4.2.7. Cromatografía de gases

Es una técnica analítica e instrumental que tiene como objetivo separar y analizar los componentes de una mezcla, en este caso de un gas.

4.2.8. Grado de reactividad

La relación VM/FC aumenta el grado de reactividad de la biomasa. Cuando mayor sea este factor, más fácil será el encendido y cuanto más bajo sea el tiempo para que se da la combustión sea mayor, por ende, este también es un indicativo de las propiedades caloríficas que puede tener la briqueta.

4.2.9. Densidad

Es una propiedad, su importancia radica en la influencia que tiene sobre el peso que tendrá la briqueta dependiendo de las materias primas.

4.3. Propiedades mecánicas

4.3.1. Fuerza de compresión

Es relevante la compresión perpendicular de las briquetas debido a que la axial es apenas percibida, aunque, es muy inferior a la de la dirección paralela. Sus valores característicos varían entre 4.3 y 5.7 N/mm. Así las cosas, cuanto mayor es la presión de compactación mayor es la fuerza de compresión de las briquetas producidas. Un índice de manipulación oscila entre 1.96 N/mm de acuerdo a lo establecido por Rahman et al, 1989 citado por Ramírez, 2021.

4.3.2. Índice de resistencia al impacto

La resistencia de la materia prima es un parámetro importante debido a que se basa en la capacidad de resistencia que tiene una briqueta a la fuerza que se le puede realizar, también es importante resaltar que este es el propósito principal del aglutinante, ya que permite solidificar el conjunto de materias primas, de acá su importancia de medir. Esta resistencia se ve afectada por caracteristicas como:

- Contenido de agua.
- Estabilidad de los agregados.
- Densidad aparente.
- Porosidad.

Ese parámetro favorece la combustión y procesos como la molienda, sin embargo en algunas situaciones puede producir problemas en la etapa de transporte y manipulación.

4.3.3. Calidad

La calidad de las briquetas requiere de estándares que definen su calidad en la producción, cuando se establecen se contribuye a simplificar la oferta de biocombustibles, su estandarización garantiza que cada combustible cumpla con las demandas de combustión y por tanto otorgue garantías en su uso.

4.4. Selección de muestras para caracterizar

Una vez realizada la caracterización de unidades productivas en los municipios de Cogua, Nemocón y Tausa (Cundinamarca), se identificó que en el área objeto del presente proyecto no existe una oferta de briquetas. Así las cosas, se procedió a realizar una consulta de información secundaria que permitiera establecer si en un área cercana existen productores de briquetas.

Por lo anterior, fue posible identificar que en el departamento de Boyacá se identificaron empresarios que se dedican a la producción de briquetas como combustible para la quema de materiales de construcción en los hornos de fuego dormido, apuntando al cumplimiento del objetivo del proyecto, estos se encuentran localizados en los municipios de Sáchica, Chivata y Sogamoso; los empresarios identificados son: Julio Cabra (Ladrillera El Espiral), Juan Carlos y Diego López (Ladrillera El Virrey) y Antonio López (Ladrillos L y R).

Esta información fue corroborada por ASOMINERCÓN, quienes ya habían realizado un canto previo con algunas de estas unidades, por tanto, se logró establecer un contacto telefónico para indicarle el motivo e interés por el cual, CAEM deseaba realizar una visita a sus unidades productivas y explicar el trabajo que se está realizando con la gobernación de Cundinamarca.

De esta manera, el día 22 de septiembre el equipo CAEM realizó las visitas a cada una de las unidades productivas identificadas, allí se realizó un levantamiento de información primaria sobre la operación de cada empresa y como se desarrolla su proceso productivo. Así mismo, se recolectaron muestras de las briquetas producidas para su posterior envió al laboratorio para su respectivo análisis.

A continuación, se realiza una descripción de lo evidenciado en cada unidad productiva.

4.4.1 Julio Cabra (Ladrillera El Espiral)

Julio Cabra cuenta con una ladrillera constituida desde el año 2005, ubicada en la Vereda El Espinal del municipio de Sáchica en el departamento de Boyacá. Las coordenadas de la ladrillera son las siguientes:

Tabla 8. Localización Ladrillera El Espiral

PREDIO	LATITUD (N)	LONGITUD (W)
Ladrillera	5.6084 N	73.5582 W

Fuente: CAEM, 2023.

Su ubicación en el departamento se puede observar en la siguiente imagen:

Imagen 2.Localización municipio de Sáchica (Boyacá)



Fuente: Google maps, 2023.

La Ladrillera cuenta con una planta de producción constituida hace más de 18 años, opera con un horno fuego dormido, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 9. Especificaciones Técnicas Horno Colmena.

Fuente fija	Horno
Actividad industrial	Cocción de materiales de arcilla
Tipo de fuente	Circular
Marca	Horno Fuego dormido
Modelo	N/A
Serie	N/A
Capacidad/presión nominal o de diseño	147 Ton/mes
Promedio de operación (anual)	1764 Ton/año
Tipo de proceso	Fisicoquimico
Fecha de fabricación	2005
Fecha de operación	2013
Emisión de contaminantes	MP, SO2, NOx, HCl, HF
Frecuencia de mantenimiento	Anual

Datos de combustible	Tipo	Carbón, Briquetas
	Proveedor	CoalBriquetas
	Procedencia	Chivata Boyacá
	Consumo Nominal	Carbón: 13 Ton Briquetas: 6 Ton
	Consumo Real	Carbón 12 Ton Briquetas: 5 Ton
	Sistema de Alimentación	Manual
	Tipo de alimentación	Pila o montón bajo techo
Tiempo de funcionamiento		24 h/día – 7 días/semana
Cuenta con plataforma de muestreo		NO

Fuente: CAEM, 2023.

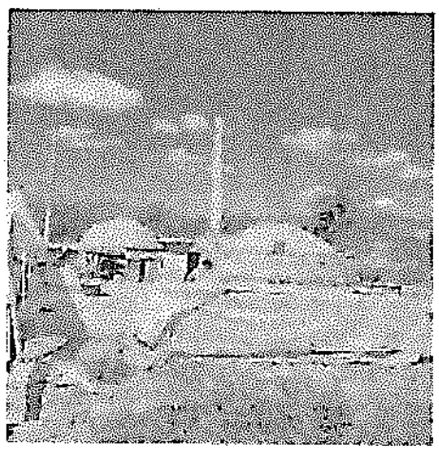
En la siguiente tabla se presentan las características de la chimenea del horno:

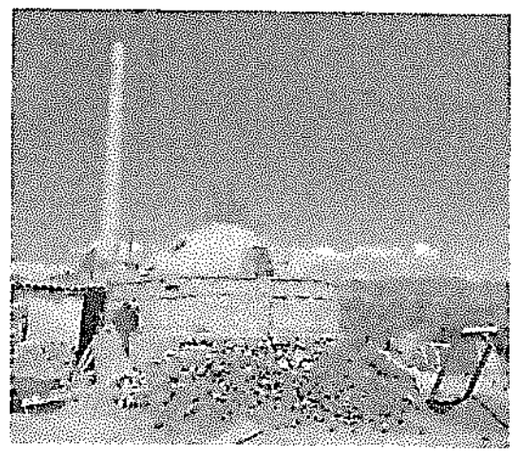
Tabla 10. Características de la Chimenea Horno Colmena

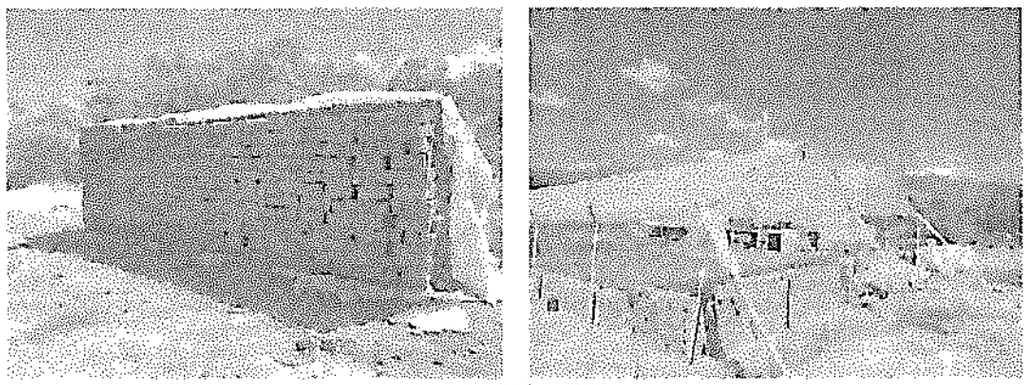
Características de la fuente			
Fuente	Fijo (Horno Colmena)	Tipo	Circular
Diámetro (m)	80	Numero de niples	2
Radio (m)	40	Altura total de la chimenea (m)	18

Fuente: CAEM, 2023.

A continuación, se pueden observar los hornos de fuego dormido visitados por la corporación:





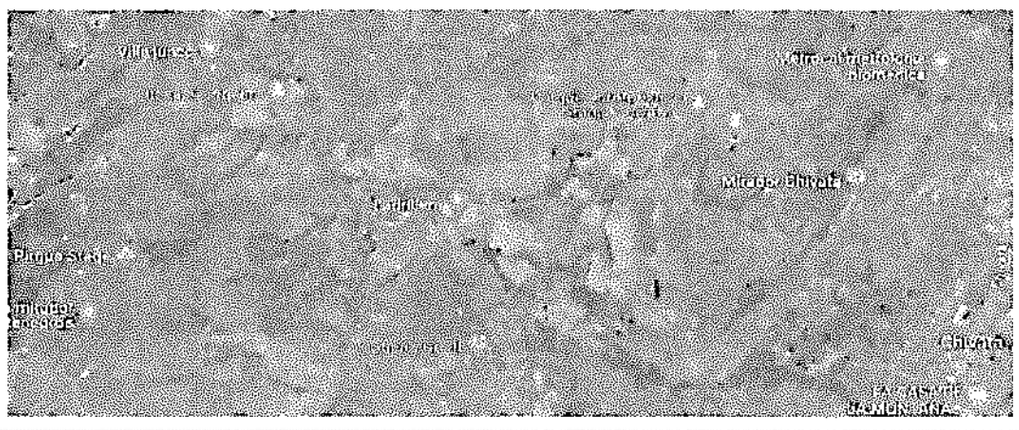


Fuente: CAEM, 2023.

4.4.2 Juan Carlos y Diego López (Ladrillera El Virrey)

La ladrillera El Virrey, se encuentra ubicada en la Vereda Ricaya Sur del municipio de Chivatá en el departamento de Boyacá, sus administradores son los señores Juan Carlos López y Diego López conocidos como los hermanos López en el sector ladrillero.

Imagen 4. Localización municipio de Chivatá (Boyacá)



Fuente: CAEM, 2023.

Las coordenadas donde se localiza la ladrillera son las siguientes:

Tabla 11. Localización Ladrillera El Virrey

PREDIO	LATITUD (N)	LONGITUD (W)
Ladrillera	5.5633 N	73.3008 W

Fuente: CAEM, 2023.

La Ladrillera cuenta con una planta de producción constituida hace más de 10 años, opera con un horno colmena, el cual tiene las siguientes características:

Tabla 12.Especificaciones Técnicas Horno Colmena.

Fuente fija		Horno
Actividad industrial		Cocción de materiales de arcilla
Tipo de fuente		Circular
Marca		Horno Tipo colmena
Modelo		N/A
Serie		N/A
Capacidad/presión nominal o de diseño		336 Ton/mes
Promedio de operación (anual)		3696 Ton/año
Tipo de proceso		Fisicoquímico
Fecha de fabricación		2012
Fecha de operación		2018
Emisión de contaminantes		MP, SO2, NOx, HCl, HF
Frecuencia de mantenimiento		Anual
Datos de combustible	**Tipo**	Carbón, Briquetas
	Proveedor	CoalBriquetas
	Procedencia	Chivata Boyacá
	Consumo Nominal	Carbón: 8 Ton Briquetas: 26 Ton
	Consumo Real	Carbón 7 Ton Briquetas: 25 Ton
	Sistema de Alimentación	Manual
	Tipo de alimentación	Pila o montón bajo techo
Tiempo de funcionamiento		24 h/día – 7 días/semana
Cuenta con plataforma de muestreo		NO

Fuente: CAEM, 2023.

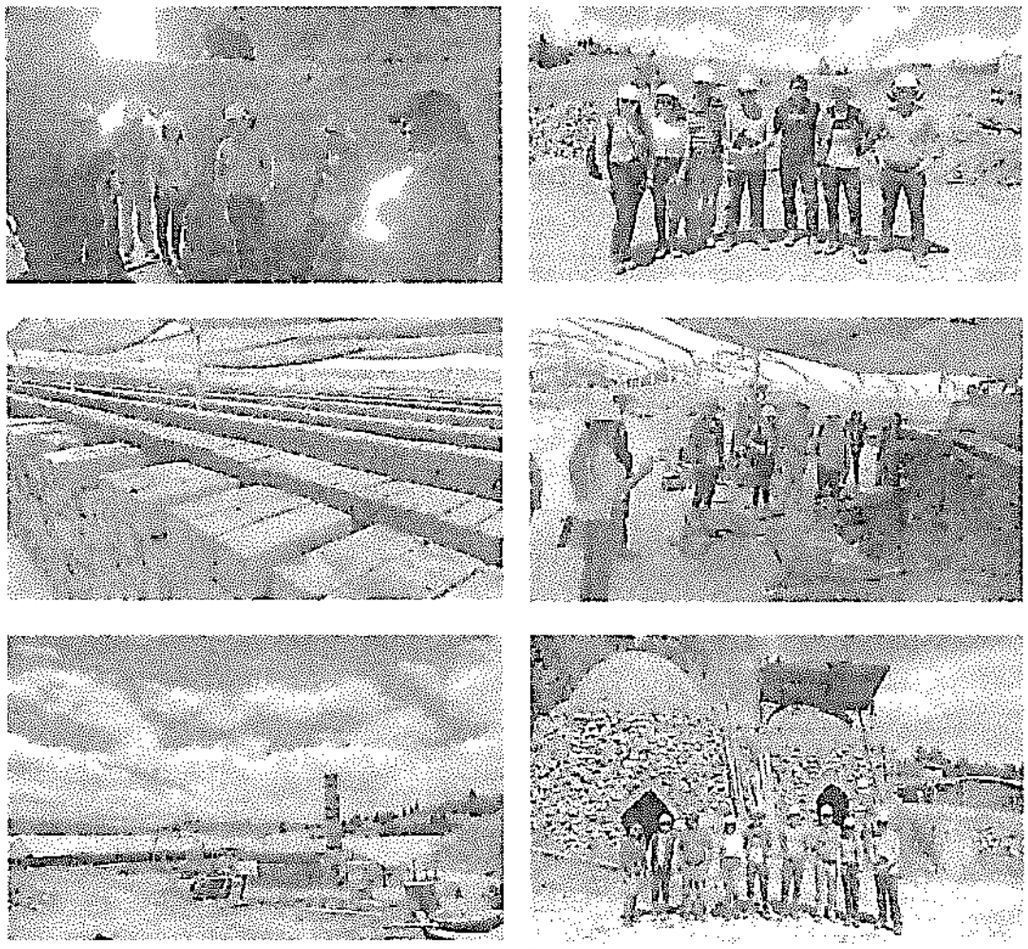
En la siguiente tabla se presentan las características de la chimenea del horno:

Tabla 13. Características de la Chimenea Horno Colmena

Características de la fuente			
Fuente	Fijo (Horno Colmena)	**Tipo**	Circular
Diámetro (m)	0.95	**Numero de niples**	2
Radio (m)	47.5	**Altura total de la chimenea (m)**	18

Fuente: CAEM, 2023.

A continuación, se pueden observar parte del registro fotográfico de la visita realizada:



Fuente: CAEM, 2023.

4.4.3 Antonio López (Ladrillos L y R).

Antonio López Rodríguez cuenta con una ladrillera constituida desde el año 2020, ubicada en la Vereda Buena Vista del del municipio de Sogamoso en el departamento de Boyacá. Las coordenadas de la ladrillera son las siguientes:

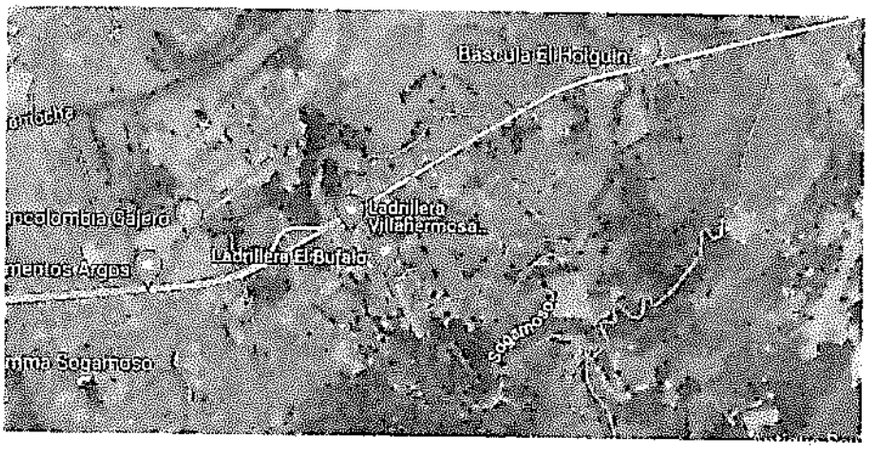
Tabla 14.Localización Ladrillera Buena Vista

PREDIO	LATITUD (N)	LONGITUD (W)
Ladrillera	5.753480 N	-72.881265 W

Fuente: CAEM, 2023.

En la siguiente imagen se puede observar su localización:

Tabla 15. Localización municipio de Sogamoso(Boyacá)



Fuente: Google maps, 2023.

La Ladrillera cuenta con una planta de producción constituida hace 3 años, opera con un horno fuego dormido el cual tiene las siguientes características:

Tabla 16. Especificaciones Técnicas Horno Colmena.

