del Diseño: Esquema en donde los elementos funcionales del producto se transforman en trozos físicos; se establece durante el desarrollo del concepto y las fases de desarrollo del diseño a nivel del sistema. Los elementos funcionales son las operaciones y transformaciones que corresponden a su rendimiento general. Los elementos físicos son las partes, subconjuntos y componentes que ponen en práctica las funciones del producto, estos están organizados en un conjunto de componentes llamados trozos los cuales ponen en práctica las características del mismo; siendo el elemento más importante el medio por el cual estos interactúan¹⁸.

Fase 4. Diseño Industrial: Tiene como principal misión diseñar los aspectos relacionados con el usuario final en relación al producto (estética y ergonomía)¹⁹.

Fase 5. Diseño para el ambiente: Representa para las empresas un método práctico de reducir tales secuelas en un esfuerzo por crear una sociedad más sustentable²⁰.

Fase 6. Diseño de Manufactura: Busca reducir costos de manufactura y simultáneamente ir mejorando la calidad del producto, tiempo y costo de desarrollo. El diseño de manufactura incluye la fase de desarrollo del concepto y fase de diseño a nivel de sistema, teniendo información de los costos de manufactura²¹.

¹⁵ ULRICH. Óp. cit., p 53.

¹⁶ Ibid., p 53.

¹⁷ Ibid., p 73.

¹⁸ Ibid., p 183.

¹⁹ Ibid., p 207.

²⁰ Ibid., p 229.

²¹ Ibid., p 251.

DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se evaluó en una fábrica solubilizadora de Manizales donde actualmente la fábrica solubilizadora de café ubicada en la ciudad de Manizales Caldas genera 100 kilos de cascarilla de la etapa de recibo y Tostión, 9700 kilos de borra de la etapa de extracción y 6000 kilos de lodos de la etapa de clarificación, con el montaje de un tamiz y un decanter para retener más del 80% de las partículas de borra que son enviadas a la Ptar, se disminuirá considerablemente el costo de disposición de los residuos sólidos de la PTAR, costo de transporte y costo de disposición de borra en el relleno sanitario, Se disminuirá de la carga en la PTAR, disminuyendo el uso de insumos químicos, tales como coagulante, floculante, soda caustica y la borra recuperada será utilizado como combustible de la Caldera.

Etapas del proceso de solubilización:

Tostado: Debido a las propiedades que trae el café verde que lo hacen poco apetecible, se debe someter a un proceso de secado a altas temperaturas que provocan cambios químicos y físicos; y en consecuencia dan al café características de aroma, sabor y color propios²².

Molienda. Con este procedimiento se busca reducir el tamaño del grano y aumentar la superficie de contacto, lo que facilita la extracción de sólidos solubles.

Extracción: El café luego del proceso de tostado y molienda, se somete a una extracción sólido-líquido por medio de inyección de agua caliente a alta presión. Dicho proceso se hace dentro de una batería de cilindros verticales.

Clarificación: Se realiza una filtración para remover los componentes no solubles restantes.

