

**UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA**

**Escuela de Ingenierías**

**Departamento de Ingeniería Química, Ambiental y Alimentos**



**Elaboración de Briquetas a Partir de Desechos Agrícolas en la  
Comunidad de Xaltipan, Puebla Como Fuente de Energía  
Sustentable y Económica**

*Briquettes Production from Agricultural Waste in the Community of Xaltipan, Puebla as a  
Sustainable and Economic Energy Source*

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta la  
estudiante

**Giselle Armenta Campas & Bertha de Uriarte Quiroz**

**ID: 162237, 155603**

**Ingeniería Química**

**Director de Tesis: Dra. Deborah Xanat Flores Cervantes**

San Andrés Cholula, Puebla.

**Primavera 2022**

Hoja de firmas

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta el  
estudiante Giselle Armenta Campas 162237 y Bertha de Uriarte Quiroz  
155603

**Director de Tesis**

---

**Dra. Deborah Xanat Flores Cervantes**

**Presidente de Tesis**

---

**Dra. Adriana Palacios Rosas**

**Secretario de Tesis**

---

**Dr. Aarón Romo Hernández**

## Índice

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 1.         | INTRODUCCIÓN                                       | 1  |
| 2.         | OBJETIVOS  | 9  |
| 2.1.       | OBJETIVO GENERAL                                   | 9  |
| 2.2.       | OBJETIVOS ESPECÍFICOS                              | 9  |
| 3.         | JUSTIFICACIÓN                                      | 10 |
| 4.         | MARCO TEÓRICO                                      | 10 |
| 4.1.       | CONTEXTO SOCIAL                                    | 10 |
| 4.2.       | XALTIPAN, CUETZALAN DEL PROGRESO, PUEBLA           | 14 |
| 4.3.       | BIOCOMBUSTIBLES                                    | 15 |
| 4.3.1.     | Biocombustibles sólidos                            | 17 |
| 4.3.1.1.   | Tipos de biocombustibles sólidos                   | 19 |
| 4.4.       | BRIQUETAS COMO BIOCOMBUSTIBLE SÓLIDO               | 20 |
| 4.4.1.     | Características de las briquetas                   | 22 |
| 4.4.1.1.   | Forma, tamaño y color                              | 22 |
| 4.4.1.2.   | Densidad   | 23 |
| 4.4.1.3.   | Humedad  | 23 |
| 4.4.1.4.   | Composición química                                | 24 |
| 4.4.1.4.1. | Contenido de cenizas                               | 25 |
| 4.4.1.4.2. | Contenido de lignina                               | 25 |
| 4.4.1.4.3. | Contenido de celulosa                              | 25 |
| 4.4.1.5.   | Poder calorífico                                   | 26 |
| 4.4.1.6.   | Friabilidad  | 27 |
| 4.4.1.7.   | Inflamabilidad                                     | 28 |
| 4.4.2.     | Elaboración de briquetas                           | 28 |
| 4.4.3.     | Estándares para los biocombustibles sólidos        | 29 |
| 5.         | METODOLOGÍA  | 29 |
| 6.         | RESULTADOS Y DISCUSIÓN                             | 32 |
| 6.1.       | CONTEXTO DE LA COMUNIDAD                           | 32 |
| 6.1.1.     | Resultados de las encuestas                        | 32 |
| 6.1.2.     | Observaciones adicionales de visita a la comunidad | 37 |
| 6.2.       | MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS        | 37 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 6.2.1.   | Residuos agrícolas disponibles  | 37  |
| 6.3.     | BRIQUETAS PROPUESTAS Y SUS CARACTERÍSTICAS  | 38  |
| 6.3.1.   | Propuestas de mezcla de materiales para elaboración de briquetas                      | 38  |
| 6.3.1.1. | Briqueta de café  | 38  |
| 6.3.1.2. | Briqueta de maíz  | 41  |
| 6.3.1.3. | Briqueta de maíz y café   | 42  |
| 6.3.2.   | Propiedades adecuadas para una briqueta   | 43  |
| 6.4.     | PROCESO DE ELABORACIÓN  | 44  |
| 6.4.1.   | Acondicionamiento de los residuos   | 44  |
| 6.4.2.   | Mezclado de materiales  | 44  |
| 6.4.3.   | Prensado y secado   | 44  |
| 7.       | CONCLUSIONES  | 45  |
| 8.       | REFERENCIAS   | 47  |
| 9.       | ANEXOS  | A-1 |
| 9.1.     | ANEXO 1: FORMATO DE ENCUESTAS REALIZADAS A LOS HABITANTES DE LA COMUNIDAD DE XALTIPAN | A-1 |
| 9.2.     | ANEXO 2: MANUAL PARA LA FABRICACIÓN DE LA PRENSA                                      | A-6 |

## **1. Introducción**

Hoy en día, en México sigue existiendo una gran cantidad de familias sin acceso a los cuatro servicios de una vivienda que la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) califica como indispensables que son: acceso al agua potable, disponibilidad de servicio de drenaje, servicio de electricidad y combustible para cocinar en la vivienda.