Fuente fija		Horno
Actividad industrial		Cocción de materiales de arcilla
Tipo de fuente		Circular
Marca		Horno fuego dormido
Modelo		N/a
Serie		N/a
Capacidad/presión nominal o de diseño		198 ton/mes
Promedio de operación (anual)		2376ton/año
Tipo de proceso		Fisicoquímico
Fecha de fabricacion		2020
Fecha de operacion		2020
Emisión de contaminantes		Mp, so2, nox, hcl, hf
Frecuencia de mantenimiento		Anual
Datos de combustible	**Tipo**	Carbón, briquetas
	Proveedor	Coalbriquetas
	Procedencia	Chivata boyacá
	Consumo nominal	Carbón: 8 ton Briquetas: 10 ton

	Consumo real	Carbón 6 ton Briquetas: 8 ton
	Sistema de alimentación	Manual
	Tipo de almacenamiento	Pila o montón bajo techo
Tiempo de funcionamiento		24 h/día – 7 días/semana
Cuenta con plataforma de muestreo		No

Fuente: CAEM, 2023.

En la siguiente tabla se presentan las características de la chimenea del horno:

Tabla 17. Características de la Chimenea Horno Colmena

CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE			
Fuente	Fijo (Horno Colmena)	**Tipo**	Circular
Diámetro (m)	80	**Numero de niples**	2
Radio (m)	40	**Altura total de la chimenea (m)**	5

Fuente: CAEM, 2023.

A continuación, se puede observar la unidad productiva durante la visita de campo realizada por la corporación:



Fuente: CAEM, 2023.

Posterior a las visitas realizadas se evidenció que los empresarios visitados: Julio Cabra (Ladrillera El Espiral) y Antonio López (Ladrillos L Y R) usan briquetas, el proveedor de Briquetas es Coal Briquetas, propiedad de los hermanos López, estas briquetas fueron entregadas por el empresario para realizar el análisis de laboratorio y composición correspondiente.

La segunda muestra, fue suministrada por la empresa VillBurg localizada en Tunja (Boyacá), empresa dedicada a la fabricación de briquetas para el sector industrial debido a que no fue posible conseguir otras muestras por parte de los empresarios visitados.

Para poder tener un comparativo adecuado, se decidió incluir una tercera muestra en el municipio de Nemocón ya que hace parte del área de influencia del proyecto; por lo tanto, se seleccionó al empresario Jhon Castillo, empresario caracterizado en Nemocón dentro de las unidades productivas del proyecto.

A. **Briquetas VillBurg – Tunja (Boyacá):** Empresa dedicada a la fabricación de briquetas en Tunja, proceso de producción mecanizado, razón por la cual hacen parte del análisis próximo.

Imagen 4. Localización empresa Villburg (Boyacá)



Fuente: Google maps, 2023.

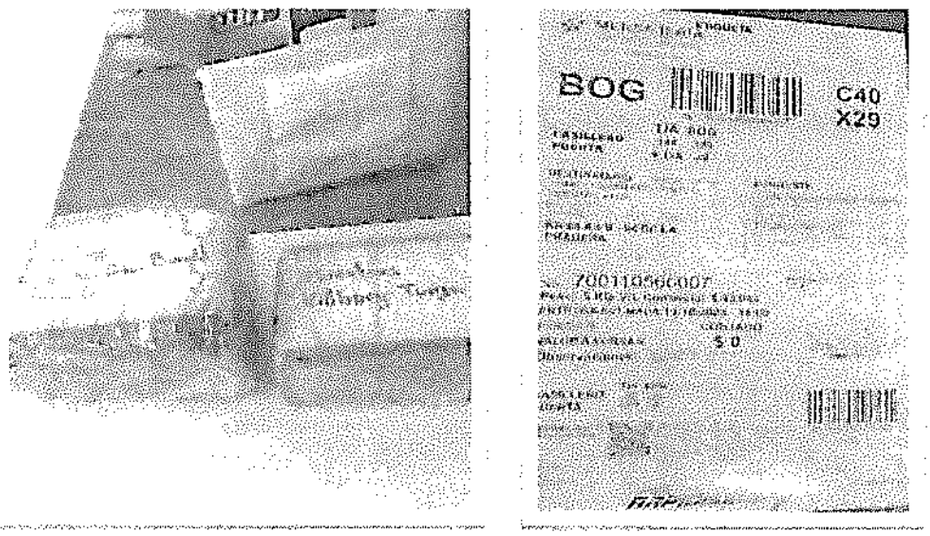
B. **Hermanos López – Chivata (Boyacá):** Se tuvieron en cuenta dentro de la caracterización, ya que estas briquetas serán usadas para la quema del horno colmena, en el cual se realizará las mediciones isocinéticas. Su localización se presentó en nel numeral anterior.

C. **Jhon Castillo – Nemocón (Cundinamarca):** Se tuvieron en cuenta dentro del análisis de briquetas, primero, por el proceso de producción artesanal y uso en la quema de sus propios hornos de fuego dormido ubicados en el Municipio de Nemocón -

Cundinamarca y segundo porque el empresario hace parte de las 20 unidades productivas que se caracterización en la etapa 1 del proyecto. A continuación, se señala el predio denominado Cueva Ahumada identificada con cedula catastral No. 25486000000000050105000000000, predio donde se ubica el proyecto.

Las muestras de briquetas de Jhon Castillo y Villburg fueron enviadas el 12 de octubre al laboratorio Mintec Ceramic. Las briquetas de los hermanos López, fueron enviadas al laboratorio el 18 de octubre de 2023.

Imagen 5. Muestras de briquetas enviadas la laboratorio

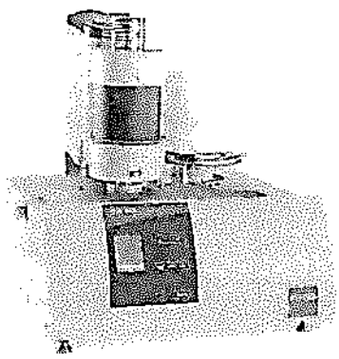


Fuente: CAEM, 2023.

El día 31 de octubre, se recibieron los resultados por parte del laboratorio MINTEC Ceramic LTDA, donde se presentan los resultados obtenidos de las 3 muestras enviadas, el objetivo fue analizar las propiedades intrínsecas por medio de análisis próximo de carbón, el cual de acuerdo a la norma ASTMD 3172 se define como la determinación de Humedad, cenizas, material volátil, carbono fijo, azufre total, poder calorífico e índice de hinchamiento.

Para el análisis próximo se usó un termogravímetro mostrado en la imagen 6 se usó 1g de cada muestra previamente preparada. Esta metodología se basó en la norma ASTM

Imagen 6. Muestras de carbón en laboratorio

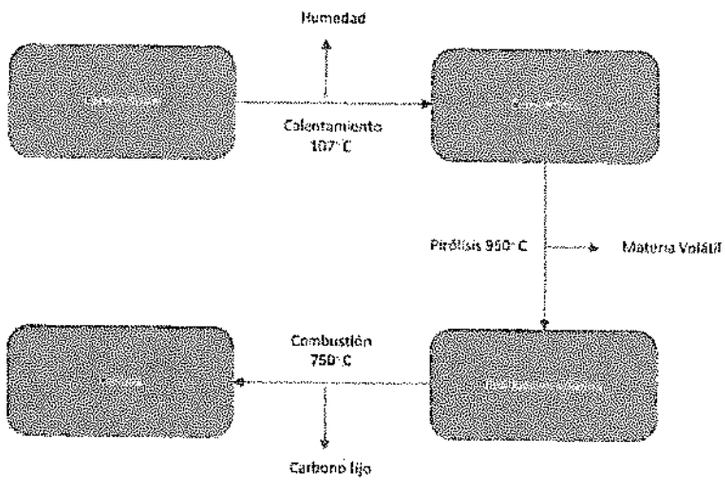


Fuente: https://www.medicalexpo.es, 2023.

En el análisis termogravimétrico se usó una rampa que va desde una temperatura ambiente hasta un valor predeterminado, donde se mantuvo por un tiempo específico. Las muestras analizadas se encontraban en una atmosfera controlada y sus cambios en la masa fueron continuamente registrados por el instrumento en función de la temperatura y el tiempo, lo anterior de acuerdo a los parámetros instrumental de operación.

Para entender un poco mejor en que consistió el análisis próximo, la siguiente ilustración presenta un esquema sobre el análisis próximo y la ruta analítica que se realiza en el laboratorio.

Ilustración 2. Esquema de análisis próximo



Fuente: Elaboración propia tomado de Saulsberry, Schafer, & Schraufnagel, 1996.

4.5. Resultado de muestras

Después de realizar los análisis en el laboratorio, los resultados encontrados para cada muestra se presentan a continuación;

4.5.1. Análisis Próximo Briquetas de Carbón "Castillo Patio Bonito Nemocón"

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la muestra analizada por el laboratorio de acuerdo a los parámetros establecidos en las normas ASTM.

Tabla 18. Análisis próximo "Castillo Patio Bonito Nemocón"

Análisis	Base como se recibe (%)	Base Seca (%)	Norma
Humedad residual (% masa)	2,80	0	ASTM D 3302/ D3302-M15
Cenizas (% masa)	39,75	40,89	ASTM D-3174-12
Material Volátil (% masa)	6,77	6,97	ASTM D-3175-11
Carbono Fijo calculado (% masa)	50,68	52,14	ASTM D-3172-13
Azufre total (% masa)	0,51	0,52	ASTM D-4239-14/2
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	4,813	4,952	ASTM D-5865-13
Poder Calorífico (Btu/lb)	8,658	8,907	ASTM D-5865
Poder Calorífico (MJ/Kg)	20,15	20,73	ASTM D-5865
Índice de hinchamiento	0		D720/D720M – 15/1

Fuente: Elaboración propia basado en MINTEC CERAMIC, 2023.

4.5.2. Análisis Próximo Briquetas de Carbón ""VillBurg Tunja"

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la muestra analizada por el laboratorio de acuerdo a los parámetros establecidos en las normas ASTM.

Tabla 19. Análisis próximo "VillBurg Tunja"

Análisis	Base como se recibe (%)	Base Seca (%)	Norma
Humedad residual (% masa)	1,80	0	ASTM D 3302/ D3302-M15
Cenizas (% masa)	31,17	31,74	ASTM D-3174-12
Material Volátil (% masa)	19,65	20,02	ASTM D-3175-11
Carbono Fijo calculado (% masa)	47,38	48,25	ASTM D-3172-13
Azufre total (% masa)	0,51	0,52	ASTM D-4239-14/2
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	5,182	5,277	ASTM D-5865-13
Poder Calorífico (Btu/lb)	9,321	9,49	ASTM D-5865
Poder Calorífico (MJ/Kg)	21,70	22,10	ASTM D-5865
Índice de hinchamiento	0		D720/D720M – 15/1

Fuente: Elaboración propia basado en MINTEC CERAMIC, 2023.

4.5.3. Análisis Próximo Briquetas de Carbón "Ladrillera El Virrey (Hermanos López)"

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la muestra analizada por el laboratorio de acuerdo a los parámetros establecidos en las normas ASTM.

Tabla 20. Análisis próximo "Villburg Tunja"

Análisis	Base como se recibe (%)	Base Seca (%)	Norma
Humedad residual (% masa)	1,04	0	ASTM D 3302/ D3302-M15
Cenizas (% masa)	44,23	44,69	ASTM D-3174-12
Material Volátil (% masa)	7,48	7,56	ASTM D-3175-11
Carbono Fijo calculado (% masa)	47,25	47,75	ASTM D-3172-13
Azufre total (% masa)	0,69	0,70	ASTM D-4239-14/2
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	5,184	5,238	ASTM D-5865-13
Poder Calorífico (Btu/lb)	9,325	9,423	ASTM D-5865
Poder Calorífico (MJ/Kg)	21,71	21,94	ASTM D-5865
Índice de hinchamiento	0		D720/D720M – 15/1

Fuente: Elaboración propia basado en MINTEC CERAMIC, 2023.

Ahora bien en las siguientes tablas, se presenta la comparación de las base como se recibieron (%) y comparar los parámetros de cada muestra al entrar al laboratorio previo al análisis.

Tabla 21. Comparación de Análisis próximo de muestras enviadas al laboratorio.

Análisis	Muestra hermanos Castillo (Nemocón)	Muestra hermanos Villburg Tunja	Muestra hermanos López
Humedad residual (% masa)	2,80	1,80	1,04
Cenizas (% masa)	39,75	31,17	44,23
Material Volátil (% masa)	6,77	19,65	7,48
Carbono Fijo calculado (% masa)	50,68	47,38	47,25
Azufre total (% masa)	0,51	0,51	0,69
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	4,813	5,182	5,184
Poder Calorífico (Btu/lb)	8,658	9,321	9,325
Poder Calorífico (MJ/Kg)	20,15	21,70	21,71
Índice de hinchamiento	0	0	0

Fuente: Elaboración propia basado en MINTEC CERAMIC, 2023.

Al revisar estos resultados del análisis realizado en tres muestras distintas de briquetas de carbón: Muestra Hermanos Castillo (Nemocón), Muestra Hermanos Villburg (Tunja) y Muestra Hermanos López. El análisis se centra en varios parámetros clave que influyen en la calidad y el rendimiento del carbón como combustible.

a. Humedad Residual: Las muestras exhiben niveles de humedad residual antes del secado, indicando la presencia de agua en las briquetas. La Muestra Hermanos López destaca por tener el contenido de humedad más bajo (1.04%), lo que sugiere un proceso de secado eficiente.
b. Cenizas: El contenido de cenizas es un indicador crucial de la calidad del carbón. La Muestra Hermanos Castillo (Nemocón) presenta un valor elevado 39.75% de cenizas, mientras que la Muestra Hermanos Villburg Tunja muestra un valor más bajo (31.17%). La Muestra Hermanos López exhibe el contenido de cenizas más alto (44.23%), lo que puede requerir una consulta al empresario para comprender su impacto en la calidad del producto final.
c. Material Volátil: El contenido de material volátil influye en la combustión del carbón. La Muestra Hermanos Villburg (Tunja) presenta un porcentaje significativo 19.65% de material volátil, en contraste con la Muestra Hermanos López y la Muestra Hermanos Castillo (Nemocón), que muestran valores más bajos (7.48% y 6.77%, respectivamente).
d. Carbono Fijo Calculado: Los porcentajes de carbono fijo calculado proporcionan información sobre la cantidad de carbono que permanece después de la destilación. Las muestras muestran valores cercanos, con la Muestra Hermanos Castillo (Nemocón) liderando ligeramente con un 50.68%.
e. Azufre Total: Los niveles de azufre son bajos en todas las muestras (0.51% en las Muestras Hermanos Castillo (Nemocón) y Hermanos Villburg Tunja, y 0.69% en la Muestra Hermanos López), lo que es positivo para minimizar emisiones no deseadas durante la combustión.
f. Poder Calorífico: Las Muestras Hermanos Villburg Tunja y Hermanos López muestran un mayor poder calorífico en comparación con la Muestra Hermanos Castillo (Nemocón). Estos valores sugieren un mayor contenido energético en las dos primeras muestras.
g. Índice de Hinchamiento: todas las muestras presentan un índice de hinchamiento de 0, indicando que no experimentaron hinchamiento durante el análisis.

Estos resultados proporcionan una visión detallada de las propiedades de las briquetas de carbón en cada muestra. Sin embargo, ahora se presentan los resultados posteriores al proceso realizado en el laboratorio, es decir a base seca.

Tabla 22. Comparación de análisis próximo de muestras a base seca

Análisis	Muestra hermanos Castillo (Nemocón)	Muestra hermanos Villburg Tunja	Muestra hermanos López
Humedad residual (% masa)	0	0	0
Cenizas (% masa)	40,89	31,74	44,69
Material Volátil (% masa)	6,97	20,02	7,56
Carbono Fijo calculado (% masa)	52,14	48,25	47,75
Azufre total (% masa)	0,52	0,52	0,70
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	4,952	5,277	5,238
Poder Calorífico (Btu/lb)	8,907	9,49	9,423
Poder Calorífico (MJ/Kg)	20,73	22,10	21,94
Índice de hinchamiento	0	0	0

Fuente: Elaboración propia basado en MINTEC CERAMIC, 2023.

a. Humedad Residual: En todas las muestras, la humedad residual después del secado es del 0%, indicando un proceso de secado efectivo y consistente en todas las muestras. Este resultado sugiere que las briquetas han sido adecuadamente preparadas para su uso, eliminando la presencia de agua.
b. Cenizas: El contenido de cenizas después del secado se mantiene alto en todas las muestras. La Muestra Hermanos Castillo (Nemocón) muestra un ligero aumento en comparación con la muestra antes del secado (40.89% frente a 39.75%). Las otras dos muestras también experimentan aumentos en el contenido de cenizas después del secado.
c. Material Volátil: Después del secado, el contenido de material volátil varía ligeramente en las muestras. La Muestra Hermanos Villburg Tunja muestra un aumento significativo, mientras que las otras dos muestras presentan cambios más moderados.
d. Carbono Fijo Calculado: Los porcentajes de carbono fijo calculado muestran pequeñas variaciones después del secado. La Muestra Hermanos Castillo (Nemocón) tiene el valor más alto, seguida de cerca por la Muestra Hermanos Villburg Tunja.
e. Azufre Total: Los niveles de azufre total no experimentan cambios significativos después del secado, manteniéndose en valores similares a los obtenidos en las muestras antes del secado.
f. Poder Calorífico: El poder calorífico varía mínimamente después del secado. Las muestras Hermanos Villburg Tunja y Hermanos López muestran un ligero aumento, mientras que la Muestra Hermanos Castillo (Nemocón) presenta una disminución mínima.
g. Índice de Hinchamiento: El índice de hinchamiento se mantiene en 0 en todas las muestras, indicando que las briquetas no experimentaron cambios en su volumen durante el análisis.

En resumen, el secado parece haber afectado mínimamente las propiedades de las briquetas, manteniendo en general la calidad del producto. Es crucial destacar la consistencia en los resultados entre las muestras y la importancia de un proceso de secado efectivo para garantizar un producto final de alta calidad.

4.6. Conclusiones del análisis

En el análisis detallado de las tres briquetas evaluadas, se observa un denominador común en sus resultados: elevados porcentajes de cenizas. Este hallazgo sugiere dos posibles escenarios. En primer lugar, los finos de coque utilizados podrían contener inherentemente altos porcentajes de cenizas, indicando una calidad deficiente. En segundo lugar, el material utilizado para aglomerar los finos podría contribuir significativamente a la presencia de cenizas en las briquetas.

Una observación particularmente intrigante surge al examinar el contenido de volátiles de la briqueta de VillBurg, que asciende al 19.65%. Este resultado plantea interrogantes, ya que, en teoría, cuando se emplean finos de coque, los volátiles deberían ser limitados. Este fenómeno podría sugerir una variabilidad en la calidad de los materiales utilizados en la producción de las briquetas, mereciendo una atención especial para garantizar la coherencia en la composición de los insumos.