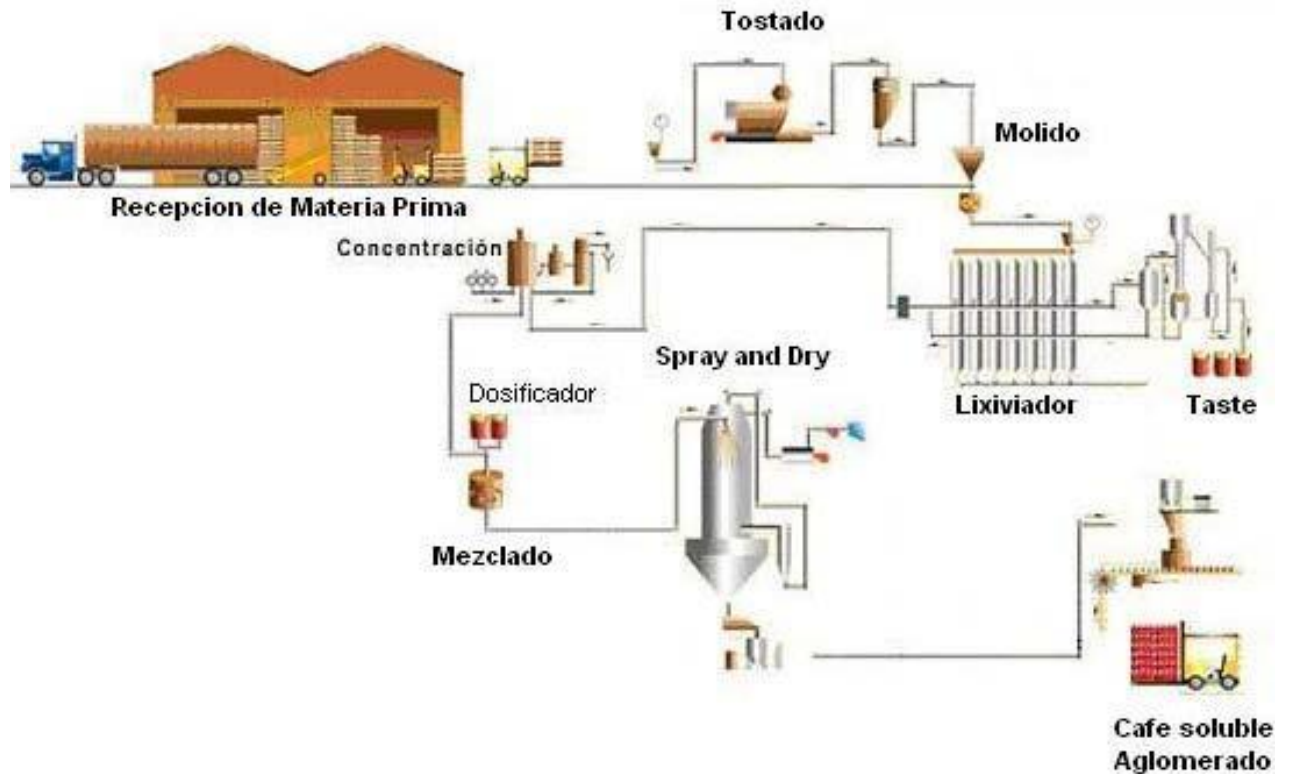
Secado: El extracto obtenido en la clarificación tiene alto contenido de agua, por lo cual se hace necesario reducirla; para esto se inyecta el café en una torre de deshidratación donde las finas gotas, al contacto con el vapor, van secándose hasta llegar a la parte inferior de la torre que contiene una humedad inferior al 5%.

A continuación, se detallan las etapas del proceso de solubilización de café, en la imagen N° 2 se puede ver el diagrama de flujo del proceso.

²² ARENAS. Óp. cit., p 147.

Imagen N°2

Diagrama del proceso de solubilización de café.



Fuente: RAMIREZ ROMERO, Gerardo. MORAN SILVA, Alejandro. PEÑA AVILA, Juan Carlos. & ARTEAGA, Mario Ricardo. Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de café soluble endulzado con acesulfame. México. 2005.

Una vez explicadas cada una de las etapas del proceso de solubilización y ver en el diagrama de flujo en que etapas del proceso se recupera la borra de café, se detalla en la Tabla N°1 cada una de las operaciones unitarias involucradas en el proceso de transformación:

Tabla N° 1.

Características de las operaciones unitarias involucradas en el proceso

OPERACIÓN UNITARIA	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
Filtración Borra de café húmeda	<p>Emplear un tamiz vibratorio para separar la borra de café húmedo.</p> <p>La muestra inicialmente tiene una humedad promedio del 50% y se pretende separar el agua de la borra para tener borra con un promedio de humedad del 15%.</p> <p>El tamaño de partícula promedio de la borra que se genera en el área de extracción esta alrededor de 4 – 5 mm, por lo tanto se empleará un tamiz con tamaño de apertura de 0.425mm.</p>
Decantador Centrífugo Deshidratación de lodos de café	<p>Emplear un decantador centrífugo para deshidratar los lodos de café provenientes de la clarificadora de proceso.</p> <p>La muestra tiene una humedad inicial promedio del 99% y se busca separar la borra contenida en el lodo con una humedad del 25%.</p> <p>El tamaño de partícula promedio de la borra en lo lodos que se generan de la clarificadora este alrededor de 0.2 mm.</p>

Optimización del proceso biotecnológico

La herramienta que se seleccionó para optimizar el proceso de uso de subproductos del café como alternativa energética en industria solubilizadora, fue Ingeniería de producto según el libro de Ulrich y Eppinger, Diseño y Desarrollo de Productos: Quinta Edición²³.