Estas condiciones pueden ser un factor determinante en cuanto a la calidad de vida de las personas, en especial aquellas familias alejadas de las zonas urbanas, donde el acceso a los servicios básicos es limitado, y como resultado se va generando una situación social de marginación o desventaja económica, profesional, política o de estatus social, producida por la dificultad que una persona o grupo tiene para integrarse a algunos de los sistemas de funcionamiento social.

Pese a los esfuerzos que se realizan para que todos los mexicanos gocen de un hogar digno con todos los servicios básicos, el mayor enfoque reside en ampliar los sistemas de drenaje, agua potable e incluso de alumbrado; sin embargo, se queda rezagado el servicio de combustibles debido a las alternativas como la leña y el carbón, que han sido de gran utilidad. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018), México se encuentra entre los primeros 20 países con mayor producción y consumo de leña ya que, alrededor de 4 millones de hogares, que representan el 11% del total de hogares en el país, usan leña o carbón como combustible para cocinar y calentar alimentos.

Sin embargo, a lo largo del tiempo, se ha demostrado que el humo de la leña, producto de la combustión incompleta, causa una serie de enfermedades en los humanos y daños al

medio ambiente. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental, por sus siglas en inglés EPA (2020), el humo de leña contiene contaminantes del aire nocivos, como el monóxido de carbono, dioxinas, y hidrocarburos aromáticos policíclicos, por mencionar algunos, los cuales causan daños irreparables en el medio ambiente y la salud (EPA, 2020). Más aún como producto de la combustión incompleta, también se emiten partículas, incluyendo el carbono negro, que viajan por el aire, penetran en el sistema respiratorio, y pueden llegar a empeorar los síntomas del asma, desencadenar ataques respiratorios, o infartos de miocardio, ritmo cardíaco irregular e insuficiencia cardíaca; en especial en personas que ya están en riesgo por estas enfermedades.

El carbono negro también llega a afectar el cambio climático debido a que, por su color, absorbe irradiación infrarroja (IR), ya sea suspendido en la atmósfera (contribuyendo al cambio climático) o bien en superficies terrestres, afectando, principalmente áreas con hielo o nieve, disminuyendo el albedo. De acuerdo con *The World Bank and International Cryosphere Climate Initiative* (2013), modelos recientes muestran que el impacto ambiental del carbono negro en la Antártica equivale a dos tercios del impacto ambiental total en el Ártico; esto se le atribuye a que, en América del Sur, que se encuentra más cerca de la Antártica, la quema de leña es una práctica muy frecuente utilizada principalmente para cocinar.

Por otro lado, el tema de los gases emitidos producidos por la quema de combustibles fósiles tales como el petróleo, gas y carbón, es de talla mundial. Es por ello por lo que a lo largo de la historia se han tomado medidas para disminuir la emisión de estos gases considerados de efecto invernadero, que van de la mano con el cambio de temperatura en el

planeta Tierra. En diciembre de 2015 se dio a conocer el Acuerdo de París, el cual, de acuerdo con el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO): es un instrumento de alcance mundial para enfrentar de manera global el cambio climático, el cual busca que por lo menos 195 países reorienten su desarrollo hacia un mundo más sostenible, con menores emisiones y con capacidad de adaptarse a un clima más extremo (2016, pár. 1).

El Acuerdo de París entró en vigor en 2020 y México formó parte de las naciones que ratificaron el acuerdo. Dentro de los compromisos que hizo México, se encuentran el “reducir 25% de sus emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes climáticos de vida corta, es decir, 22% de gases de efecto invernadero y 51% de carbono negro” (INECC, 2016). Por tanto, será necesario un cambio de rumbo en cuanto a la selección de las fuentes de combustibles, como los biocombustibles, esto con el fin de alcanzar los objetivos planteados.

La Organización Mundial de la Salud ha declarado en sus estudios que la mitad de la población mundial depende de biocombustibles sólidos, como la madera, el carbón, residuos agrícolas o estiércol, para satisfacer sus necesidades energéticas básicas. De acuerdo con Hernández & Hernández, biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado de un proceso de conversión fotosintético; la energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, como la madera de los bosques, los residuos de procesos agrícolas y forestales, de la basura industrial, humana o animal (2008, p. 15).

Una vez definido el término, se puede mencionar que los métodos de fabricación de biocombustibles son muy variados, ya que dependiendo de la biomasa que se utilice como insumo, será el proceso de producción empleado.