El análisis del índice de hinchamiento es esencial para comprender la propensión de los combustibles, especialmente carbones, a aglomerarse durante la combustión. Un índice de hinchamiento elevado indica que las partículas de carbón tienden a expandirse, formando residuos porosos de bajo peso. Estos residuos, emitidos junto con los gases de combustión, podrían contribuir a niveles elevados de inquemados en las cenizas. Además, el índice de hinchamiento podría influir negativamente en la calidad del producto final al generar una llama más corta durante la combustión.

Tabla 23. Índice de hinchamiento libre

Índice de hinchamiento libre	Clasificación
0	No aglomerante
1-2	Débilmente Aglomerante
3-4	Medianamente Aglomerante
>4	Fuertemente Aglomerante

Fuente: Elaboración propia basado en MINTEC CERAMIC, 2023.

Los mayores poderes caloríficos los tienen las briquetas de VillBurg y de Hermano López con valores superiores a 5.000 Kcal/Kg. Se recomienda evaluar temperatura inicial de ignición, temperatura final de ignición, tiempo de quemado y densidad verdadera para de esta forma conocer el potencial de las briquetas como combustible.

5. Caracterización del proceso de producción de briquetas

En este apartado , se detalla el proceso paso a paso para la producción de briquetas, un método sostenible para aprovechar residuos biodegradables y generar una fuente de energía renovable. Una de las aplicaciones básicas son los desperdicios de madera como combustible, su uso ha ido creciendo a lo largo de las últimas décadas.

Ahora bien, también existen otros insumos para la fabricación de las briquetas, acá tenemos la briqueta de carbón, la cual es un bloque de comprimido de carbón y polvo de carbón, muchas veces se encuentra combinado con aditivos como almidón, serrín o arcilla lo que facilita el agrupamiento e ignición. De acuerdo Por esto, las briquetas de carbón vegetal se consideran renovables, debido a que no producen Gases de Efecto invernadero (GEIs), por lo que son muy utilizados en aparatos de calefacción eléctrica como calentadores, calderas y sistemas modernos de combustión[16].

Las briquetas con comúnmente denominadas en inglés como "Briquettes", pero para asegurarse de que tipo de briquetas se habla, en el común se denominan "Charcoal" o "Coal Briquettes",

- Briquetas de carbón: Coal Briquettes
- Briquetas de carbón vegetal: " Charcoal Briquettes"
- Briquetas de Madera

a. Carbón vegetal

La producción se realiza de forma semi artesanal, en hornos de fuego dormido que permiten alcanzar un grado de carbonización entre el 60 al 65%. El proceso dura 3 días y en términos generales el estándar de conversión es 5 toneladas de leña a 1 de carbón. Par esto, también es común usar hornos industriales metálicos, los cuales proporcionan una mayor velocidad de producción y mejor relación leña/carbón.

b. Briquetas de carbón:

La producción de las briquetas es un proceso que usa como materia prima una mezcla de "finos" es decir polvo de carbón vegetal, ligado con aglutinantes orgánicos que se derivan de diferentes materiales como cereales. De manera general, la mezcla que se produce pasa por una prensa industrial donde se forman las briquetas, se secan y posteriormente pasan a tolvas para su empaquetado.

[16] Carvajal, F & Flórez, S.,2014. Estudio de factibilidad para la implementación de una planta productora y exportadora de briquetas de madera en la ciudad de Buenaventura.

Por lo general , los procesos que se desarrollan de prensado pueden ser por extrusión, que es el más usado en América[17]. Las briquetas se caracterizan por la combustión uniforme, el poder calorífico y el contenido de humedad que poseen.

c. Briquetas de madera:

Estas briquetas se forman en forma de pastillas de un tamaño reducido, poseen un hueco en el centro y se obtienen por lo general a partir del prensado de restos de madera, serrín y no requieren aglutinantes, ya que se aprovechan las propiedades de la celulosa. Para este tipo de materias primas, se usan equipos industriales libres de contaminantes químicos, pinturas o algún tipo de sal, el contenido de humedad no puede superar el 10%.

A continuación se describirá de manera sencilla el proceso de producción que las briquetas tienen en la actualidad.

5.1. Proceso de producción

Las briquetas se fabrican por medio de un proceso denominado compactación, lo cual es importante porque le brinda a la briqueta una característica especial como la densidad, esto le permite realizar una combustión más lenta que si estuviera en su estado original. Este tipo de proceso puede realizarse de manera manual o artesanal, semi industrial o industrial. El método de producción dependerá de varios factores o parámetros descritos en el numeral anterior; también debe tenerse en cuenta la capacidad de producción que se requiera.[18]

Aunado a lo anterior, se debe entender que la compactación puede ser de tres tipos, a lata presión, es decir, mayor a 100 MPa donde no se necesita de aglutinantes, a presión media de 5 a 100 MPa, en este caso, el uso de aglutinantes dependerá del material, y a baja presión donde usan presiones de máximo 5 MPa y es necesario el uso de aglutinantes.

5.1.1. Proceso manual o artesanal

La elaboración de briquetas de manera manual es muy utilizado cuando se trabaja a escalas pequeñas de producción, por lo general, se destacan, maquinas simples, de fácil uso y mantenimiento. Los más utilizados de este tipo son:

a. **Prensa de brazo palanca:** este proceso se realiza a través de un mecanismos de palanca construido en madera, el cual compacta el material dentro de un tubo de

[17] Estudio de mercado para las briquetas de carbón y carbón vegetal en el mercado de Estados Unidos.2007. [consultado el 19 de noviembre de 2023] Disponible en: https://studylib.es/doc/7819854/estudio-de-mercado-para-las-briquetas-de-carbon-y

[18] Ramírez, 2022. Diseño de un proceso semiautomático para la fabricación de briquetas a partir de cáscara de piña en la empresa deliagro foods

PVC que sirve de molde. Las características físicas de este es la presencia de agujeros que permiten la salida de agua presente en la materia prima.

b. **Prensa hidráulica:** este mecanismo es más avanzado, consiste en la utilización de un gato hidráulico que se acciona manualmente. El gato hidráulico cumple la función de compactar el material dentro de un molde hecho en un tubo de PVC que posee agujeros que permiten la extracción del agua[19].

5.1.2. Proceso semiindustrial

Este proceso se usa cuando la producción es mayor, el proceso exige una mayor cantidad de materia prima y la demanda es más elevada, por esto, es necesario el uso de maquinaria más grande que sea capaz de producir una gran cantidad en poco tiempo. Las maquinas son más sofisticadas y llevan un control de los parámetros de cada broqueta producida.

a. Maquina compactadora de tornillo extrusor: esta máquina consta de una tolva de alimentación que lleva el material hacia una cámara de compresión que consta de un tornillo que se encarga de dar la presión necesaria para compactar el material dentro de un molde. Cuando este proceso ha ocurrido, el producto final es expulsado por eyectores. Estas máquinas generan productos con orificios en el centro; la forma y su tamaño van a depender del modelo utilizado[20].

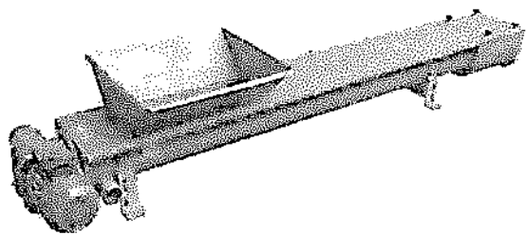


Imagen 7. Tornillo compactador sinfín[21]

Las maquinas utilizadas son capaces de producir de 80 a 250 Kg/h de producto, sin embargo, el consumo energético y de mantenimiento es mayor que otros tipos de máquinas.

[19] Ramírez, 2022. Diseño de un proceso semiautomático para la fabricación de briquetas a partir de cáscara de piña en la empresa deliagro foods [recuperado en línea el 18 de noviembre de 2023].

[20] AGICO GROUP, "Extrusora de briquetas de biomasa, la prensa de tornillo para la toma de briquetas de biomasa," 2022. http://www.biodieselmachine.com/sp/biomass-briquette-extruder.html (consultado el 19 de noviembre de 2023).

[21] https://www.idm-pirineo.es/nuestros-equipos/tornillo-compactador-sinfin/)

b. Maquina compresora de rodillos: Esta máquina se encarga de comprimir el material por medio de dos rodillos grandes en posición fija sobre los rodamientos los cuales tienen una serie de orificios en la superficie. En estos orificios se introduce el material que queda compactado por acción de otro rodillo, después de esto, el material es expulsado y se obtienen formas más rectangulares o en forma de ladrillo. Estas máquinas producen mayor cantidad de producto en una misma hora a comparación que con las anteriores.

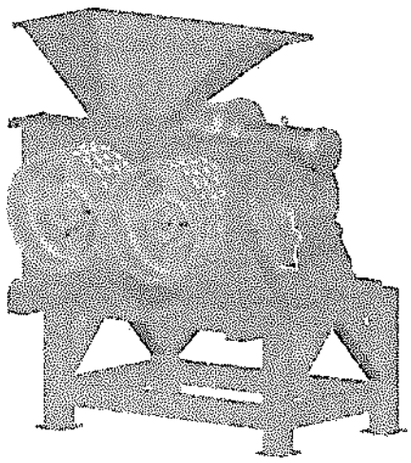


Imagen 8. Briqueteadora de prensa[22]

c. Maquinas compactadoras mecánicas de pistón: Este tipo de máquinas, tiene un piston que compacta el material por medio de golpes continuos que es accionado a través de dos volantes o ruedas mecánicas. Los volantes son usados para almacenar una elevada cantidad de energía cinética que sustenta el funcionamiento de gran potencia. Estas máquinas poseen una cámara de almacenaje desde donde se transporta el material dosificador con el molde a fabricar. Este tipo de máquinas son de uso industrial pues su capacidad de fabricación es mayor.

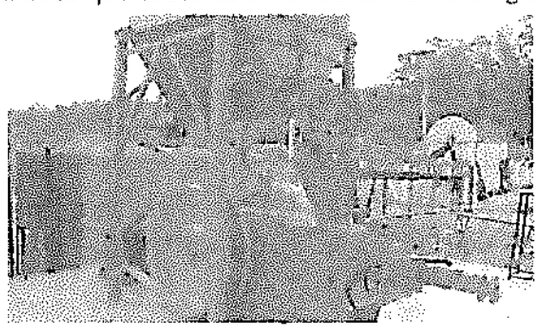


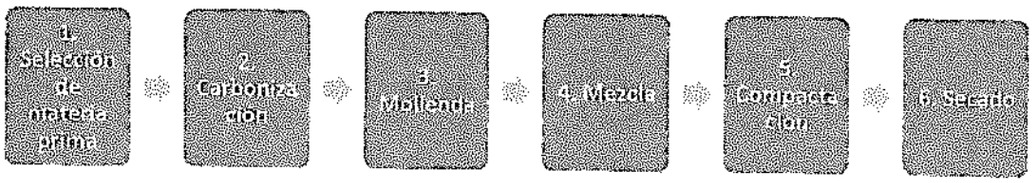
Imagen 9. Briqueteadora de pistón[23]

[22] Imagen disponible en: https://www.ibroptica.com/Briqueteadora.html
[23] Imagen disponible en: https://www.lmael.com.br/briquetadoras/

5.1.3. Descripción del proceso de producción

De acuerdo con el estudio de Becerra, Romero y Cárdenas (2022)[24] , el proceso para la elaboración de una briqueta consta de 6 pasos, los cuales se describen a continuación:

Figura 2. Proceso de elaboración de una briqueta



Fuente: Revisión bibliográfica sistemática de briquetas de carbón para cocinar, elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales, 2022.

Para el proceso de producción de briquetas es necesario tener en cuenta la selección de los materiales y seguir una serie de pasos importantes para tener unas condiciones óptimas de calidad del producto. A continuación, se describe de manera general como es el proceso paso a paso.

1. **Selección de materia prima**

   El primer paso para la producción de briquetas corresponde a la selección de la materia prima, se debe definir qué tipo de briqueta se quiere producir, de carbón o biomasa.

   La elección de los materiales tiene un fin optimo, y este principalmente contribuir a la preservación de los recursos naturales, no afectar la seguridad alimentaria y optimizar los procesos de producción artesanales. Para lograr esto, es importante realizar análisis de compuesto y evidenciar cuales son los que cuentan con mayores poderes caloríficos. Como se ha mencionado anteriormente

Tabla 24. Poder calorífico de algunos materiales

Material	Poder Calorífico
Cascarilla o cisco de café	18,7 MJ/Kg
Bagazo de caño	17,9 MJ/Kg
Cascarilla de arroz	13,8 MJ/kg
Aserrín	13,4 MJ/kg

Fuente: Elaboración propia basado en MINTEC CERAMIC, 2023.

[24] Revisión bibliográfica sistemática de briquetas de carbón para cocinar, elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales, 2022.

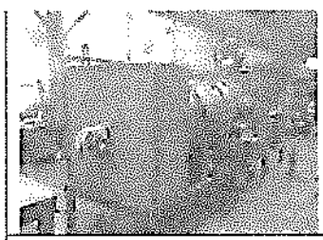
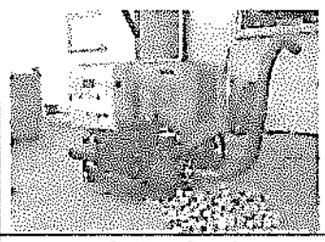
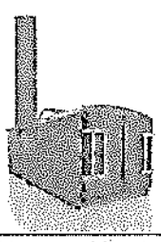
2. Carbonización de materia prima

Se destaca que en el proceso se debe realizar una carbonización de la materia prima, antes de elaborar las briquetas, dicha carbonización se reala utilizando un horno de pirolisis, el cual se encuentra construido de manera artesanal. Este proceso es realizado con el fin de disminuir el contenido de agua y material volátil presente en la materia prima según Wu et al, 2018.

De acuerdo al estudio de Ardila (2022), quienes investigaron sobre este proceso evidenciaron que en diferentes investigaciones el rango de temperatura presenta variaciones en rangos bastante amplios, desde los 200 grados Celsius hasta los 1000 grados Celsius, también presentan un tiempo que oscila entre los 40 minutos y las 8 horas.

Aunque en algunas investigaciones se encontró que la temperatura usada en el horno de pirolisis no es especificada. En otras investigaciones como la de Akolgo et al.,2021 citado por Ardila (2022), se encontró que el proceso de carbonización se realiza usando una estufa gasificadora a 250 grados Celsius, con un tiempo de 2 horas, mientras que en un horno eléctrico el tiempo de cocción podría ascender hasta los 30 minutos con 600 grados.

Tabla 25. Tipos de hornos usados

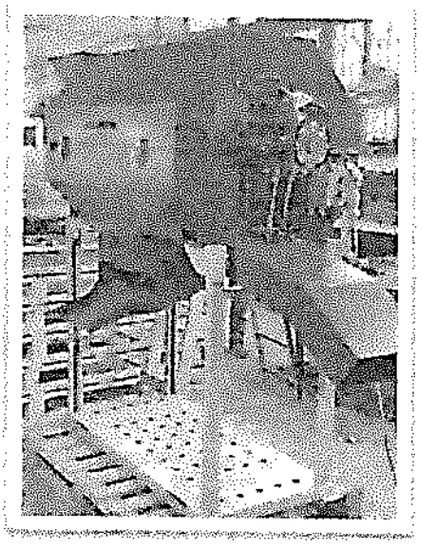
		
Horno de pirolisis	**Estufa Gasificadora**	**Horno eléctrico**
Temperatura: 200 – 1000 grados Celsius	250 grados Celsius	600 grados Celsius
Tiempo: 40 minutos a 8 horas	Tiempo: 2 horas	Tiempo: 30 minutos

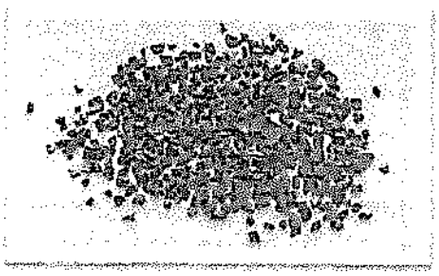
Fuente: CAEM,2023.

En otro tipo de investigaciones, el proceso de carbonización se realizaba después de que la briqueta se encontraba constituida, lo anterior con el fin de densificar la briqueta y aumentar su resistencia a la compresión (Cao et al., 2019 citado Ardila, 2022).

3. Triturado y tamizado

En esta etapa del proceso se facilita la mezcla del polvo con el aglutinante, aumenta la superficie de unión con el aglutinante, de esta manera le da forma a la briqueta y aumenta su resistencia a la caída (Lubwama et al., 2020; Tippayawong et al., 2019). Sin embargo, existen otros estudios que indican que el triturado y tamizado se realizaba antes de la carbonización, es decir a la materia prima, con el fin de aumentar el área superficial en la carbonización (Nagarajan & Prakash, 2021).





Por otro lado se puede mencionar que se suele trabajar con un tamaño de partícula inferior o igual a 1 mm (Akolgo et al., 2021), y teniendo como límite inferior 0.1 mm (Bayu et al., 2020), en otros estudios se menciona que puede trabajarse con tamaños de partícula iguales o mayores a 2mm y hasta un límite superior de 15mm.

4. Mezcla de carbón con aglutinante

Diferentes estudios mencionan que es necesario realizar un mezclado antes realizar la compactación del material de briquetas, debido a que el polvo de carbón vegetal es un material que posee nula plasticidad, por lo cual no puede mantener alguna forma, a través del aglutinante, se le da plasticidad al carbón para posteriormente compactar en briquetas (Adu-Poku et al., 2022).

Es necesario mencionar que alguna bibliografía indica que en algunos casos no se usa aglutinante para la compactación de las briquetas, por tanto la carbonización se realizaba al final del proceso.

5. Elaboración de briquetas

La elaboración de las briquetas se realiza con una prensa hidráulica manual con precisiones que oscilan entre los 5.7 MPa y 150 MPa (Akolgo et al., 2021), sin embargo, otros estudios no especificaban la presión que usaban para la compactación. Algunos estudios mencionan, que es necesario considerar los costos de adquisición de una prensa ya que son muy elevados.