²³ ULRICH. Óp. cit., p 53.

Fase 1. Planeación del Producto

El aprovechamiento de la borra de café como combustible directo en caldera genera vapor como fuente de energía que puede ser utilizada en procesos de producción y como valor agregado reduce el impacto ambiental generado por este tipo de residuo²⁴.

Diagnóstico del proceso de aprovechamiento de borra de café:

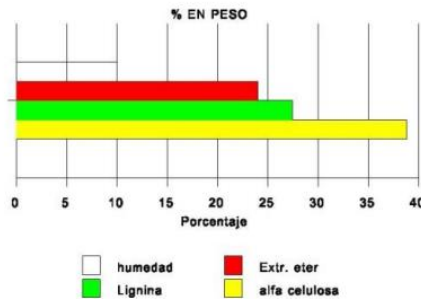
La borra del café es el residuo obtenido del proceso de producción del café soluble y corresponde a la fracción insoluble del grano tostado. Su composición química muestra que tiene alto contenido de grasas, por lo cual se puede usar como combustible²⁵.

La borra está compuesta de partículas finas de café molido torrefactado de tamaño un tamaño aproximadamente de 1,22 mm, su textura es porosa y de color negro, con densidades muy bajas 400 Kg/m³.²⁶

Composición química: La composición como se muestra en la imagen N°3 se basa en elementos como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, cenizas y porcentaje de humedad. La borra se encuentra constituida por celulosa hasta 64% de la fibra total, lignina hasta el 36% de la fibra total, hemicelulosas entre 22% y 27%, extractos libres de nitrógeno 13% al 18%²⁷.

Imagen N°3.

Composición orgánica de la borra.



Fuente: Rojas Moreno, H. Diseño y cálculo del sistema de producción de energía térmica y su aprovechamiento a partir de la borra de café para la planta de DECAFÉ S.A. Manizales. 1999. Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Químico, *Fundación Universidad de América*.

²⁴ DE LUCAS HERGUEDAS, Ana Isabel, DEL PESO TARANCO, Carlos, RODRIGUEZ GARCIA, Encarna, & PRIETO PANIAGUA, Prado. Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT. 2012. Disponible en: (<http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>)

²⁵ PINZÓN LONDOÑO, Laura Angélica. Propuesta de un sistema de secado solar termico para biomasa de café tipo borra en la planta de Bugalagrande de Nestlé S.A. Bogotá. 2016. Proyecto integral de grado de grado para optar el título de Ingeniera Química.

²⁶ Ibid., p.25.

²⁷ Ibid., p 26.

Fase 2. Desarrollo del Concepto:

Potencia calorífica: Se puede hallar de forma teórica o experimental de acuerdo a las calorías que contiene la borra en cuanto a carbono, hidrogeno, azufre, y oxígeno, que están presentes en el momento de la combustión. La borra entre el 8 al 15% de humedad se utiliza como combustible en calderas generadoras de vapor de agua. Su valor calorífico está en un rango de 24,91 MJ/kg a 29,01 MJ/kg²⁸.

Punto de inflamación: La temperatura de inflamación de la borra se calcula basada en sus condiciones como material orgánico de similares características a otros materiales como la cascarilla de arroz o el bagazo de caña, se relaciona con dichos materiales tomando temperatura de inflamación en un rango de 650°C a 370°C²⁹.

Genizas: Se forman debido a la combustión de la borra con oxígeno a altas temperaturas. Se caracterizan por un color más oscuro que la borra, tienen baja densidad y alta volatilidad; además están compuestas por potasio, calcio, y silicio³⁰.