Pero otra forma de compactar que se usa son las denominadas briqueteadoras artesanales, máquinas de extrusión o de forma manual, utilizando un martillo y dos cajas compresoras, sobre esta la persona debe ejercer una fuerza de 1.0 a 1.7 KPa.

6. Secado

El último paso del proceso de producción de una briqueta es su secado, este se puede realizar en la superficie exterior, lo que hace que las briquetas se hagan sólidas y homogéneas, otorgándoles la dureza adecuada para su movimiento, transporte y almacenamiento (Adu-Poku et al., 2022). El secado que se produce en el exterior, se hace al sol, con una duración de aproximadamente 7 días, en otros casos puede ser inferior a una semana (Kapen et al., 2022b; Rahmawati et al., 2022), en menor proporción se proponen hasta 3 semanas de duración.

Sin embargo, es importante tener presente las condiciones meteorológicas y geográficas del lugar donde se quieres realizar un proceso de producción y tener en cuenta todas las variables que confluyen. Por otro lado, también alguna bibliografía menciona que las briquetas pueden secarse al horno con una temperatura ente 60 y 120 °C y con una media de tiempo de 12 y 48 horas.

7. Propuesta composición briquetas

En el proceso de análisis de las briquetas comerciales, se ha identificado una característica común que merece atención especial: el significativo porcentaje de cenizas presente en las muestras evaluadas. Este fenómeno impacta directamente en la disminución del porcentaje de carbono fijo, resultando en una disminución correspondiente en el poder calorífico. Se presume que este elevado contenido de cenizas no se deriva de los finos de coque; en cambio, se infiere que se origina por el empleo de aglomerantes arcillosos, cuya combustión deja estos residuos en cantidades considerables.

Es relevante destacar que el uso de arcillas comunes como aglomerantes, aunque reduce los costos de producción, conlleva el inconveniente de aumentar la temperatura de ignición de las briquetas. Por lo tanto, en el desarrollo de nuevas formulaciones, se propone la incorporación de una mezcla de finos de coque con biomasas. Estas últimas presentan bajos niveles de cenizas y un notable contenido de material volátil, lo que facilita la reducción de la temperatura de ignición. Como alternativa de aglomerantes, se consideran opciones como bentonitas, arcillas de alta plasticidad que requieren bajos porcentajes en la formulación. También se investigarán aglomerantes como alcohol polivinílico, melazas y lignosulfatos.

Es imperativo subrayar que en fases posteriores del proyecto se contempla la formulación detallada de la composición ideal de la briqueta, específica para las unidades productivas de Nemocón, Cogua y Tausa. Este proceso incluirá pruebas de laboratorio en conformidad con los parámetros establecidos en la normativa vigente.

6. Bibliografía

Adu-Poku, K. A., Appiah, D., Asosega, K. A., Derkyi, N. S. A., Uba, F., Kumi, E. N., Akowuah, E., Akolgo, G. A., & Gyamfi, D. (2022). Characterization of fuel and mechanical properties of charred agricultural wastes: Experimental and statistical studies. Energy Reports, 8, 4319–4331. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.03.015

Adam, S. N. F. S., Aiman, J. H. M., Zainuddin, F., & Hamdan, Y. (2021). Processing and Characterisation of Charcoal Briquettes Made from Waste Rice Straw as A Renewable Energy Alternative. Journal of Physics: Conference Series, 2080. [recuperado en línea el 17 de noviembre de 2023]. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2080/1/012014

ANALUISA Darwin; Diseño y construcción de un modelo de máquina para la fabricación de briquetas a partir de residuos de café (borra), para estudio de su poder calorífico como posible sustituto del carbón vegetal; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; Riobamba-Ecuador; 2018; [recuperado el 19 de noviembre de 2023]; disponible en: http://201.218.5.85/bitstream/123456789/9206/1/15T00682.pdf

Akolgo, G. A., Awafo, E. A., Essandoh, E. O., Owusu, P. A., Uba, F., & Adu-Poku, K. A. (2021). Assessment of the potential of charred briquettes of sawdust, rice and coconut husks: Using water boiling and user acceptability tests. Scientific African, 12. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00789

Anónimo; Materiales aglomerantes; Escuela técnica superior de ingenieros en topografía, geodesía y cartografía; Universidad politécnica de Madrid; [consultado en 18 de noviembre de 2023]; disponible en: https://studylib.es/doc/5593519/tema-3-materiales-aglomerantes--universidad-polit%C3%A9cnica;

Ardila, Becerra & Cedeño, 2022. Revisión Bibliográfica sistemática de briquetas de carbón para cocinar elaboradas a partir de residuos agrícolas y forestales. Escuela de formación de investigación, EAN universidad. [recuperado en línea el 17 de noviembre de 2023].

Bamgboye y Bolufami, A. I., Bolufawi S.J (2009). Physical Characteristics of Briquettes from Guines corn (sorghum bi-color). Residue. Agricultural Engineering international: CGIR Journal Manuscript 1364. [recuperado el 19 de noviembre de 2023].

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, 2023.

Estudio de mercado para las briquetas de carbón y carbón vegetal en el mercado de Estados Unidos.2007. [consultado el 19 de noviembre de 2023] Disponible en: https://studylib.es/doc/7819854/estudio-de-mercado-para-las-briquetas-de-carbon-y

Fondo Nacional del Arroz – FNA, 2023.

Federación Nacional de Cafeteros - https://www.cafedecolombia.com

GUTIÉRREZ BOUZÁN, M., & DROGUET, M. (2002). La cromatografía de gases y la espectometria de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor. Boletín Intexter [En línea]; 2002; núm. 122, p. 35-41. [Consulta: 18 de noviembre de 2023] Disponible en: https://upcommons.upc.edu/handle/2099/2733

Historia | ¿Qué es el coque y por qué es tan importante para Colombia? Revista Valora Analitik, 2022-09-22. https://www.valoraanalitik.com/2022/09/22/que-es-el-coque-por-que-es-tan-importante-para-colombia/

Informe de indicadores e instrumentos del Ministerio de Agricultura, Junio 30 2021

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION (NTC). Briquetas combustibles para uso doméstico. NTC 2060. 1 ed. Bogotá D.C.

Junta de Castilla y León, s.f. Residuos agrícolas, forestales, ganaderos y cultivos energéticos. [recuperado en línea el 17 de noviembre de 2023]. Obtenido de https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/residuos-agricolas-forestales- ganaderos.html .

Kapen, P. T., Tenkeu, M. N., Yadjie, E., & Tchuen, G. (2022b). Production and characterization of environmentally friendly charcoal briquettes obtained from agriculture waste: case of Cameroon. International Journal of Environmental Science and Technology, 19(6), 5253–5260. https://doi.org/10.1007/s13762-021-03497-7

Kongprasert, N., Wangphanich, P., & Jutilarptavorn, A. (2019). Charcoal briquettes from Madan wood waste as an alternative energy in Thailand. Procedia Manufacturing, 30, 128–135. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.019

Lubwama, M., Yiga, V. A., Muhairwe, F., & Kihedu, J. (2020). Physical and combustion properties of agricultural residue bio-char bio-composite briquettes as sustainable domestic energy sources. Renewable Energy, 148, 1002–1016. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.085

Plan Nacional de desarrollo PND 2018 – 2022. https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/Paginas/plan-nacional-de-desarrollo-2018-2022.aspx#:~:text=El%20Plan%20Nacional%20de%20Desarrollo,del%20Emprendimiento%20y%20la%20Legalidad.

Quesada Kimsey, J. (2012). La carbonización de residuos biomásicos: una exploración con perspectivas emocionantes. Revista Tecnología En Marcha, 14-21. [recuperado en línea el 17 de noviembre de 2023].

Ramadhini, M., Saputra, D. S., Setiawan, H., Nur, J., & Asmaidi. (2021). Making briquette as fuel from rice husk waste and glutinous rice flour. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 644. [recuperado en línea el 17 de noviembre de 2023]. https://doi.org/10.1088/1755-1315/644/1/012068.

Ramírez, 2023. Evaluación de las propiedades físicas y químicas de briquetas elaboradas con biomasa generada en el proceso de transformación primaria de la madera en diferentes regiones de México. [recuperado en línea el 18 de noviembre de 2023]. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/7946.

Ramírez, 2022. Diseño de un proceso semiautomático para la fabricación de briquetas a partir de cáscara de piña en la empresa deliagro foods [recuperado en línea el 18 de noviembre de 2023].

The Observatory of Economic Complexity, https://oec.world/es

Tres compañías tendrán 34,3% del total del mercado de coque metalúrgico en 2022, Periódico La República, 20 noviembre 2023, https://www.larepublica.co/empresas/tres-companias-tendran-34-3-del-total-del-mercado-de-coque-metalurgico-en-2022-3301490#:~:text=Mdpa%20es%20la%20compa%C3%B1%C3%ADa%20de,expectativas%20trazadas%20a%20nivel%20gremial.

UNE 17225 -3, 2014: Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Clases de pélets de madera.

VASQUEZ, Erika; Metodología para la caracterización para combustibles sólidos maderables del área metropolitana del Valle de Aburra" AMVA", Colombia; [en línea]; 2006; Vol 59, No 2. p. 3557- 3564; [Consultado 18 de noviembre de 2023]; Disponible en http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v59n2/a11v59n2.pdf

7. Anexos

Anexo 1. Caracterización de la oferta de materias primas.

Anexo 2. Informe de resultados MINTEC Ceramic

	Tipo de Materia prima	Origen (fuente)
1	Biomasa	Planta de producción
2	Biomasa	Planta de producción
1	Finos de coque	Coquizadora
2	Finos de coque	Coquizadora
3	Finos de coque	Comercializador
4	Finos de coque	Asociación de coquizadoras
5	Finos de coque	Comercializador
6	Finos de coque	Carbones - Coquizadora
7	Finos de coque	Coquizador
8	Finos de coque	Comercializador
9	Finos de coque	Comercializador
10	Finos de coque	Comercializador
11	Finos de coque	Comercializador
12	Finos de coque	Planta - Comercializador
13	Finos de coque	Comercializador
14	Finos de coque	Comercializador
15	Finos de coque	Carbones - Coquizadora
16	Finos de coque	Comercializador

Razon social del proveedor	Departamento	Municipio
Primadera SAS	Cundinamarca	Tocancipa
Agroambiental Bocachivero	Huila	Neiva
Transportes y logistica J.F	Cundinamarca	Zipaquirá
DNA GA SAS	Cundinamarca	Cogua
Carboex P&B SAS	Cundinamarca	Nemocon
Asocoque	Boyacá	Samaca
Carbones especiales de Colombia SAS	Cundinamarca	Ubate
Minminer	Cundinamarca	Tausa
Norcoal SAS	Cundinamarca	Tausa
Trancora SAS	Cundinamarca	Ubate
C I. Fortia Minerals S.A.S.	Cundinamarca	Tierra negra
Carbones y explotaciones de la sabana	Cundinamarca	Ubate
Carbyfilco Ltda	Cundinamarca	Cogua
Minera HD	Cundinamarca	Cogua
Minercoal SAS	Cundinamarca	Ubate
Francoal SAS	Boyacá	Samaca
Carbones Andinos SAS	Boyacá	Samaca
Germán Franco Carbón SAS	Boyacá	Tunja

Dirección	Nombre de contacto
Carretera Central del Norte Km 49 vereda la aurora	Fernando Montaño
calle 42 sur No 4 - 35 zona industrial del sur	Maudi Gisela Cuellar Bonilla
Diagonal 4C no 27 -26	Javier Fandiño
Km 2 Vía Chia-Cajica Centro de Negocios Belenus Of 512 Chia, Cundinamarca	Jairo Cañon
Vereda Patio Bonito	Jose Ignacio Pinzón
Zona Industrial	Maria Teresa Arias Diaz
Carrera 3 No. 11A - 64	Yefrei Piraban
Tierra Negra	Andres Cubides
Carrera 14 No. 93B -32 Ofic Bogotá	Felipe Mahe
Calle 8 # 7 - 37 Piso 6 Centro Comercial SKYLA	
Carrera 24 No. 01 A – 24 Ofic	Juan Ramirez
Cl 8 8 42	German Rodriguez
KM 1.5 VIA ZIPAQUIRA UBATE	Julian alberto sanchez
Vereda Casa Blanca - Sector La Ruidosa	German Rodriguez
Calle 8 # 7 -71 piso 3	Edward Benavides
	Pedro Franco
Calle 6 No. 4 - 80	Andres Ortega
Carrera 2 # 40-85 Of. 415	Cesar Franco

correo electrónico
emontano@primadera.com
tatita_241984@hotmail.com
cajafafo753@gmail.com
Sin Información
carboexpybsas@gmail.com
asocoque1@yahoo.es
carboecol@gmail.com
recepcion@minminer.co
contabilidad@norcoal.com
info@trancora.com
uridica@fortiaminerals.com
minerahd@gmail.com
comercial@carboindcol.com.co
minerahd@gmail.com
minercoal@gmail.com
pedrofranco@francoal.com.co, ambiental@francoal.com.co
directorambiental@carbonesandinos.co
germanfranco@live.com

Nùmero de telefono	Especificación Técnica (Caracterización fiscoquímica)
314 4897198	nas (Polvo) - Cortezas de distintos tamañ
3105709591	Bultos de cascarilla de arroz 16 y 17 kg
3042046390	Coquecillo tipo B. Poder calorifico:7000 kcal/kg Ceniza: 22 Granulametria:10 mm
310 7668001	Coquecillo
3107679080	Poder calorifico: 6256 kcal/kg; Ceniza:22,76 %
3115917805	Cal
3125290028	Poder calorifico: 5835 kcal/kg; Ceniza:27,96 ; Materia Volatil: 4,01
3208688351	Sin Información
3174006157	Humedad: 8% Max; Ceniza: 22% Max; Materia volátil: 3% Max; Azufre: 0,75% Max; Fósforo: 0,045% Max; Carbono Fijo: 75% Min
3214493281 / 6018891117	Sin Información
3152173023	Sin Información
3118201362	Volatil: 3,82 Ceniza:21,97 Granulometria: <5 mm
3133505598 / 3123868725	Sin Información
311 5923836	Volatil: 3,82 Ceniza:21,97 Granulometria: <5 mm
313 2359676	Poder calorifico: 5875 Kcal/kg; Cenizas: 28,22
311 5219851	Sin Información
601 7432182 Ext 2020/3108694533	Sin Información
311 489 42 02 / 311 807 48 88	I

Cantidad suminitrada por proveedor	Precio mercado ($/Ton)
14000 Ton/mes	Visita Presencial
A convenir	$8000 - $9000
1000 Ton/mes	160000
1000 Ton/mes	$150.000
100 Ton/mes	$200.000
bones andinos	
1000 Ton/mes	$ 220.000
Sin Información	Sin Información
Sin Información	Sin Información
Sin Información	Sin Información
Sin Información	Sin Información
3000 Ton	$ 140.000
Sin Información	Sin Información
3000 Ton	$ 140.000
600 Ton	$ 150.000
128 Ton	$ 130.000
Sin Información	Sin Información
Exclusividad	

Inf. 022-23

MINTEC CERAMIC
asesorías técnicas cerámicas

Bogotá, 8 de mayo de 2023

Señores:
Corporación Ambiental Empresarial CAEM
Referencia: Informe: Análisis Próximo Briquetas de carbón"
N° 022-23

Cordial saludo,

Agradecemos la confianza puesta en nuestro laboratorio y esperamos seguir siendo su aliado en estos servicios y poder establecer una relación de largo plazo, que nos permita conseguir los objetivos previstos y mejorar continuamente.

Saludos cordiales,

Camilo Quintero
Químico Magister en Materiales y Procesos Industriales
Mintec Ceramic Ltda.

Mintec Ceramic Ltda.
Asesorías Técnicas Cerámicas y Comercialización de Minerales Industriales.
Dirección. Carrera 65 # 48-04 Bogotá - Colombia
Teléfonos: Cel. +57 301 632 63 65
Email: mintecceramic@gmail.com

MINTEC CERAMIC
asesorías técnicas cerámicas

INFORME DE RESULTADOS N° 022-23
Análisis Próximo Briquetas de Carbón
"Castillo Patio Bonito Nemocón"

Identificación:	*Castillo Patio Bonito Nemocón*	Consecutivo Análisis	Min-99113
Tipo de muestra:	Briquetas de carbón	Responsable de muestreo:	Cliente
Procedencia:	Desconocida	Método de muestreo:	Desconocido
Cliente:	CAEM	Solicitud de análisis:	Analisis Próximo Carbon/Biomasa
Contacto:	Camilo Quintero	Consecutivo informe:	Inf. 022-23
Dirección:	Cra. 65 # 4B - 04	Aplicación:	Análisis Próximo Carbón
Cuidad:	Bogotá	Fecha:	31/10/2023
Teléfonos:	301 632 63 65		
Método de análisis:	Normas ASTM		

Análisis	Base como se recibe (%)	Base Seca (%)	NORMA
Humedad residual (% masa)	2,80	0	ASTM D-3302 / D3302-M15
Cenizas (% masa)	39,75	40,89	ASTM D-3174-12
Material Volátil (% masa)	6,77	6,97	ASTM D-3175-11
Carbono Fijo Calculado (% masa)	50,68	52,14	ASTM D-3172-13
Azufre Total (% Masa)	0,51	0,52	ASTM D-4239-14/2
Poder Calorifico (Kcal/Kg)	4.813	4.952	ASTM D-5865-13
Poder Calorifico (Btu/lb)	8.658	8.907	ASTM D-5865
Poder Calorifico (MJ/Kg)	20,15	20,73	ASTM D-5865
Indice de Hinchamiento	0		D720/D720M - 15/1

Mintec Ceramic Ltda.
Asesorías Técnicas Cerámicas y Comercialización de Minerales Industriales.
Dirección. Carrera 65 # 4B-04 Bogotá - Colombia
Teléfonos: Cel. +57 301 632 63 65
Email: mintecceramic@gmail.com

MINTEC CERAMIC
asesorías técnicas cerámicas

INFORME DE RESULTADOS N° 022-23
Análisis Próximo Briquetas de Carbón
"VillBurg Tunja"

Identificación:	*VillBurg Tunja*	Consecutivo Análisis	Min-99114
Tipo de muestra:	Briquetas de carbon	Responsable de muestreo:	Cliente
Procedencia:	Desconocida	Método de muestreo:	Desconocido
Cliente:	CAEM	Solicitud de análisis:	Análisis Próximo Carbón/Biomasa
Contacto:	Camilo Quintero	Consecutivo informe:	Inf. 022-23
Dirección:	Cra. 65 # 4B - 04	Aplicación:	Análisis Próximo Carbon
Cuidad:	Bogotá	Fecha:	31/10/2023
Teléfonos:	301 632 63 65		
Método de análisis:	Normas ASTM		

Análisis	Base como se recibe (%)	Base Seca (%)	NORMA
Humedad residual (% masa)	1,80	0	ASTM D-3302 / D3302-M15
Cenizas (% masa)	31,17	31,74	ASTM D-3174-12
Materal Volátil (% masa)	19,65	20,02	ASTM D-3175-11
Carbono Fijo Calculado (% masa)	47,38	48,25	ASTM D-3172-13
Azufre Total (% Masa)	0,51	0,52	ASTM D-4239-14/2
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	5.182	5.277	ASTM D-5865-13
Poder Calorífico (Btu/lb)	9.321	9.492	ASTM D-5865
Poder Calorífico (MJ/Kg)	21,70	22,10	ASTM D-5865
Indice de Hinchamiento	0		D720/D720M - 15/1

Mintec Ceramic Ltda.
Asesorías Técnicas Cerámicas y Comercialización de Minerales Industriales.
Dirección. Carrera 65 # 48-04 Bogotá - Colombia
Teléfonos: Cel. +57 301 632 63 65
Email: mintecceramic@gmail.com

MINTEC CERAMIC
asesorías técnicas cerámicas

INFORME DE RESULTADOS N° 022-23
Análisis Próximo Briquetas de Carbón
"Hermanos López"

Identificación:	*Hermanos López*	Consecutivo Análisis	Min-99115
Tipo de muestra:	Briquetas de carbon	Responsable de muestreo:	Cliente
Procedencia:	Desconocida	Método de muestreo:	Desconocido
Cliente:	CAEM	Solicitud de análisis:	Análisis Próximo Carbón/Biomasa
Contacto:	Camilo Quintero	Consecutivo informe:	Inf. 022-23
Dirección:	Cra. 65 # 4B - 04	Aplicación:	Análisis Próximo Carbón
Cuidad:	Bogotà	Fecha:	31/10/2023
Teléfonos:	301 632 63 65		
Método de análisis:	Normas ASTM		

Análisis	Base como se recibe (%)	Base Seca (%)	NORMA
Humedad residual (% masa)	1,04	0	ASTM D-3302 / D3302-M15
Cenizas (% masa)	44,23	44,69	ASTM D-3174-12
Material Volátil (% masa)	7,48	7,56	ASTM D-3175-11
Carbono Fijo Calculado (% masa)	47,25	47,75	ASTM D-3172-13
Azufre Total (% Masa)	0,69	0,70	ASTM D-4239-14/2
Poder Calorífico (Kcal/Kg)	5.184	5.238	ASTM D-5865-13
Poder Calorífico (Btu/lb)	9.325	9.423	ASTM D-5865
Poder Calorífico (MJ/Kg)	21,71	21,94	ASTM D-5865
Indice de Hinchamiento	0		D720/D720M - 15/1

Mintec Ceramic Ltda.
Asesorías Técnicas Cerámicas y Comercialización de Minerales Industriales.
Dirección. Carrera 65 # 4B-04 Bogotá - Colombia
Teléfonos: Cel. +57 301 632 63 65
Email: mintecceramic@gmail.com

MINTEC CERAMIC
asesorías técnicas cerámicas

Observaciones:

De las tres briquetas evaluadas, todas tiene levados porcentajes de cenizas lo que nos permite inferir que o los finos de coque tiene elevados porcentajes de cenizas, eso es, son de mala calidad o el material con el que se aglomeran los finos aportan las cenizas.

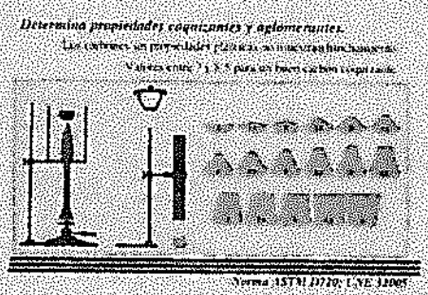
Llama la atención que el contenido de volátiles de la briqueta de VillBurg es de 19,65% lo que no resulta muy lógico si se están usando finos de coque los cales ya no deberían tener muchos volátiles.

El índice de hinchamiento nos indica la tendencia que tienen los combustibles (carbones específicamente) a aglomerarse. *Un alto índice de hinchamiento sugiere que durante la combustión la partícula de carbón se expandirá para formar residuos porosos de poco peso, que serán emitidos con los gases de combustión y podrán contribuir de esta forma, a unos elevados niveles de inquemados en las cenizas, además de proporcionar una llama corta afectando así la calidad del producto final.*

Figura 1 – Tabla 1 Índice de Hinchamiento en Carbones

Indice de Hinchamiento Libre	Clasificación
0	No Aglomerante
1-2	Débilmente Aglomerante
2-4	Medianamente Aglomerante
> 4	Fuertemente Aglomerante

Hinchamiento Libre



Mintec Ceramic Ltda.
Asesorías Técnicas Cerámicas y Comercialización de Minerales Industriales.
Dirección. Carrera 65 # 48-04 Bogotá - Colombia
Teléfonos: Cel. +57 301 632 63 65
Email: mintecceramic@gmail.com

Los mayores poderes caloríficos los tienen las briquetas de VillBurg y de Hermano López con valores superiores a 5.000 Kcal/Kg.

Se recomienda evaluar temperatura inicial de ignición, temperatura final de ignición, tiempo de quemado y densidad verdadera para de esta forma conocer el potencial de las briquetas como combustible.

Para validez o la aplicación de resultados con fines comerciales se hace la aclaración de que la representatividad de la muestra corresponde EXCLUSIVAMENTE a la muestra entregada en el laboratorio.

Autorizó:

Camilo Quintero
Químico Magister en Materiales y Procesos Industriales
Gerente Mintec Ceramic Ltda

Mintec Ceramic Ltda.
Asesorías Técnicas Cerámicas y Comercialización de Minerales Industriales.
Dirección. Carrera 65 # 4B-04 Bogotá - Colombia
Teléfonos: Cel. +57 301 632 63 65
Email: mintecceramic@gmail.com

FORM. GC. 01
VERSIÓN 03

CORPORACIÓN

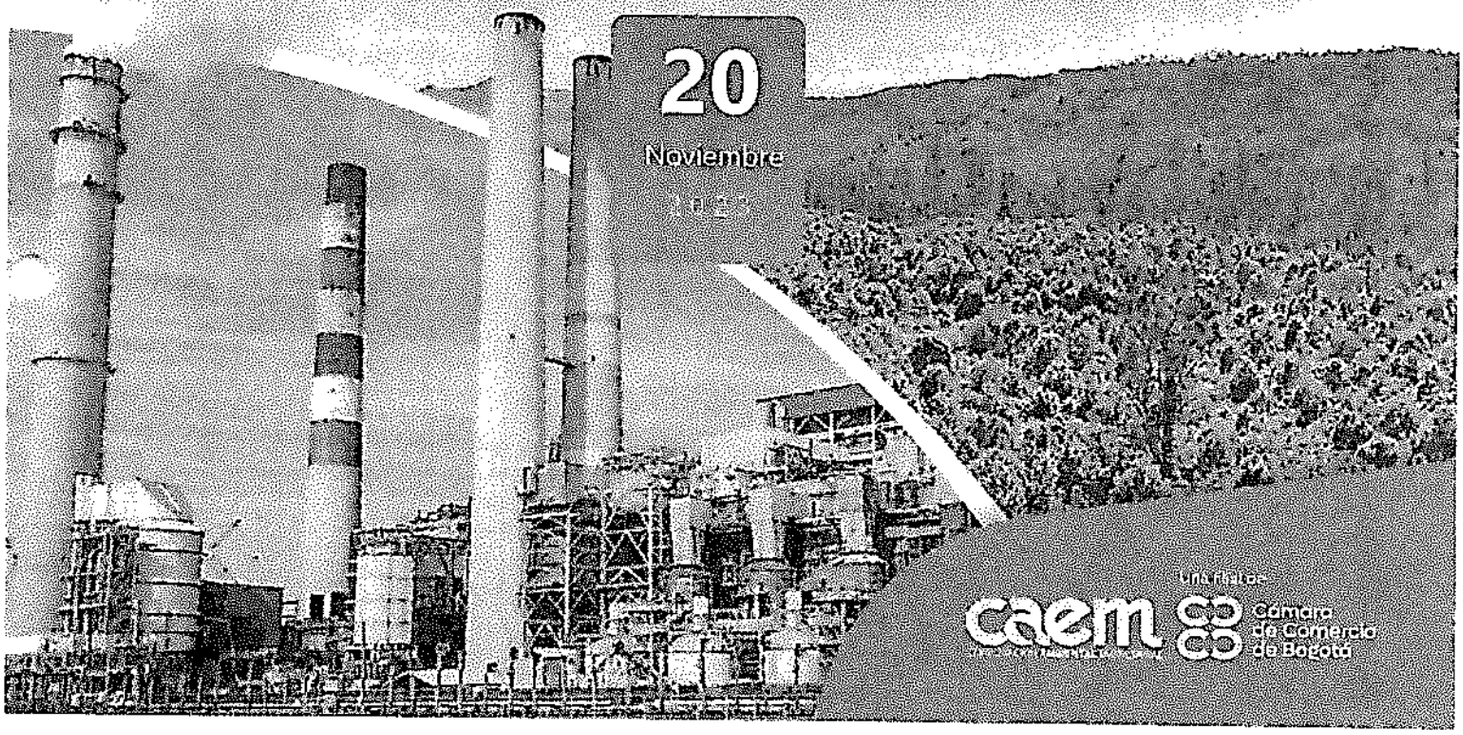
AMBIENTAL EMPRESARIAL

www.caem.org.co

CONVENIO DE ASOCIACIÓN No. SMEG-CDCASO-035-2023 CELEBRADO ENTRE EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA - SECRETARÍA DE MINAS, ENERGÍA Y CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL (CAEM).

ENTREGABLE No 3

20 Noviembre



Una alianza caem Cámara de Comercio de Bogotá

Corporación Ambiental Empresarial - CAEM

Henry Garay Sarasty
Presidente Ejecutivo

Víctor Andrés García Bustos
Director Línea de Energía Sostenible.

Laura Vargas
Profesional Junior - Línea de Energía Sostenible.

José Mauricio Venegas
Profesional Junior Línea de Energía Sostenible.

Pilar Santana
Consultora Línea de Energía Sostenible.

Christian Camilo Aguilar Villarreal
Consultor Línea de Energía Sostenible.

Todos los derechos reservados. No se autoriza la reproducción y difusión de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización de los titulares de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción de este documento para fines comerciales.

Contenido

Introducción 6

1. *Marco teórico* 7

2. *Marco legal* 8

3. *Caracterización de la oferta de materias primas* 10

3.1. *Composición de cadena productiva* 11

3.2. *Indicadores de producción y de mercado* 12

4. *Caracterización de Briquetas* 23

4.1. *Características físicas* 23

4.1.1. *Forma* 23

4.2. *Características Químicas y Mecánicas* 24

4.2.1. *Materia prima y resistencia* 25

4.2.2. *Aglutinante o aglomerante* 25

4.2.3. *Poder calorífico* 28

4.2.4. *Contenido de Cenizas* 30

4.2.5. *Materia Volátil* 31

4.2.6. *Carbono fijo* 31

4.2.7. *Cromatografía de gases* 32

4.2.8. *Grado de reactividad* 32

4.2.9. *Densidad* 32

4.3. *Propiedades mecánicas* 32

4.3.1. *Fuerza de compresión* 32

4.3.2. *índice de resistencia al impacto* 32

4.3.3. *Calidad* 33

4.4. *Selección de muestras para caracterizar* 33

4.5. *Resultado de muestras* 44

4.5.1. Análisis Próximo Briquetas de Carbón "Castillo Patio Bonito Nemocón"..... 44
4.5.2. Análisis Próximo Briquetas de Carbón ""VillBurg Tunja"..... 44
4.5.3. Análisis Próximo Briquetas de Carbón "Ladrillera El Virrey (Hermanos López)"..45
4.6. Conclusiones del análisis..... 48
5. Caracterización del proceso de producción de briquetas..... 49
5.1. Proceso de producción..... 50
5.1.1. Proceso manual o artesanal..... 50
5.1.2. Proceso semiindustrial..... 51
5.1.3. Descripción del proceso de producción..... 53
6. Bibliografía..... 58
7. Anexos..... 61

Listado de Figuras

Figura 1. Composición de cadena productiva..... 12
Figura 2. Proceso de elaboración de una briqueta..... 53

Listado de Tablas

Tabla 1. Directorio de Asociados de Coque - ASOCOQUE..... 13
Tabla 2. Empresas coquizadoras en el departamento de Cundinamarca..... 14
Tabla 3. Empresas localizadas en Cundinamarca productoras de biomasa..... 17
Tabla 4. Producción de arroz mecanizado a nivel nacional..... 19
Tabla 5. Propiedades de las briquetas..... 23
Tabla 6. Tipos de aglutinantes..... 26
Tabla 7. Poder calorífico de materias primas de biomasa..... 29
Tabla 8. Localización Ladrillera El Espiral..... 34
Tabla 9. Especificaciones Técnicas Horno Colmena..... 34
Tabla 10. Caracteristicas de la Chimenea Horno Colmena..... 35
Tabla 11. Localización Ladrillera El Virrey..... 36
Tabla 12.Especificaciones Técnicas Horno Colmena..... 37
Tabla 13. Características de la Chimenea Horno Colmena..... 37
Tabla 14.Localización Ladrillera Buena Vista..... 38

Tabla 15. Localización municipio de Sogamoso(Boyacá) 39
Tabla 16. Especificaciones Técnicas Horno Colmena. 39
Tabla 17. Características de la Chimenea Horno Colmena 40
Tabla 18. Análisis próximo "Castillo Patio Bonito Nemocón" 44
Tabla 19. Análisis próximo "Villburg Tunja" 44
Tabla 20. Análisis próximo "Villburg Tunja" 45
Tabla 21. Comparación de Análisis próximo de muestras enviadas al laboratorio. 45
Tabla 22. Comparación de Análisis próximo de muestras a base seca 46
Tabla 23. Índice de hinchamiento libre 48
Tabla 24. Poder calorífica de algunos materiales 53
Tabla 25. Tipos de hornos usados 54

Listado de Imágenes

Imagen 1. Cifras por zonas productivas en Colombia 20
Imagen 2.Localización municipio de Sáchica (Boyacá) 34
Imagen 3. Localización municipio de Chivata (Boyacá) 36
Imagen 4. Localización empresa Villburg (Boyacá) 41
Imagen 5. Muestras de briquetas enviadas la laboratorio 42
Imagen 6. Muestras de carbón en laboratorio 43
Imagen 7. Tornillo compactador sinfín 51
Imagen 8. Briqueteadora de prensa 52
Imagen 9. Briqueteadora de pistón 52

Listado de Ilustraciones

Ilustración 1.Formas de una briqueta 24
Ilustración 2. Esquema de análisis próximo 43

Introducción

En el marco del convenio de asociación SMEG-CDCASO-035-2023 celebrado entre el departamento de Cundinamarca – Secretaria de Minas y Energia y la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM), el cual tiene como objeto *"Aunar esfuerzos técnicos y económicos para realizar la fase de validación técnica y energética para la sustitución del carbón por briquetas como combustible para los hornos de cocción de ladrillos de los municipios de Nemocón, Tausa y Cogua"*. Así las cosas, la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM) presenta en el siguiente documento el entregable No. 4 correspondiente a "Informe de caracterización de mercado, producción y composición de las briquetas" de acuerdo a lo definido en los términos de referencia del convenio y la propuesta presentada por la corporación.

ENTREGABLE No. 4 Validación energética

1. Marco teórico

Para entender el contexto de lo que se presenta a continuación, se recopilo terminología necesaria para entender el proceso de fabricación de briquetas.

a. Briquetas de carbón: son trozos de carbón elaborados a partir de materiales blandos endurecidos. Los factores que influyen en la calidad de las briquetas son la gravedad especifica del material (residuos agrícolas o forestales), o la gravedad especifica del carbón (carbonilla), la finura del polvo, la temperatura de carbonización, la presión del prensado y la fórmula de la mezcla de la materia prima de las briquetas según Ardila, Becerra & Cedeño (2022) adaptado de Ramadhini et al., 2021.

b. Biomasa: es materia orgánica utilizada como fuente de energía, su origen puede ser natural, residual o de cultivos energéticos. Es derivada de residuos forestales (restos de madera, pellets o aserrín, la caña de azúcar, el maíz); residuos agrícolas (rastrojos); agroalimentarios (residuos de la industria ganadera o aceite industrial: aceites de colza y palma)[1]. La biomasa puede transformarse en calor y electricidad: por medio de los procesos de combustión, digestión anaerobia, gasificación y pirólisis.

c. Residuos agrícolas: Según la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (FAO) se conocen como materiales que quedan luego de haber realizado la cosecha del cultivo y contienen rastrojos, tallos, y residuos de semillas.

d. Residuos forestales: Se consideran aquellos que proceden del mantenimiento y la mejora de las masas forestales, cuando se realizan tratamiento de actividades silviculturales como: podas, limpiezas, claras, etc. También se conocen como los residuos resultantes de cortar troncos de árboles para hacer productos de madera. (Junta de Castilla y León, s.f.).

e. Aglutinantes: Es una sustancia liquida o sólida, que se encarga de mejorar las propiedades, proporcionar resistencia mecánica a las briquetas de carbón y aumentar la densidad aparente energética, formando un puente, es decir una matriz o desencadenando una reacción química que forma un vínculo entre las partículas (Adam et al., 2021)

[1] Ardila, et Al, 2022.

f. Pirolisis: corresponde a la aplicación de altas temperaturas en la biomasa para producir su descomposición en ausencia total de oxígeno y de esta manera incrementar el poder calorífico de esta y obtener un combustible gaseoso, liquido o productos sólidos. De acuerdo Ardila, Becerra & Cedeño (2022) adaptado de Balaguer, 2019 cuando la pirolisis es extrema, deja como único residuo carbón, se conoce como carbonización.

g. Carbonización: se conoce como el proceso de calentamiento de materiales orgánicos, con temperaturas que oscilan entre los 400 y 700 grados Celsius, a estas temperaturas con ausencia de aire se produce el carbón, adaptado de Ardila, Becerra & Cedeño (2022), basado en Kymsey, 2012.

h. Poder Calorífico: Se define como la cantidad de energía o calor que genera una unidad de masa o volumen de un gas al producirse la combustión (oxidación) completa de una materia. Es el parámetro más importante a tener en cuenta en el análisis fisicoquímico de un combustible, puesto que, a mayor poder calorífico, menor cantidad de materia prima se requiere para la combustión, además de definir su calidad, potencial y productividad en la Industria.