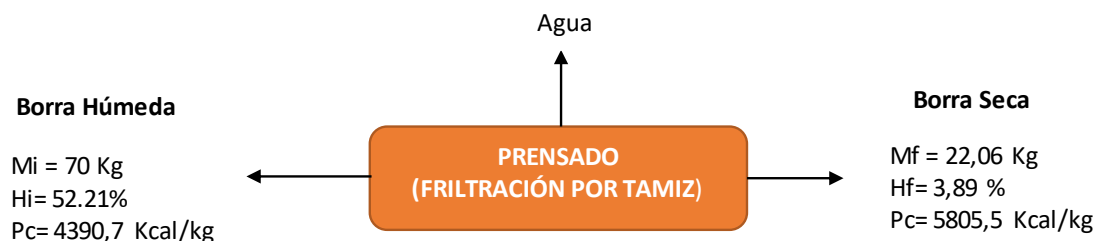
Fase 3. Arquitectura del Diseño:

Prensado (Filtración con tamiz):

La borra sale del proceso de extracción con 80% de Humedad aproximadamente. Para reducir el contenido de humedad es sometida a diferentes procesos como prensado donde se busca reducir el contenido de humedad a un valor aproximado del 63% como se puede en el diagrama de la imagen N°4³¹.

Imagen N° 4.

Diagrama de proceso de prensado (Filtración por tamiz)



Fuente: PINZÓN LONDOÑO, Laura Angélica. Propuesta de un sistema de secado solar termico para biomasa de café tipo borra en la planta de Bugalagrande de Nestlé S.A. Bogotá. 2016. Proyecto integral de grado de grado para optar el título de Ingeniera Química.

²⁸ PINZON. Óp. cit., p 26.

²⁹ Ibid., p 27.

³⁰ Ibid., p 28.

³¹ Ibid., p 27.

Dónde:

Mi = masa inicial.

Hi = humedad inicial.

Pc = poder calorífico.

Mf = masa final.

Hf = humedad final.

La ecuación que describe el cálculo para la relación de borra húmeda con respecto a la borra seca y la cantidad de agua retirada en el proceso es:

$$\mathbf{Be = Bs + Ca}$$

Dónde:

Be = Cantidad de borra a la entrada del proceso.

Bs = Cantidad de la borra a la salida del proceso.

Ca = Cantidad de agua filtrada.

Para calcular la cantidad de agua que se pierde en el proceso, se despeja Ca de la ecuación anterior:

$$\mathbf{Ca = Be - Bs}$$

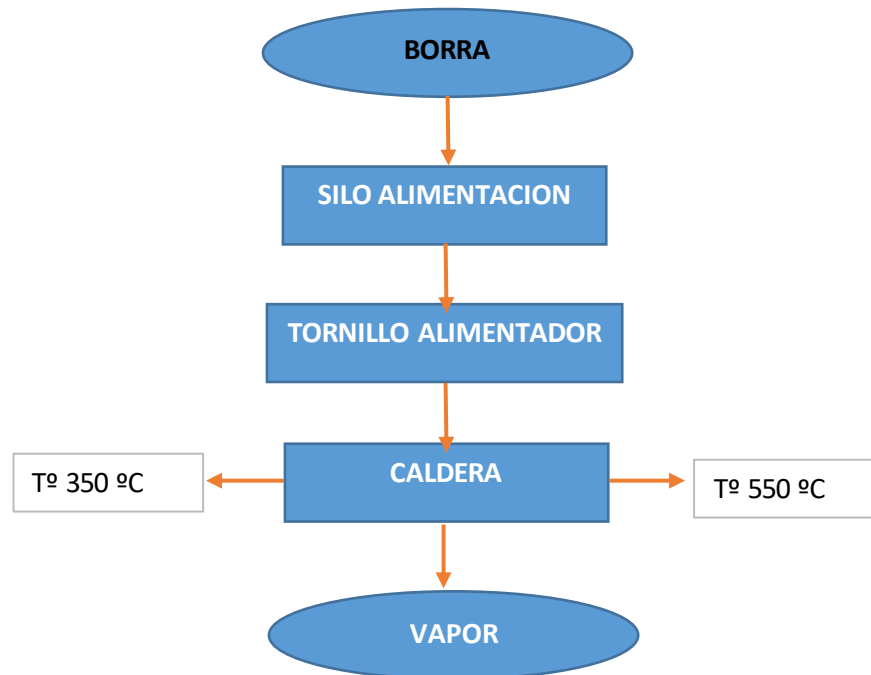
$$Ca = 70Kg - 22,06Kg$$

$$Ca = 47,94 Kg$$

Proceso de combustión: Se describe en la Imagen N° 5 el proceso para la combustión con la borra de café.