   Su unidad de medida son los kilojulios o kilocalorías por unidad de masa o unidad de volumen de combustible que se ha oxidado (quemado) y se expresa:

   Para este caso, en combustibles sólidos: Kilocalorías por kilogramo (kcal/kg), poder calorífico por kilogramo. La kilocaloría se suele convertir a kilovatio hora (kWh), que es la unidad de medida en el consumo de energía eléctrica.

i. Ceniza: Son partículas muy finas (polvo) originadas por la combustión de un material. El porcentaje de cenizas en un análisis físico químico de un combustible, indica la cantidad de residuo que se genera después de la combustión (Oxidación), se puede inferir que, si el porcentaje de cenizas en un combustible es bajo, es considerado de alta calidad, mayor productividad, menos residuos generados, menor contaminación al aire por emisión de partículas y emisiones atmosféricas.

2. Marco legal

Para el análisis que se está realizando en el presente documento, es necesario identificar la legislación a nivel internacional que se encuentra vigente y establece los parámetros para la fabricación de briquetas.

- ⇒ UNE-EN-ISO 17225-7: 2022: Biocombustibles sólidos, especificaciones y clases de combustibles. Parte 7: calases de briquetas de origen no leñoso.
- ⇒ UNE-EN-ISO 17831-1: 2016: Biocombustibles sólidos. Determinación de la durabilidad mecánica de los pelets y briquetas. Parte 1. Pelets.
- ⇒ UNE-EN-ISO 17831-1: 2016: Biocombustibles sólidos. Determinación de la durabilidad mecánica de los pelets y briquetas. Parte 2. Briquetas.
- ⇒ UNE-EN-ISO 18847:2017: Biocombustibles sólidos. Determinación de la densidad de particula de pelets y briquetas.
- ⇒ UNE-EN-15234-3:2012: Biocombustibles sólidos. Aseguramiento de la calidad del biocombustible. Parte 3. Briquetas de madera para uso no industrial.
- ⇒ UNE-EN 1860-2: 2005: Aparatos, combustibles sólidos y sustancias de encendido para el asado en barbacoas. Parte 2: carbón vegetal y briquetas de carbón vegetal para barbacoas. Requisitos y métodos de ensayo.
- ⇒ UNE-EN 1860-2: 2005 Aparatos, combustibles sólidos y sustancias de encendido para el asado en barbacoas. Parte 2. Carbón vegetal y briquetas de carbón vegetal para barbacoas. Requisitos y métodos de ensayo.
- ⇒ ÖNORM M 7135: Especificaciones de los pelets y briquetas de madera con o sin corteza.
- ⇒ ÖNORM M 7136: Requerimientos de calidad, almacenamiento del consumidor final de pelets de madera
- ⇒ DIN 5731: Especificaciones de pelets para gran calidad para calderas.
- ⇒ SS 187120 (Pellets): Especificaciones de pelets en función del tamaño.
- ⇒ SS 187121 (Briquetas): Especificaciones de briquetas en función del tamaño.
- ⇒ NTC 2060 – 1987: Briquetas combustibles para uso doméstico.
- ⇒ Norma ASTM D3173, Método de prueba estándar para humedad en la muestra de análisis de carbón y coque.
- ⇒ Norma ASTM D3174, Método de prueba estándar para ceniza en la muestra de análisis de carbón y coque de carbón.
- ⇒ Norma ASTM D3175, Método de prueba estándar para materia volátil en la muestra de análisis de carbón y coque.
- ⇒ Norma ASTM D3038, Método de prueba estándar para ensayo de caída de coque.

Estas normas están disponibles en la web para consulta pública, allí se podrán encontrar requisitos y métodos de ensayo para la fabricación de briquetas. Es importante mencionar que la normativa garantiza la calidad de producción de pelets o briquetas, define los indicadores calidad y valores limite permisibles, así como confiere seguridad legal a los actores de mercado involucrados.

3. Caracterización de la oferta de materias primas

Colombia es uno de los principales países en la exportación de coque y briquetas de carbón, para el año 2021, Colombia exporto $1,33MM de coque, equivalente al 11,9% del total de exportaciones en el mundo, además, ocupo el puesto número 7 en exportación de briquetas de carbón con un total de $5,11 MM.

El comercio de Coque representa 0,053% del total de comercio mundial. En 2021, los principales países de importación de coque en Colombia fueron: Brasil, México, Turquía, India, Arabia saudita, Malasia, Reino unido, Bélgica, Finlandia, Marruecos y Australia de acuerdo con el The Observatory of Economic Complexity[2].

Para el caso de las Briquetas de carbón, los principales destinos de exportación fueron: Turquía ($1,13MM), Países Bajos ($792M), Brasil ($518M), Chile ($460M), e Israel ($274M), mercados de exportación de más rápido crecimiento.

La primera empresa de la industria metalúrgica en Colombia se creó hacia el año 1948, denominada Empresa Siderúrgica Nacional de Paz de Río, hoy conocida como Acerías Paz del Río, ubicada en el departamento de Boyacá, cumpliendo con el objetivo de ser la primera acería para la fundición de hierro. Hacia el año 2000 se dieron los primeros pasos para la exportación de coque hacia Brasil y México, el mercado incluyo una canasta diversificada con los coques metalúrgicos de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, y coques bajos en fosforo del Norte de Santander, manifiesta Carlos Andres Cante Puentes, presidente de Fenalcarbon en el medio de información Valora Analitik[3].

En contexto, la importancia del sector minero para la economía del país versus la realidad de la descarbonización del territorio nacional, hace que la transición energética se convierta en un reto para el diseño de nuevas estrategias y tecnologías que generen energías renovables, y nuevos productos para la sustitución de combustibles fósiles en los sectores industriales; que requieren como materia prima el carbón y el coque para la fabricación de materiales en arcilla para la construcción, la fundición de hierro, generación de energía, entre otros industrias manufactureras.

Por otro lado, de acuerdo con el Plan Nacional de desarrollo PND 2018 – 2022, la economía circular se ha convertido en una de las estrategias claves que busca promover la innovación y la generación de valor en sistemas de producción y consumo a través de optimizar,

[2] The Observatory of Economic Complexity, https://oec.world/es

[3] Historia | ¿Qué es el coque y por qué es tan importante para Colombia? Revista Analitik, 2022-09-22. https://www.valoraanalitik.com/2022/09/22/que-es-el-coque-por-que-es-tan-importante-para-colombia/

compartir, intercambiar, reciclar y regenerar materiales, agua y energía, incentivando a las empresas consumidoras y su cadena de valor a crear nuevos modelos de negocio.

A nivel industrial, todas las empresas generan residuos o subproductos que están siendo insumo o materias primas para otros sectores, por tan solo citar un ejemplo: en el sector de construcción, se genera un residuo conocido como el chamote, (residuos de material cerámico generados en la quema y desechado por defectos: inquemados, agrietados, florescencias, etc), este residuo está siendo usado como materia prima en la industria cementera.

Para el caso de la industria siderúrgica, en el proceso de coquización, se genera un residuo denominado finos de coque, partículas con un tamaño no mayor a veinte milésimas de pulgada. Actualmente estos residuos son usados para la fabricación de briquetas y el reciclaje de combustible.

Las briquetas de carbón son usadas como combustible fósil en algunas industrias manufactureras, existen diferentes tipos de briquetas, fabricadas a partir de finos de coque y otras materias primas como Biomasa (Cascarilla de arroz, palma y café, Cascara de plátano, maíz, coco; aserrín, maíz, hojas secas, residuos de hortalizas, verduras, frutas, madera, bagazo de caña de azúcar).

Dentro del proceso de coquización se producen diferentes tipos de coque, coque de petróleo, coque metalúrgico, coque de brea, coque de aguja calcinado, importante precisar que, para el sondeo de mercado realizado en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, predomina el coque metalúrgico.

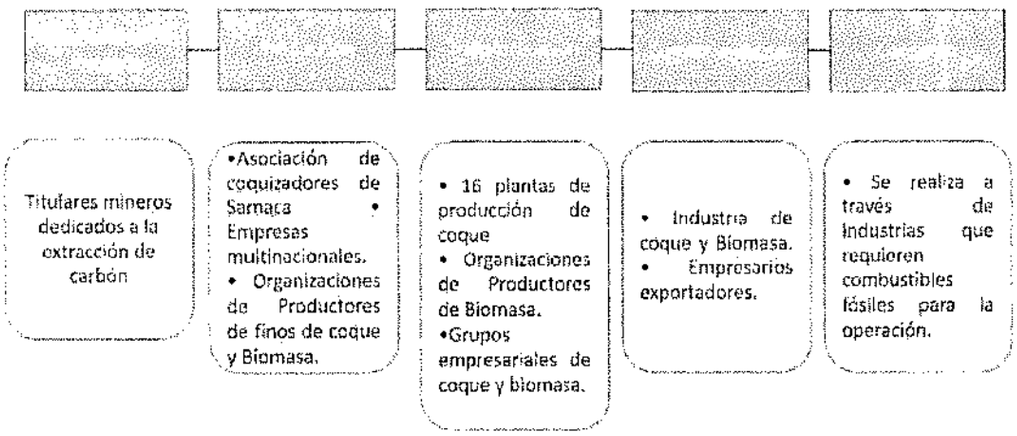
El coque metalúrgico es un mineral de alta calidad, alta resistencia mecánica, se fabrica mediante la destilación destructiva de varias mezclas de carbón bituminoso, usando como medio hornos refractarios para la liberación de compuestos volátiles, a temperaturas de 900 a 1200 grados Celsius en ausencia de oxígeno. Es usado para la fundición de hierro, la producción de acero y ferroaleaciones, motivo por el cual es uno de los productos más exportado.

Para efectos del presente proyecto, se realizó un sondeo de mercado de finos de coque y biomasa, como materias primas para la fabricación de briquetas.

3.1. Composición de cadena productiva

A continuación, se muestra la composición de cada uno de los actores involucrados en la cadena productiva del coque para convertir la materia prima en productos terminados, su comercialización y posterior consumo.

Figura 1. Composición de cadena productiva



Fuente: CAEM,2023

3.2. Indicadores de producción y de mercado

El sondeo de mercado se centró en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. En el estudio realizado para los finos de coque, se encontraron 55 proveedores, de los cuales 39 hacen parte de la asociación de coquizadores ASOCOQUE del Municipio de Samacá Boyacá. Se realizó contacto con la Ingeniera María Teresa Arias Díaz, Directora Ejecutiva de ASOCOQUE, invitando a la asociación a participar del estudio de mercado de finos de coque, el cual tiene como objetivo encontrar alternativas de combustible para la cocción en hornos productores de ladrillos.

Esta iniciativa busca fomentar la competitividad del sector ladrillero y contribuir a la eficiencia energética del mismo, en línea con la transición energética y la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) propuesta para la región por parte de las entidades gubernamentales.

Gracias a su disposición, se obtuvo el directorio de contactos de los 39 empresarios vinculados a la Asociación, por tanto, se realizó contacto con cada uno de ellos para realizar la consulta sobre la disponibilidad para el suministro de finos de coque; sin embargo, los empresarios manifestaron que tienen contratos de exclusividad para el suministro con las empresas Carbones Andinos SAS y C.I. Milpa S.A.

Ahora bien, C.I. Milpa S.A. es la compañía de coque más grande del país, con 17,7% de participación y cerca de 800.000 toneladas producidas. Carlos Parra, su gerente general,

expresó que 2021 fue el mejor año del sector[4], debido al repunte en las cifras, las cuales superaron las expectativas trazadas a nivel gremial.

A continuación, se enlistan las empresas coquizadoras que hacen parte de ASOCOQUE:

Tabla 1. Directorio de Asociados de Coque – ASOCOQUE

ASOCOQUE	DIRECTORIO ASOCIADOS ASOCOQUE		
ITEM	ASOCIADO	TELEFONO	EMAIL
1	ALBERTO SIERRA SANCHEZ	311 4523155	hrslarra@gmail.com
2	INVERSIONES BUITRAGO GONZALEZ	314 2977543	juanb31135@gmail.com
3	CARBONES & COQUES EL MORTIÑO	320 3315027	juangrijalba@hotmail.com
4	EYMACO	310 7691997	carmibusamaca@gmail.com
5	CARBONES ANDINOS SAS	310 8694533	directorambiental@carbonesandinos.com
6	CARBONES MONTIEL	3112053166	ambientemontiel@gmail.com
7	COQUESAM SAS	321 3936952	coquesam2018@gmail.com
8	EXPOCARBONES Y MINERALES V & V	322 3974068	expocar15@hotmail.com
9	FABIO ANDRES VARGAS MORALES	3104768450	contabilidadcoquevymsas@gmail.com
10	FRANCISCO GRIJALBA	313 4247218	grijalvamaca@yahoo.com
11	FRANCOAL SAS	311 5219851	pedrofranco@francoal.com.co, ambiental@francoal.com.co
12	GREEN COKE	318 8491740	josecastiblanco49@gmail.com
13	GERMAN FRANCO CARBONES SAS	3114894202	germanfranco@live.com
14	HUGO ESPITIA	320 5218454	foncarbonsas@hotmail.com, medioambiente@foncarbon.com
15	INVERSIONES FONCARBON SAS	310 2489796	foncarbonsas@hotmail.com, medioambiente@foncarbon.com
16	ISACARGO	321 4531668	lilico2809@hotmail.com
17	JOHANA PARRA SIERRA	311 8147749	joppipasi@yahoo.com
18	JORGE ELIECER BUITRAGO	310 6186329	Sin Información
19	JOSE ANTONIO CELY GIL	311 4778342	foncarbonsas@hotmail.com, medioambiente@foncarbon.com
20	JOSE EUSEBIO CASTIBLANCO	318 8491740	josecas0blanco49@gmail.com
21	LIMAR COALS SAS	3103291792	moralesdino93@yahoo.com
22	LUIS ALVARO RAMIREZ	313 8541886	carbonacsas@gmail.com
23	LUIS EDUARDO RODRIGUEZ	320 2717069	moralesdino93@yahoo.com
24	LUIS ENRRIQUE MOLINA	316 6911144	luisamolina75@hotmail.com
25	LUIS HERNANDO RAMIREZ	311 2287961	luisr20@hotmail.com
26	LUIS HUMBERTO LANCHEROS	310 2463423	luishlancheros@hotmail.com, hlanrodriguez08@gmail.com
27	MARCO EMILIO VARGAS	316 8681498	marcemvapa@hotmail.com
28	SOCIEDAD VARGAS ALFONSO LOS BARRA	322 9472494	jhonvargas2494@gmail.com
29	SERVICIOS INTEGRALES RODFON SAS	318 3322185	martine0622@gmail.com, serviciosintegralesrodfonsas@gmail.com
30	OSCAR GIL PARRA	311 4418555	Sin Información
31	DARIO GIL PARRA	3203029184	Sin Información
32	COQUECOL	3125610432	millerlandy.rodriguez@coquecol.com
33	CI PRODYCER	3108142721	Sin Información
34	JAM INTERNACIONAL	3212137131	aavella@caribbeanresources.co
35	CARLOS MATAMOROS	3107530649	Sin Información
36	ELITE INVERSIONES Y NEGOCIOS LTDA	3112853769	Sin Información
37	DIVIPROCOQUE	3102158202	divipro22@hotmail.com
38	COQUES LA SIERRA	3213651542	coqueslasierrasas@gmail.com
39	MAURICIO HURTADO	3123662825	solucionesbloindustriales@gmail.com

Fuente: Directorio Asocoques

[4] Tres compañías tendrán 34,3% del total del mercado de coque metalúrgico en 2022, Periódico La República, 20 noviembre 2023, https://www.larepublica.co/empresas/tres-companias-tendran-34-3-del-total-del-mercado-de-coque-metalurgico-en-2022-3301490#:~:text=Milpa%20es%20la%20compa%C3%B1%C3%ADa%20de,expectativas%20trazadas%20a%20nivel%20gremial.

Por otro lado, los proveedores restantes, se ubican en los municipios de Zipaquirá, Cogua, Nemocón, Tausa, Ubaté Cundinamarca y Samacá Boyacá. A continuación, se enlistan las 16 empresas de la Industria Siderúrgica que participaron en el estudio de mercado:

Tabla 2. Empresas coquizadoras en el departamento de Cundinamarca y Boyacá

No	Tipo de Materia prima	Razón social del proveedor	Departamento	Municipio	Especificación Técnica (Caracterización fisicoquímica)	Cantidad suministrada por proveedor	Precio mercado ($/Ton)
1	Finos de coque	Transportes y logística J.F	Cundinamarca	Zipaquirá	Coquecillo tipo B: Poder calorífico:7000 kcal/kg Ceniza: 22 Granulametria: 10 mm	1000 Ton/mes	$150.000 - 170.000
2	Finos de coque	DNA GA SAS	Cundinamarca	Cogua	Coquecillo	1000 Ton/mes	$150.000
3	Finos de coque	Carboex P&B SAS	Cundinamarca	Nemocón	Poder calorífico: 6256 kcal/kg; Ceniza:22,76 %	100 Ton/mes	$200.000
4	Finos de coque	Asocoque	Boyacá	Samacá	Carbones andinos		
5	Finos de coque	Carbones especiales de Colombia SAS	Cundinamarca	Ubaté	Poder calorífico: 5835 kcal/kg; Ceniza:27,96 ; Materia Volátil: 4,01	1000 Ton/mes	$ 220.000
6	Finos de coque	Minminer S.A	Cundinamarca	Tausa	Sin Información	Sin Información	Sin Información
7	Finos de coque	Norcoal SAS	Cundinamarca	Tausa	Humedad: 8% Max; Ceniza: 22% Max; Materia volátil: 3% Max; Azufre: 0,75% Max; Fósforo: 0,045% Max; Carbono Fijo: 75% Min	Sin Información	Sin Información

No	Tipo de Materia prima	Razón social del proveedor	Departamento	Municipio	Especificación Técnica (Caracterización fisicoquímica)	Cantidad suministrada por proveedor	Precio mercado ($/Ton)
8	Finos de coque	Trancora SAS	Cundinamarca	Ubaté	Sin Información	Sin Información	Sin Información
9	Finos de coque	C.I. Fortia Minerals S.A.S.	Cundinamarca	Tierra negra	Sin Información	Sin Información	Sin Información
10	Finos de coque	Carbones y explotaciones de la sabana	Cundinamarca	Ubaté	Volátil: 3,82 Ceniza:21,97 Granulometría: <5 mm	3000 Ton	$130.000 - $160.000
11	Finos de coque	Carbyfilco Ltda	Cundinamarca	Cogua	Sin Información	Sin Información	Sin Información
12	Finos de coque	Minera HD	Cundinamarca	Cogua	Volátil: 3,82 Ceniza:21,97 Granulometría: <5 mm	3000 Ton	$130.000 - $160.000
13	Finos de coque	Minercoal SAS	Cundinamarca	Ubaté	Poder calorífico: 5875 Kcal/kg; Cenizas: 28,22	600 Ton	$ 150.000
14	Finos de coque	Francoal SAS	Boyacá	Samacá		128 Ton	$ 130.000
15	Finos de coque	Carbones Andinos SAS	Boyacá	Samacá	Exclusividad		
16	Finos de coque	Germán Franco Carbón SAS	Boyacá	Tunja	Exclusividad		

Fuente: CAEM, 2023.

Con esta información, fue posible establecer que el costo promedio de los finos de coque es de $161.250, con una capacidad de suministro desde 128 ton/mes hasta de 3.000 ton/mes. Las características fisicoquímicas de los finos de coque se identifican por tener una granulometría menor o igual a (<=) 5 mm, un porcentaje de cenizas que oscila entre 20 y 27%, un índice de hinchamiento igual a cero (0), baja volatilidad, y un poder calorífico de entre 5.800 y 7.000 Kcal/Kg.

De los 16 proveedores, no se logró obtener la información completa de las empresas que se relacionan a continuación debido a que cuentan con políticas internas en el suministro de información a terceros:

- Carbones Andinos SAS
- Minminer S.A
- Norcoal SAS
- Trancora SAS
- C.I. Fortia Minerals S.A.S.
- Carbyfilco Ltda
- Germán Franco Carbón SAS

Estas empresas tienen un común denominador y es que son empresas lideres en la explotación subterránea de carbón coquizable y la posterior producción y comercialización de coque metalúrgico, incluso estas empresas exportan el 95% del coque a países como Brasil, México y Reino unido.

Carbones Andinos es el cuarto productor de coque de alta calidad del país. Posee operaciones consolidadas de extracción de carbón de hasta 25 mil ton/mes y produce coque de alta calidad, con una capacidad instalada de 150 mil Ton/año, sus principales clientes han sido exportadores directos, compañías comercializadoras de commodities y consumidores finales en el exterior.

MinMiner, La Cooperativa de Mineros agrupados en la empresa Minas y Minerales S.A (Minminer S.A), asociación anónima que cuenta con 38 socios y 162 asociados, 50 años de experiencia en el sector minero de Sutatausa y Cucunuba Cundinamarca, cuenta con una reserva disponible de 49 millones de Toneladas aproximadamente, 54 bocaminas integradas en 7 subproyectos.

C.I. Fortia Minerals S.A.S. Fortia es un líder en minería de carbón y manufactura de coque de forma responsable, al mismo tiempo que ofrece una solución logística para la distribución y exportación de coque y productos de carbón a través de su propio puerto en la principal vía fluvial de Colombia, el Río Magdalena. Los clientes de Fortia incluyen productores de acero, fabricantes de fundición de metales y comercializadores internacionales de materias primas.

Para el caso de Germán Franco Carbón SAS, se determina que es una empresa familiar, constituida hace más de 60 años, cuenta con clientes a nivel regional, con relaciones comerciales de más de 20 años, como Gerdau Diaco (mayor productor de acero en Colombia con plantas en Tuta, Tocancipá y Muña, y centros de figuración de acero (corte y doble) en las principales regiones del país.

El Ingeniero Metalúrgico German Franco, indico que participaron en el Estudio de fino de coque reciclado aglomerado y compactado, realizado por Naren Orlando Mariño Hernández de la Universidad Santo Tomas Tunja, documento que fue tomado como referencia para la elaboración del presente estudio.

En cuanto al sondeo de mercado de Biomasa, En el Municipio de Tocancipá Cundinamarca, se encuentra ubicada la empresa Primadera S.A.S, empresa dedicada a la producción de tableros MDP, la cual usa el 60% de madera reciclada como materia prima. Dentro de su proceso de producción genera residuos como finos (polvo) y cortezas de diferentes tamaños. El volumen generado es en promedio de 14.000 toneladas mensuales. No se cuenta con una caracterización fisicoquímica del material, la empresa Primadera se ofrece a suministrar muestras para que en el marco del proyecto de CAEM, se realicen los respectivos análisis y de ser de interés, realizar visita a planta y acordar modelo de negocio por Economía circular, es por esto que tampoco hay un costo por tonelada, sin embargo, estas actividades estas plasmadas en las próximas etapas del proyecto.

Tabla 3. Empresas localizadas en Cundinamarca y Huila productoras de biomasa.

Item	Tipo de Materia prima	Razón social del proveedor	Departamento	Municipio	Especificación Técnica (Caracterización fisicoquímica)	Cantidad suministrada por proveedor	Precio mercado ($/Bulto)
1	Biomasa	Primadera SAS	Cundinamarca	Tocancipá	Finas (Polvo) - Cortezas de distintos tamaños	14000 Ton/mes	Sin información
2	Biomasa	Promotora Agrícola de comercio SAS	Cundinamarca	Fusagasugá	Bultos de cascarilla de arroz 12 kg /No cuentan con ficha técnica	50 Ton/mes	12.000
3	Biomasa	Insumo Agricolas.MY	Cundinamarca	Tabio	Bultos de cascarilla de arroz 45 kg /No cuentan con ficha técnica	50 Ton/mes	28.000
4	Biomasa	Agroambiental Bocachivero	Huila	Neiva	Bultos de cascarilla de arroz 16 y 17 kg /No cuentan con ficha técnica	A convenir	9.000

Fuente: CAEM, 2023

Se buscaron varias alternativas y tipos de Biomasa que pueden usarse como fuentes de combustibles fósiles, para este caso, se tuvieron en cuenta la cascarilla de arroz, cascarilla de palma y cascarilla de café, teniendo en cuenta que son materias primas muy usadas en el mercado de briquetas a nivel mundial:

Cascarilla de arroz: La cascarilla de arroz es un subproducto generado en el proceso de molienda del grano de arroz proveniente de los campos de cultivo. La cascarilla de arroz se ha utilizado en la industria como sustitución de combustibles fósiles, investigaciones y estudios han demostrado que sus propiedades térmicas sustentan su uso como fuente de energía, tiene un poder calorífico de 3.200 cal/kg y un porcentaje de cenizas de 19,2%, índices que catalogan la cascarilla de arroz como una alternativa en la transición energética.

En el Departamento de Cundinamarca, en los Municipios de Tabio y Fusagasuga, se ubicaron empresas comercializadoras de cascarilla de arroz, ambas empresas cuentan con una capacidad de suministro de 50 toneladas mensuales. En Tabio, se localiza la empresa denominada Insumos agrícolas. MY, con una oferta de $28.000/bulto de 45 kilos, el flete al Municipio de Nemocón tiene un costo de $450.000 y de Tabio a Chivata (Boyacá), el costo es $900.000

En Fusagasugá, se encuentra ubicada la empresa Promotora Agricola de comercio SAS, con una oferta de $12.000 / bulto de 12 kg, el transporte desde Fusagasugá al municipio de Nemocon, tiene un costo promedio de $700.000 y de Fusagasugá a Chivata (Boyacá) $1.100.000 por un cargue aproximado de 300 bultos de cascarilla de arroz.

Insumos Agricolas.MY es un proveedor potencial para el proyecto, puesto que el costo por kg de cascarilla de arroz es de $622 pesos; en caso de que las Briquetas se produjeran en el Municipio de Nemocón, la empresa se encuentra localizada a 55 min (40.5 km) y el costo del flete es de $450.000/6 toneladas. .

De acuerdo con el Instituto Colombiano agropecuario y la Federación nacional de arroceros – Fedearroz, el departamento del Huila, es uno de los departamentos con mayor producción de arroz a nivel nacional, motivados por estos indicadores, decidimos ubicar una empresa en el municipio de Neiva, allí se localiza la empresa denominada agroambiental Bocachivero, dedicada a la producción de cascarillas de arroz, cada bulto de 17 kg cuesta en promedio $9.000 pesos. El suministro de materia prima depende de lo que requiera el cliente.

El flete o transporte de Neiva a Chivata (Boyacá), Cogua o Nemocón tiene un promedio de $1.700.000/10 ton de cascarilla de arroz.

En el caso en el que se quisiera producir briquetas en la zona de Cundinamarca y Boyacá, se realiza un análisis genérico, teniendo en cuenta que el precio por tonelada de briqueta dependerá de la composición (%) de finos de coque y biomasa.

El cultivo de arroz es un cultivo semestral tropical o subtropical, a nivel mundial se concentra en los suelos húmedos tropicales. La forma cómo se siembra, puede ser manual (se emplea mano de obra en todas las actividades del proceso productivo) o mecanizada (se usan máquinas para realizar labores durante el proceso productivo de cultivo).

Otras zonas de generación de cascarilla de arroz son: Zona bajo Cauca: Antioquia, Bolívar, Chocó, Córdoba y Sucre. Zona Centro: Caquetá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Nariño, Tolima y Valle del Cauca, donde se encuentran las principales producciones de arroz en el país, de acuerdo al boletín técnico del Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Según la encuesta nacional de arroz mecanizado realizada el primer semestre del 2022 por DANE y la Federación Nacional de Arroceros (Fedearroz) – Fondo Nacional del Arroz (FNA), la producción de arroz mecanizado a nivel nacional fue de: 912.267 Toneladas.

Tabla 4. Producción de arroz mecanizado a nivel nacional

DEPARTAMENTOS	Producción [2]					
	2021 - I		2022 - I		Variación	Contribución p.p
	Tonelada (t)	Participación (%)	Tonelada (t)	Participación (%)		
TOTAL NACIONAL	**1.208.599**	**100,0**	**912.267**	**100,0**	**-24,5%**	
Meta	100.892	8,3	78.134	8,6	22,6%	1,9
Casanare	109.416	9,1	78.356	8,6	-28,4%	-2,6
Tolima	403.028	33,3	296.452	32,5	-26,4%	-8,8
Huila	147.702	12,2	135.420	14,8	-8,3%	-1,0
Resto Departamentos [3]	447.559	37,0	323.906	35,5	-27,6%	-10,2

Fuente: DANE-Fedearroz, FNA

Cascarilla de Palma: La cascarilla de palma, es un subproducto orgánico generado por el rompimiento físico de la nuez de palma, en la industria de la fabricación de aceite de palma. Tiene un poder calorífico de 3900 Kcal/kg y un porcentaje de cenizas de 4,9%. De acuerdo con el informe de indicadores e instrumentos del Ministerio de Agricultura, presentado a junio 2021[5], las principales zonas de producción de aceite de palma se encuentran ubicadas en los departamentos de zona norte: Antioquia (norte), Atlántico, Bolívar (norte), Cesar, Chocó, Córdoba, La Guajira, Sucre y Magdalena; Zona central: Antioquia (sur), Bolívar (sur), Caldas, Cesar, Cundinamarca;

[5] Informe de indicadores e instrumentos del Ministerio de Agricultura, Junio 30 de 2021

Norte de Santander y Santander, Zona sur occidental: Nariño, Caquetá y Cauca; Zona Oriental: Meta, Cundinamarca, Casanare, Vichada y Arauca.

Colombia ocupa el cuarto puesto a nivel mundial y el primero en Latinoamérica en la producción de aceite de palma, a nivel nacional, para el año 2020 la producción fue de 1.632.000 Toneladas.

Imagen 1. Cifras por zonas productivas en Colombia

Cifras por Zonas productivas en Colombia.

Zona Oriental	199.999	258.559	280.285	220.053	242.819	228.997	302.402	409.938	724.214	670.773	648.464	692.439	3,07	3,15	4,26	3,55	2,9	2,9		
Zona Norte	123.081	124.948	122.150	129.874	130.163	131.452	370.265	334.592	339.639	421.358	359.932	353.482	3,68	3,17	3,61	3,69	2,8	2,8		
Zona Central	159.243	181.623	163.452	161.676	171.874	153.256	354.923	317.931	476.552	509.909	433.341	514.645	2,67	2,83	3,93	3,34	2,8	2,5		
Zona Suroccidental	17.544	18.948	20.113	21.775	21.468	21.703	25.334	24.760	33.747	28.199	47.329	51.155	1,56	1,61	1,96	2,21	2,7	2,5		

Fuente: Ministerio de agricultura, 2021.

En el departamento de Santander, municipio Barrancabermeja, se encuentra ubicada la empresa PYROLOGIC SAS, en desarrollo de su objeto social en la línea de negocios "industria y tecnología" viene implementando tareas para la solución al problema de disposición final y aprovechamiento de residuos sólidos de la agroindustria, como un aporte al mejoramiento del medio ambiente de la región y el país. Usando cascarilla de palma en el proceso de pirolisis como tecnología para la producción de carbón, biocrudo, ácido acético y gas.

Es importante indicar que la pirolisis es la degradación térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno y aire, a través de parámetros como tipo de biomasa, la temperatura máxima, las condiciones de la atmosfera de reacción, la tasa de calentamiento, y el tiempo de permanencia del producto en el reactor. La energía para el proceso es suministrada por biomasa residual para inicio y alimentada con gas de proceso durante la pirolisis, protegidas y aisladas del exterior con un recubrimiento en concreto refractario, que, además, hace las veces de aislante térmico. La temperatura que se utiliza para la pirolisis esta entre 400 y 500 grados centrifugados durante 6 horas, sostenidos en aprox. 450 grados 3 horas. Para un total de 9 horas de calentamiento.

Cascarilla de Café: La cascarilla de café es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa y representa alrededor de 12% del grano de café en base seca, es un subproducto o material residual generado en el proceso productivo del café, tiene un poder calorífico de 4.045 cal/kg y un porcentaje de cenizas de 5,30%. Con respecto al poder calorífico y porcentaje de cenizas de la cascarilla de arroz y de palma, la cascarilla de café tiene un poder calorífico más alto

y un porcentaje de cenizas más bajo, contiene un valor energético significativo como fuente de mitigación de los combustibles fósiles.

Los principales departamentos productores del café en Colombia son: Nariño, Norte de Santander, Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca, Huila, Cauca, Tolima, Caldas, Quindío y Risaralda, conocidos los cuatro últimos como el Eje Cafetero.

De acuerdo con la Federación Nacional de cafeteros, El café se empezó a cultivar en el año 1730 por los curas jesuitas, para el año 1835 se empezaron a hacer las primeras exportaciones, en 1870 la exportación paso de 60 mil sacos a 600 mil sacos de café, en 1927 se creó la Federación Nacional de cafeteros, la ONG más grande del mundo y para el año 1938 se creó el centro de investigación científica sobre el café - CENICAFE, en 1959 se abre la oficina de Café de Colombia en Tokio, logrando que hoy en día Japón sea el segundo consumidor de Café de Colombia en el mundo y finalmente en 1984 se crea el sello distintivo de Café de Colombia que lo identifica del mundo.

Para el año 2022, la producción de café en Colombia fue de 11,1 millones de sacos, referente al año 2021, la producción disminuyo en un 12%, básicamente por las temporadas de lluvia en el país, igualmente las exportaciones disminuyeron en un 8% de 11,4 millones de sacos de 60 kg de café verde frente a los más de 12,4 millones de sacos puestos en los mercados internacionales a lo largo de 2021.

Bagazo de caña de azúcar: Es importante mencionar que varios estudios mencionan el bagazo de azúcar como una alternativa de materia prima para la fabricación de broquetas, debido a que según un estudio de Anwar S.I el poder calorífico neto del bagazo se puede usar combustible en las hornillas de los trapiches de la panela; ahora, el estudio menciona que el bagazo se caracteriza por contenido de fibra, sacarosa y humedad del bagazo. Adicionalmente, dicen que la cantidad que debe usarse dependerá de las dimensiones del horno que se utilice.

Ahora bien, se contempla el municipio de Villeta como un área para el suministro de la materia prima, teniendo en cuenta que la producción en el municipio se reconoce por tener bajos niveles de tecnificación tanto en los cultivos como en el proceso de aprovechamiento de los jugos de caña, presentan bajos niveles de renovación, bajos niveles de utilización de fertilizantes y herbicidas y el corte de la caña se realiza por

"entresaque[6]", sistema que permite tener producción de caña y de panela de forma permanente durante todo el año.

Este mercado es importante porque se da a través de mercados mayoristas, municipales y regionales, en el municipio las labores de cultivo no se realizan de manera mecanizada debido a la localización de los cultivos en zonas de ladera (Gobernación de Cundinamarca, 2008). Es importante mencionar que los residuos del bagazo en el proceso de producción pueden ser utilizados para la fabricación de briquetas, teniendo en cuenta el modelo de economía circular que se promueve en la región, sería una alternativa viable que podría proponerse a los productores de la región, es prudente mencionar que en la región del valle estas pruebas ya se encuentran realizándose de acuerdo a Cenicaña, por tanto, el modelo podría revisarse para un replica en el departamento.

En el anexo 1, se puede consultar la información recopilada al estudio de oferta realizado.

[6] Gestión en la producción de la panela, municipio de Villeta, Cundinamarca, Ubaque, L., (2013).Pontificia Universidad Javeriana.

4. Caracterización de Briquetas

Como parte de este proyecto, es importante definir que la briqueta es un biocombustible que es 100% ecológico y renovable, se encuentra clasificada como un Biocombustible Sólido (BCS), esta se puede generar de diferentes materiales compactados, estos materiales pueden ser biomasa forestal, biomasa residual, carbón, carbón vegetal entre otros[7].

Las características de las briquetas son el resultado del equipo que se utiliza para su fabricación, el tipo de materia prima, la presión, la temperatura manejada, los aglutinantes empleados y una serie de parámetros que se presentaran más adelante.