Imagen N° 5.

Diagrama de proceso de combustión de borra.



La borra se recuperará en una caldera pirotubular de parrilla viajera interna, con capacidad hasta de 1000 BHP; cuando está operando, la caldera para su operación tiene controles y equipos totalmente independientes, a la vez que cuenta con un sistema automatizado, el cual está monitoreado continuamente en la sala de control las variables de trabajo, como nivel de agua, presión de vapor, velocidad de los diferentes motores, estado de funcionamiento de todos los equipos y de sus periféricos, etc.

La caldera se debe precalentar hasta 350°C apoyado con un quemador de biodiesel, al lograr esa temperatura se ingresa la borra almacenada en el silo ubicado justo al lado de la caldera, por medio de tornillos alimentadores; ahí aumenta la temperatura del lecho hasta 550°C apoyado por un quemador de gas simultáneamente se eleva la hasta 650°C. El set point de la caldera para la presión de vapor es 19 bar³².

Especificaciones técnicas:

Para determinar específicamente las condiciones a las cuales se presentó la borra luego de ser sometida al proceso de filtración la borra de café seca debe ser sometida a pruebas de laboratorio para determinar las características y evaluar el cambio en sus propiedades, los parámetros analizar se listan en la tabla N°2.

³² PINZON. Óp. cit., p29.

Tabla Nº 2.

Lista de análisis de laboratorio para borra seca.

<i>Parámetros</i>	<i>Unidad</i>
<i>Humedad Total</i>	%
<i>Cenizas</i>	%
<i>Materia Volátil</i>	%
<i>Carbono Fijo</i>	%
<i>Azufre</i>	%
<i>Poder Calorífico</i>	Kcal/kg

Contenido De Humedad: Es uno de los parámetros más importantes que influyen de forma indirectamente proporcional a la eficiencia del combustible sólido, en razón a que si el producto contiene un alto contenido de humedad se necesitará generar más energía para realizar el proceso de combustión, y por lo tanto se afectará el poder calorífico³³.

Para la determinación del % de humedad del sólido se usa la norma ASTM D 3302 (Método de prueba estándar para Humedad total), tomando como referencia el análisis para el carbón, ya que la borra tiene características similares.

Cenizas: Las cenizas deben ser analizadas detalladamente con el fin de prever posibles daños en los elementos con los que pueda tener contacto el sólido, si la temperatura de esta sobre pasa el punto de fusión, se podría llegar a presentar taponamiento de los ductos de alimentación, así como una disminución en la transferencia de calor por incrustaciones³⁴.

Se trabaja con la norma ASTM 3174- 11 (Método de prueba estándar para Ceniza en el análisis de la muestra de carbón).

Materia volátil: El contenido en materia volátil se determina a través de la pérdida de masa, menos la que se debe a la humedad, cuando el biocombustible sufre un

³³ PINZON. Op. cit., p.43.

³⁴ DE LUCAS HERGUEDAS, Ana Isabel, DEL PESO TARANCO, Carlos, RODRIGUEZ GARCIA, Encarna, & PRIETO PANIAGUA, Prado. Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT. 2012. Disponible en:

(<http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>)

proceso de calentamiento sin estar en contacto con el aire bajo una serie de condiciones. Es necesario controlar la velocidad de calentamiento, la temperatura y el tiempo de ensayo para reproducir de forma correcta los resultados ya que son ensayos experimentales y pueden verse afectados por cualquier parámetro³⁵.

Azufre: De acuerdo a la normatividad legal el contenido de azufre de las emisiones o suspensiones de crudos pesados o combustible en agua o cualquier otro líquido, o los de carbón mineral en agua, en hidrocarburos o en cualquier otro líquido no deberá ser superior a 1,7% en peso, cuando éstas se utilicen como combustible en hornos o calderas dentro del territorio nacional³⁶.

Para determinar que la borra seca cumple con esta regulación se analizó mediante la norma ASTM D 4239 titulada Métodos de prueba estándar para el azufre en el análisis de la muestra de carbón y coque de uso alto de temperatura en horno de combustión.