En este sentido sus propiedades se pueden evaluar en físicas, químicas y mecánicas como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5. Propiedades de las briquetas

Propiedades Físicas	Propiedades Químicas	Propiedades mecánicas
Forma	Metería Volátil	Resistencia
Diámetro	Cenizas	Durabilidad
Longitud	Carbono Fijo	
Densidad	Poder calorifico	
Contenido de humedad		
Elongación		

Fuente: Evaluación de las propiedades físicas y químicas de briquetas elaboradas con biomasa generada en el proceso de transformación primaria de la madera en diferentes regiones de México; Ramírez, 2023.

4.1. Características físicas

Para analizar las briquetas es importante hablar de sus características físicas, es por esto que a continuación:

4.1.1. Forma

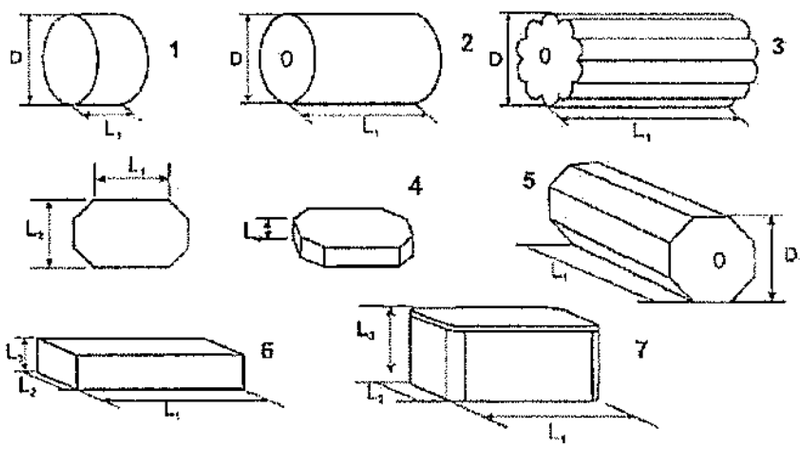
La forma de las briquetas varia enormemente, pueden ser cilíndricas, prisma, cuadrangulares con o sin orificio. El diámetro y la longitud estarán dados por las dimensiones del equipo que se utilice para su fabricación. El cálculo de la densidad será el resultado de la masa de la briqueta dividida por el volumen, siendo esto mayor que en otros Biocombustibles Solidos, ya que optimizan el almacenamiento y el transporte.

Una alta densidad dependerá de la materia prima utilizada para su fabricación y de su grado de compacidad, es decir que a mayor compacidad es menor su porosidad, disminuyendo los espacios de aire entre las partículas. (Bamgboye y Bolufami, 2009).

[7] Evaluación de las propiedades físicas y químicas de briquetas elaboradas con biomasa generada en el proceso de transformación primaria de la madera en diferentes regiones de México; Ramírez, 2023

De acuerdo a varios estudios y datos analizados se dice que las briquetas que ofrecen el mejor rendimiento son briquetas en forma regular. En la siguiente ilustración se presentan las formas de las briquetas:

Ilustración 3.Formas de una briqueta



Fuente: UNE 17225 -3, 2014.

Ahora bien, se indica que las briquetas rectangulares, por su forma son elaboradas a una presión mucho más que las de forma redonda y también poseen más densidad, lo que hace que sean más duraderas, la densidad de la materia es mayor y por esto posee menos aire por centímetro cubico.

Es importante mencionar que su forma afecta la combustión y la forma en la cual se produce su almacenamiento.

4.2. Características Químicas y Mecánicas

Para definir los criterios que van hacer parte de la caracterización de la briqueta es importante establecer los mismos, por lo cual se basa la Norma técnica Colombiana NTC 2060[6]. Al revisar la legislación se establecen algunas pruebas fisicoquímicas para la caracterización de briquetas, y así establecer su uso, ya sea de tipo domestico o de tipo industrial. Algunas de estas características son: contenido de humedad, contenido de cenizas, contenido de materia volátil y resistencia mecánica. Además, se debe tener presente

[6] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Briquetas combustibles para uso doméstico. NTC 2060. 1 ed. Bogotá D.C.

el poder calorífico, lo anterior debido a que se evalúa su condición como combustible sólido, lo cual es importante para establecer la eficiencia del combustible.

Por lo anterior, es importante mencionar cuales son los parámetros más importantes que se analizan en una briqueta. A continuación, se describen los parámetros importantes en una caracterización de Briquetas.

4.2.1. Materia prima y resistencia

Es importante definir la materia prima que se va a usar para la producción de las briquetas, existen muchos tipos de materias primas a nivel mundial entre los cuales se destacan los siguientes:

- Cascara de arroz
- Cascara de palmiste
- Serrín
- Maíz
- Cascara de plátano
- Cascara de maíz
- Cascara de coco
- Cascara de mijo
- Hojas secas
- Residuos de hortalizas, verduras, frutas
- Madera
- Bagazo de caña de azúcar

La bibliografía consultada menciona que es importante ensayar con diferentes muestras primas en distintas proporciones, de tal manera que se puedan ir ajustando a las condiciones de producción y localización de la planta de producción.

4.2.2. Aglutinante o aglomerante

Los aglutinantes o aglomerantes son elementos que se utilizan para unir o compactar compuestos mediante reacciones químicas que se dan con agua y aire. Entre las propiedades que se destacan son las de adherirse y moldearse junto con otros materiales para protegerlos endurecerlos y así alcanzar resistencias mecánicas..

Entre los aglomerantes se encuentran todos los materiales que, mediante procesos físicos de secado evaporación de un disolvente, produce un endurecimiento que aglutina a los

elementos y une cohesionando a los mismos, pero su composición química permanece sin modificaciones[9].

Pero los aglutinantes se clasifican dependiendo de su naturaleza, procedencia, polímeros o su combustión.

Tabla 6. Tipos de aglutinantes

Polímeros	De acuerdo a su origen	De acuerdo a su combustión
Naturales: Almidón de maíz; gelatina, acacia y ácido algínico.	Orgánicos: Alquitrán, estiércol animal, manteca, aguas servidas, residuales o barro, gelatina, papel, restos y residuos de pescado, algas y almidones.	Combustibles: Albuminaros, alcoholes, almidones, alquitranes, azucares, breas, caseína etc.
Sintéticos: polivinilpirrolidona, PVP, la metilcelulosa, etilcelulosa, alcohol polivinílico etc.	Inorgánicos: Limo, arcilla, barro, cemento, cal etc.	No combustibles; borato de sodio, cal, cal hidratada, cemento, cloruro de magnesio, escayola, silicato de sodio, silice, yeso.
Azúcares: glucosa, sacarosa y sorbitilo.		

Fuente: ANALUISA Darwin; Diseño y construcción de un modelo de máquina para la fabricación de briquetas a partir de residuos de café; 2018.

Ahora bien, los aglutinantes, se pueden clasificar según su endurecimiento:

- Aglutinantes aéreos: fraguan y endurecen solamente en aire, dando mezclas resistentes al agua, sin adquirir y dureza en medio húmedo.
- Aglutinantes hidráulicos: fraguan y endurecen el aire y también en ambiente húmedo o con agua y también bajo el agua, tiene más resistencia más mecánica pero menos capacidad de adherencia que los aéreos.

En la industria existen un tipo de aglutinantes más comunes:

Yeso	Es un material que se encuentra compuesto de sulfato cálcico semi hidratado, obtenido por deshidratación parcial de la roca natural llamada yeso natural, que se fragua y así endurece por hidratación al recuperar el agua que perdió en la cocción.	Propiedades: - Fraguado y endurecimiento muy rápido, retrasándose con retardadores. - Poca adherencia con piedra y madera. - Oxida al hierro y al acero, sobre todo con la humedad.

[9] Anónimo; Materiales aglomerantes; Escuela técnica superior de ingenieros en topografía, geodesia y cartografía; Universidad politécnica de Madrid; [consultado en 18 de noviembre de 2023]; disponible en: https://studylib.es/doc/5593519/tema-3-materiales-aglomerantes---universidad-polit%C3%A9cnica.

		- Buen aislamiento de sonido.
Cal grasa	Pertenece a la clasificación de las cales aéreas donde se encuentran las magras y fuertes, las cales grasas se caracterizan por tener de 95 a 100% de CO3Ca. Es un producto resultante de la calcinación y descomposición de las rocas calizas, se calientan a temperaturas superiores a 900 C.	Propiedades: - Permeable al aire e impermeable al agua. - Finura del molido. - Velocidad de fraguado. - Adherencia - Aislante térmico y acústico.
Cal hidráulica	Surge de la cocción de una roca caliza con un contenido entre un 8 y un 20% de arcillas da lugar a la cal hidráulica natural.	Propiedades: - Hidraulicidad: es la capacidad para fraguar en ambientes aéreos.
Cemento	Es un aglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcillas calcinadas y posteriormente molidas.	Propiedades: - Fraguado rápido y endurecimiento lento. - Buena adherencia con otros materiales como piedra, acero y cerámica. - Resiste bien la humedad, puede emplearse en interiores y exteriores. - Muy resistentes. - Tienen una expansión al mezclarse con agua y posterior retracción.
Papel Bond	Papel elaborado con fibras de eucalipto blanqueadas.	Propiedades: - Resistencia a la superficie y composición. -
Almidón de yuca	Un alto contenido de amilosa, en comparación con otras fuentes de almidón hace que sea un importante cultivo industrial, además de ser un cultivo alimenticio rico en calorías.	Propiedades: - Solubilidad - Capacidad de retención de agua. - Poder de hinchamiento. - Tendencia a retrogradar. - Digestibilidad enzimática. - Capacidad de emulsificante.
Serrín	Es un producto que se usa en todas las operaciones mecánicas de elaboración de la madera, especialmente de los aserraderos. Es un conjunto de	Propiedades: - Se usa en carbón vegetal o cascarilla de arroz. - Cohesión excelente. - Bajo costo.

partículas que se desprenden de la madera cuando se sierra. Este producto puede representar hasta un 15% de la producción de madera procesada. Es muy utilizado en la producción de ladrillos, constituyéndose un contaminante para la atmósfera.	

Como el carbón vegetal es un material, sin plasticidad, este material no puede mantener su forma original sin aglutinantes, los más usados a nivel mundial y según diferentes estudios son los que se relacionan a continuación:

- Harina de yuca
- Harina de trigo
- Arcilla de bentonita
- Melaza
- Polvo de semilla de durian
- Almidón de Maíz
- Agua
- Harina de maíz

Según el estudio de Adu-Poku et al., 2022, este indica que la harina de yuca se obtiene de la molienda de la pulpa seca de la raíz, mientras el almidón de yuca se obtiene extraer el jugo de la pulpa y mediante un proceso de sedimentación; además, menciona que este material posee un alto contenido de almidón y amilosa natural e inofensivo, el cual tiene buen rendimiento para unir firmemente los finos de carbón y de esta manera unir las briquetas.

El almidón de yuca a diferencia de otros almidones es más fácil de cocinar y requiere menor consumo de energía durante su cocción, además tiene una tendencia baja a la retrogradación y produce un gel de mayor claridad y estabilidad.

Aunado a esto, la harina de yuca tiene una retención de agua baja lo cual permite que la briqueta sea estable en un rango de temperatura y su cocción no genere ningún tipo de emisión.

4.2.3. Poder calorífico

El poder calorífico es la cantidad de energía por kilogramo como resultado de la combustión y es un parámetro que sirve para establecer la calidad de las briquetas según Kongprasert et al., 2019. Por otro lado, el Poder Calorífico Bruto (PCB) se refiere al valor calorífico mezclado

con la condensación de agua de calor latente, también conocido como potencia calorífica superior[10].

El valor calorífico está ligado a la cantidad de oxígeno requerido para la combustión. De esta manera, se liberan 14,022 julios de energía por cada gramo de oxígeno, esto significa que cuanto mayor sea la oxidación del combustible, menos oxigeno se necesitará y menor será el valor. De acuerdo a la norma nacional NTC 2060 este parámetro posee un valor mínimo de 12,5 MJ/kg.

Por otro lado es necesario mencionar que el poder calorífico de la biomasa será mayor en caso de que el combustible contenga un menor grado de oxidación. El valor de las briquetas se ve limitado tanto por el contenido de la humedad ya que para evaporar el agua se utiliza calor, en este sentido, por cada 1% adicional de residuos se traduce en una disminución de entre 0,2 y 1 Mjkg del valor calorífico.

Tabla 7. Poder calorífico de materias primas de biomasa

Materiales de biomasa	Poder calorífico de las briquetas (cal/kg)	Contenido de ceniza
Bagazo	4380 K.	1,80%
Polvo de bambú	4160 k.	8,00%
Cortezas de madera	1270 k	4,40%
Cáscaras de semillas de ricino	3862 k.	8,00%
Tallos y virutas de algodón	4252 k.	3,00%
Cáscaras de café	4045 k.	5,30%
Fibra de coco	4146 k.	9,10%
Residuos forestales	3000 k.	7,00%
Desechos de yute	4428 k.	3,00%
Cáscaras de cacahuete	4524 k.	3,80%
Paja de mostaza	4200 k.	3,40%
Cáscaras de mostaza	4300 k.	3,70%
Papel	4841 k.	1,50%
Papiro	3965 k.	5,60%
Paja de arrozal	3469 k.	15,50%
Cáscaras de palma	3900 k.	4,90%
Desechos de semilla de colza	4403 k.	5,30%
Cáscaras de arroz	3200 k.	19,20%
Aserrín	3898 k.	8,20%
Cáscaras de girasol	4300 k.	4,30%
Cáscaras de soja	4170 k.	4,10%

[10]ACICO Group. http://www.briquetadoras.es/faq/análisis-valor-calorifico briquetas.html#:~:text=El%20valor%20calor%C3%ADfico%20de%20las,menor%20será%20su%20valor%20calor%C3%ADfico.

Materiales de biomasa	Poder calorífico de las briquetas (cal/kg)	Contenido de ceniza
Caña de azúcar	3996 k.	10,00%
Desechos de tabaco	2910 k.	31,50%
Desechos de té	4237 k.	3,80%
Paja de trigo	4100 k	8,00%
Virutas de madera	4785 k.	1,20%

Fuente: AGICO Group, 2023

Ahora bien, es necesario considerar los siguientes criterios:

- Poder Calorífico Superior (PCS): este parámetro se define suponiendo que todos los elementos de la combustión (combustible y aire) son tomados a 0º C y los productos (gases de combustión) son llevados también a 0º C después de la combustión, por lo que el vapor de agua se encontrará totalmente condensado.[11]
- Poder Calorífico inferior (PCI): el poder calorífico inferior considera que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no se condensa, por lo tanto, no hay un aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua. Solo se dispondrá del calor de oxidación de combustible, lo cual por definición se denomina: Poder Calorífico Inferior del Combustible.

4.2.4. Contenido de Cenizas

El contenido de las cenizas se conoce como el porcentaje en masa de cenizas luego de que se efectué la cocción completa de la briqueta. Uno de los residuos que posee un contenido de cenizas alto es la cascara de arroz, debido a que tiene hasta un 25% de cenizas, esto se debe a que posee un contenido alto en Sílice. Los otros residuos de biomasa tienen un bajo contenido.[12]

En el procedimiento para determinar el contenido de ceniza, se debe realizar un proceso de incineración a 525 C +/- 25 C, esto tiene una relación de manera indirectamente proporcional a lo que es la viabilidad de la briqueta.

---

[11] FELIX Jorge; Catedra Maquinas Térmicas; Capítulo 1 Poder Calorífico; [En línea]; Universidad tecnológica nacional facultad regional Mendoza; [Consultado 18 de noviembre de 2023]; disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf

12 ANALUISA Darwin; Diseño y construcción de un modelo de máquina para la fabricación de briquetas a partir de residuos de café (borra), para estudio de su poder calorífico como posible sustituto del carbón vegetal; [en línea]; trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de ingeniero mecánico; Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; Riobamba- Ecuador: 2018; [Consultado 18 de noviembre de 2023]; disponible en: http://201.218.5.85/bitstream/123456789/9206/1/15T00682.pdf; p. 8

Esta característica, es muy importante a la hora de cuantificar los residuos debido a que deja la combustión de este tipo de materiales, es importante resaltar que un bajo contenido de cenizas sería una característica ideal a a hora de considerar las materias primas para la construcción de las briquetas, para el procedimiento y cálculo de las cenizas[13].

4.2.5. Materia Volátil

Corresponde a cada uno de los componentes del carbón que se liberan al calentarlo a alta temperatura en ausencia de oxígeno, exceptuando el agua superficial y el agua higroscópica.

Este material es importante en el proceso de caracterización, ya que de este dependen otras propiedades como el carbono fijo y la capacidad calorífica, también es importante a la hora de medir que el contaminante pueda llegar a ser del producto, ya que con este dato se obtiene la cantidad de material de carbono que se desprende a la hora de generarse.

Para determinar este parámetro, se usa un proceso de exposición de material a temperaturas por encima de lo 900 C +/- durante unos 7 minutos, luego de esto se realiza el respectivo pesaje para poder determinar el material volátil de las muestras. Esta propiedad es indirectamente proporcional a la que la briqueta obtenga una mejor eficiencia[14].

4.2.6. Carbono fijo

Es una parte que no es volátil, se quema en estado sólido, se considera la diferencia entre la suma del contenido de humedad residual, contenido de ceniza y contenido de material volátil y 100[15]. Este parámetro es importante para calcular la eficiencia en equipos de combustión.

Para medir este parámetro se realizan análisis inmediatos que permiten predecir el comportamiento de un combustible en ciertos casos, se trata de una separación de los compuestos en función de sus diferentes volatilidades, peso de las fracciones de ceniza y carbono fijo (Gallipoliti et al, 2012).

---

[14]VASQUEZ, Erika; Metodología para la caractectirzación para combustibles sólidos maderables del área metropolitana del Valle de Aburra" AMVA", Colombia; [en línea]; 2006; Vol 59, No 2. p. 3557-3564; [Consultado 18 de noviembre de 2023]; Disponible en http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v59n2/a11v59n2.pdf

15 GUTIÉRREZ BOUZÁN, M., & DROGUET, M. (2002). La cromatografía de gases y la espectometría de masas: identificación de compuestos causantes de mal olor. Boletín Intexter [En línea]; 2002: núm. 122, p. 35-41. [Consulta: 18 de noviembre de 2023] Disponible en: https://upcommons.upc.edu/handle/2099/2733