Poder calorífico: El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa y se expresa como la cantidad de energía por unidad física (ej. Joule por kilogramo). Es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente ³⁷.

La borra puede ser comparada con un carbón subbituminoso, por su poder calorífico, debido a que el poder calorífico de un carbón de este tipo está comprendido en el rango de 4.614,8 Kcal/Kg y 6.394 Kcal/Kg rango en el que también se encuentra la borra³⁸.

³⁵ CANDELA. Óp. cit., p 45.

³⁶ PINZON. Óp. cit., p 44.

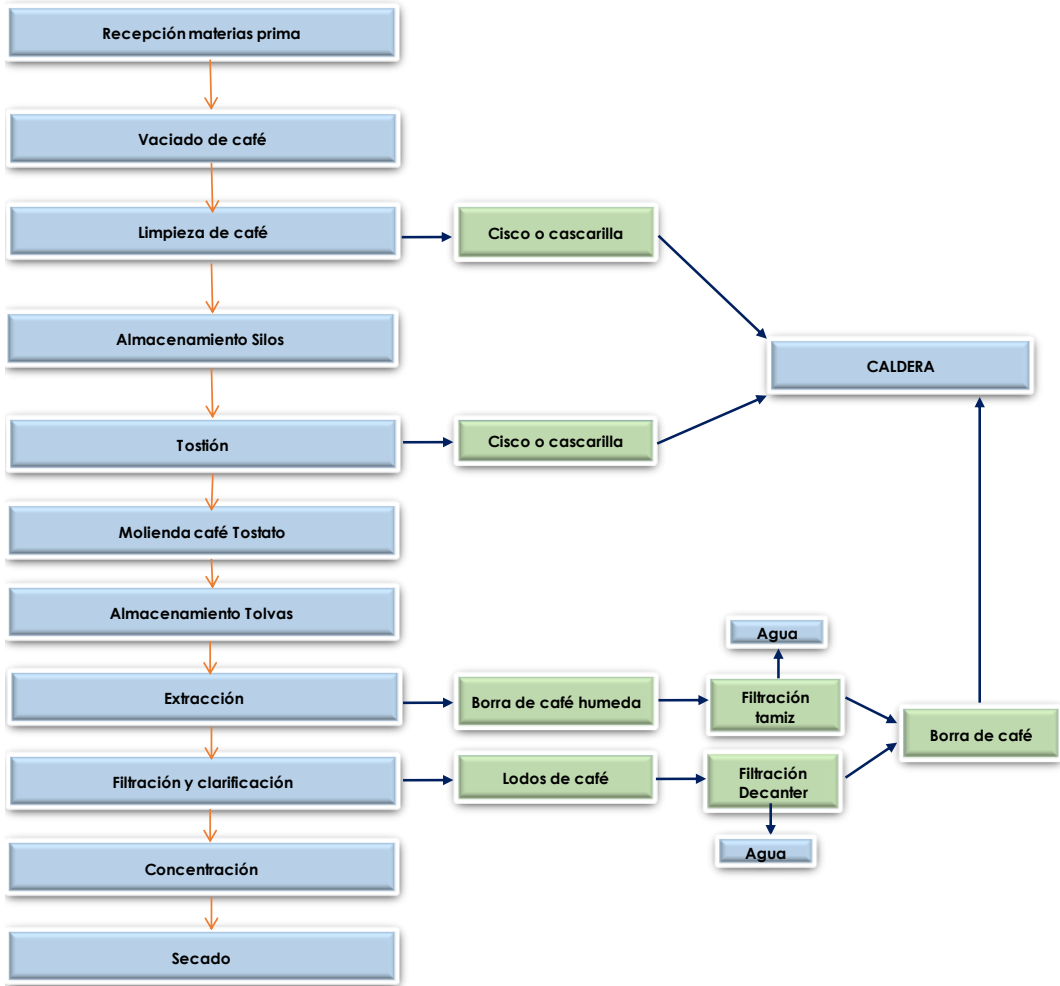
³⁷ DE LUCAS. Óp. cit., p 16.

³⁸ PINZON. Óp. cit., p 44.

Fase 4. Diseño Industrial

Imagen N° 6.

Diagrama de flujo del proceso de solubilización para recuperar borra.



Obtención de la borra de café: En la Imagen N° 6 se describe el proceso de obtención de borra como residuo a partir de la etapa de extracción del proceso de café soluble.

Fase 5. Diseño para el ambiente

El aprovechamiento de este residuo como combustible directo en calderas genera vapor como fuente de energía que puede ser utilizada en procesos de producción. Como valor agregado reduce el impacto ambiental generado por este tipo de proceso.

La planta de café soluble ubicada en Manizales, Colombia; genera diariamente alrededor de 97.000 kilogramos de borra de café por día de producción. Actualmente cuenta con un sistema de aprovechamiento de este residuo, pero siempre buscando prácticas y procedimientos enfocados a minimizar el uso de recursos naturales como agua y energía, a la prevención de la contaminación y el soporte en la aplicación de técnicas amigables con el medio ambiente.

Es por esto que se quiere dar un valor agregado al proceso aprovechando los residuos que se generan desde el ingreso de la materia prima y proceso de tostado como la cascarilla y los residuos de borra que se generan en las etapas de extracción y clarificación logrando un ahorro significativo en los costos de disposición final de dichos residuos y de igual manera con el combustible para la Caldera. Se espera aprovechar hasta un 80% de los residuos generados. Actualmente la fábrica solubilizadora de café ubicada en la ciudad de Manizales Caldas genera 100 kilos de cascarilla de la etapa de recibo y Tostión, 9700 kilos de borra de la etapa de extracción y 6000 kilos de lodos de la etapa de clarificación, con el montaje de un tamiz y un decanter para retener más del 80% de las partículas de borra que son enviadas a la Ptar, se disminuirá considerablemente el costo de disposición de los residuos sólidos de la PTAR, costo de transporte y costo de disposición de borra en el relleno sanitario, Se disminuirá de la carga en la PTAR, disminuyendo el uso de insumos químicos, tales como coagulante, floculante, soda caustica y la borra recuperada será utilizado como combustible de la Caldera.

Fase 6. Diseño de Manufactura

Análisis costos de implementación: Debido a que la viabilidad de este proyecto se basa en la posterior implementación de un sistema de filtración por prensado para borra de café, con proyección a la producción de borra de café en la planta, no se consideró efectuar un estudio económico que permitiera la viabilidad del proyecto, por lo tanto, se presenta únicamente los costos que se deben evaluar y tener en cuenta para la inversión inicial.

Costos de Activos: Para determinar los activos, se nombran como referencia los materiales necesarios para la implementación del proyecto: Silo para almacenar borra, ducto para trasladar la borra al silo y Tamiz.

Costos mano obra: Contar con mano de obra calificada, capaz de realizar la construcción de la infraestructura.

INFOGRAFIA

En la imagen adjunta N° 7, se realizó una infografía que resume la Normatividad nacional e internacional vigente en el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos.

Imagen N° 7

Infografía normatividad nacional e internacional vigente en el desarrollo de productos y procesos biotecnológicos



Fuente (Benavides Karen Adriana- creación propia)

VIABILIDAD DEL PROYECTO

Este proyecto es un acercamiento teórico y técnico con el fin de determinar la viabilidad de implementar tecnologías para el aprovechamiento energético de uno de los principales principales residuos en las plantas solubilizadoras de café. La borra de café es un subproducto que se genera en las etapas de extracción y clarificación, por lo tanto el trabajo está enfocado en documentar, estudiar y analizar el escenario en el cual se buscaría dar un valor agregado al subproducto, buscando un ahorro significativo en la disposición final del producto como el costo de disposición de los residuos sólidos de la PTAR, costo de transporte y costo de disposición de borra en el relleno sanitario, buscando disminuir la carga en la PTAR lo que generaría una disminución en el uso de insumos químicos como coagulante, floculante y soda caustica, generando un impacto positivo en la disminución de contaminación ambiental. Adicionalmente darle un valor agregado al subproducto con el objetivo de optimizar el proceso de combustión de la caldera empleando una fuente de combustible menos contaminante para la caldera y generando vapor como fuente de energía que puede ser utilizada en procesos de producción y como valor agregado reducir el impacto ambiental generado por este tipo de proceso. La inversión del proyecto se va ver reflejado en la disminución de costos en la disposición de la cascarilla y en la ganancia energética para el proceso de producción.

SUSTENTACIÓN DE LA PROPUESTA DEL PROYECTO

https://drive.google.com/file/d/1t7EUGERCEEHeb2D6duVz-zhrJbckWo_1/view?usp=sharing

CONCLUSIONES

- Se desarrolla un proyecto con acercamiento teórico y técnico con el fin de determinar la viabilidad de implementar tecnologías para el aprovechamiento energético de uno de los principales principales residuos en las plantas solubilizadoras de café.
- Se empleo la herramienta de Ingeniería de producto según el libro de Ulrich y Eppinger para optimizar el proceso de uso de subproductos del café como alternativa energética en industria solubilizadora, que permitió detallar cada una de las etapas para evaluar la viabilidad.

BIBLIOGRAFIA

ARENAS CASTELLANO, Daniel. Propuesta de diseño de un proceso para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de la producción de café. En P. U. Javeriana. Bogotá. 2009. Disponible en: (<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7371/tesis407.pdf>)

CANDELA HERRAN, Jonattan. LOZANO CORTES, Lissa. Caracterización de un sistema de combustión a base de pellets de borra de café para la operación de la caldera pirotubular didáctica de la fundación universidad de América. En *Fundación universidad de América*. Bogotá. 2022. Disponible en: (<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8858/1/210112-2022-1-IM.pdf>)

DE LUCAS HERGUEDAS, Ana Isabel, DEL PESO TARANCO, Carlos, RODRIGUEZ GARCIA, Encarna, & PRIETO PANIAGUA, Prado. Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT. 2012. Disponible en: (<http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>)

ESTRADA, Susy. Presentación Prezi. Diseño y desarrollo de productos. Calidad en la innovación de productos, procesos y servicios. {En línea}. {01 Octubre 2022} Disponible en: <https://prezi.com/rraktgv592kg/disen-y-desarrollo-de-productos-ulrich-y-eppinger-2013/>

IE. Ingenio Empresa. Los 5 Por qué: Análisis de causa raíz basado en preguntas. {En línea}. {02 Octubre de 2022}. Disponible en: <https://www.ingenioempresa.com/los-5-por-que/>

MURCIA PALACIOS, Diego Andres. GONZALES VERA, Andres Felipe. 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. Disponible en: (<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7783/1/6151497-2020-1-IQ.pdf>)

PINZÓN LONDOÑO, Laura Angélica. Propuesta de un sistema de secado solar termico para biomasa de café tipo borra en la planta de Bugalagrande de Nestlé S.A. Bogotá. 2016. Proyecto integral de grado de grado para optar el título de Ingeniera Química.

RAMIREZ ROMERO, Gerardo. MORAN SILVA, Alejandro. PEÑA AVILA, Juan Carlos. & ARTEAGA, Mario Ricardo. Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de café soluble endulzado con acesulfame. México. 2005.

RODRIGUEZ VALENCIA, Nelson. ZAMBRANO FRANCO, Diego Antonio. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. En Cenicafe. Colombia. 2010. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>

Rojas Moreno, H. Diseño y cálculo del sistema de producción de energía térmica y su aprovechamiento a partir de la borra de café para la planta de DECAFÉ S.A. Manizales. 1999. Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Químico, *Fundación Universidad de América*.

SERLIDER NET. Obtenido de Espina de pescado por Kaoru Ishikawa. {En Línea}. {01 Octubre de 2022}. Disponible en: (<https://www.sergerente.net/espina-de-pescado-por-kaoru-ishikawa>)

ULRICH, Karl. EPPINGER, Steven. Diseño y desarrollo de productos (5ta ed.). México: Mc Graw Hill Education. 2013.

VILCHEZ ESPINAL, Jorge Luis. Propuesta de mejora de calidad en los procesos para la fabricación de calderas a vapor en una empresa del sector metalmecánica. Lima. Perú. 2016. Disponible en: (<file:///D:/Descargas/Cybertesis%20Jorge%20Luis%20V%C3%ADlchez.pdf>)