El enfoque que se le ha dado previamente a los biocombustibles ha sido principalmente hacia el sector de transporte, aunque estos también pueden ser utilizados para la generación de energía térmica y eléctrica, en uso tanto industrial como residencial. Existen diversos procesos de obtención, dentro de los cuales hay diferentes técnicas que permiten producir distintos tipos de biocombustibles: líquidos, sólidos y gaseosos, cada uno con diferentes aplicaciones como se muestra en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Procesos de obtención de biocombustibles (Fuente: Salinas y Gasca, 2009).

| Proceso       | Técnicas     | Biocombustibles                 |          |           | Aplicaciones                |
|---------------|--------------|---------------------------------|----------|-----------|-----------------------------|
|               |              | Sólidos                         | Líquidos | Gaseosos  |                             |
| Mecánicos     | Astillado    | Leñas                           |          |           | Calefacción<br>Electricidad |
|               | Trituración  | Astillas                        |          |           |                             |
|               | Compactación | Briquetas<br>Pellets<br>Aserrín |          |           |                             |
| Termoquímicos | Pirólisis    | Carbón                          | Aceites  | Gasógenos | Calefacción                 |
|               | Gasificación |                                 |          |           | Electricidad<br>Transporte  |

|                 |                        |  |                         |                  |                             |
|-----------------|------------------------|--|-------------------------|------------------|-----------------------------|
|                 |                        |  |                         |                  | Industria Química           |
| Biotecnológicos | Fermentación           |  |                         | Etanol<br>Biogás | Transporte                  |
|                 | Digestión              |  |                         |                  | Industria Química           |
|                 | Respiración anaeróbica |  |                         |                  | Calefacción<br>Electricidad |
| Extractivos     | Extracción             |  | Aceites                 |                  | Transporte                  |
|                 | Fisicoquímicas         |  | Éteres<br>Hidrocarburos |                  | Industria Química           |

Así mismo, en la actualidad, los biocombustibles son clasificados en cuatro generaciones. Los biocombustibles de primera generación son aquellos provenientes de la biomasa, especialmente de cultivos agrícolas o materiales destinados a la alimentación humana. Los biocombustibles de segunda generación son producidos a partir de materias primas que no son fuentes alimenticias, o bien son desechos agroindustriales. Los biocombustibles de tercera generación proceden de la biomasa obtenida de especies no comestibles, tales como las microalgas. Finalmente, los biocombustibles de cuarta generación se producen a partir de microorganismos genéticamente modificados; en este caso se emplea dióxido de carbono o alguna otra fuente de carbono para la obtención del producto (Salinas & Gasca, 2009).

Dentro de las distintas alternativas de biocombustibles, se encuentran lo sólido. Ríos, Santos & Gutiérrez (2017) mencionan que, los biocombustibles sólidos son carburantes compuestos por materia orgánica, de origen vegetal o animal, susceptibles de utilizarse en aplicaciones energéticas; éstos son obtenidos mediante procesos físicos, tales como compactación, astillado o trituración. De manera particular, para la producción de energía térmica y eléctrica se emplean biocombustibles sólidos generados a partir de la biomasa residual de actividades forestales o agroindustriales.

Una alternativa viable para generar calor en el hogar ya sea en estufas, chimeneas, hornos o calderas son las briquetas, que son biocombustibles sólidos alternos y se caracterizan por ser productos ecológicos y renovables, catalogados como bioenergía sólida, que vienen en forma cilíndrica o de ladrillo. Estos sustituyen a la leña y el carbón que forman parte de los recursos no renovables, mientras que las briquetas, que pueden ser elaboradas de un sinfín de desechos orgánicos y ayudan, incluso, a darle un mejor manejo y aprovechamiento a los residuos (Salinas & Gasca, 2009).

De acuerdo con Ríos, Santos & Gutiérrez (2017), las briquetas son cilindros con dimensiones que van de 50 a 130 mm de diámetro y de 5 a 30 mm de longitud. Tienen una densidad elevada (entre 1000 y 1300 kg/m<sup>3</sup>) y se fabrican por medio de prensas, en las que el material se calienta y somete a altas presiones. En ocasiones se añaden aglutinantes artificiales para facilitar la cohesión del material y reducir la presión de prensado.

Se puede considerar un conjunto de ventajas que el uso de biocombustibles sólidos producidos a partir de residuos agrícolas podría tener si se utiliza como alternativa a los combustibles fósiles o leña de la tala de árboles no sustentable. Según el Consejo para la

Defensa de los Recursos Naturales, los biocombustibles sólidos representan una posible solución al calentamiento global, ya que son altamente eficientes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente de CO y CO<sub>2</sub> en un corto y mediano plazo (Salinas, 2009). Otro de los beneficios que presenta el uso de esta fuente de energía es la disminución de la deforestación al utilizar residuos agrícolas como materia prima. Y, finalmente, disminuir los efectos negativos en la salud generados por la contaminación del aire. Según Martha Sierra, Investigadora del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, existen varios estudios que señalan que una exposición crónica a la contaminación elevada se asocia a enfermedades como cáncer de pulmón, respiratorias, pulmonares crónicas, neumonía, entre otras.

El principal desafío para los combustibles provenientes de la biomasa es que no son homogéneos, por tanto, las propiedades de cada tipo de biomasa difieren dependiendo de la materia prima. También existen diferentes intereses y prácticas nacionales detrás de la producción de los biocombustibles sólidos. Ante esto, la serie ISO 17225 determina las especificaciones y clases basadas en el origen y la fuente de las materias primas para biocombustibles sólidos: leñosos, herbáceos, frutales, de biomasa acuática y combinaciones y mezclas (Ríos, Santos & Gutiérrez, 2017). Si bien existe una amplia variedad de briquetas hechas a partir de residuos sólidos orgánicos, por lo general, las mezclas de la biomasa son hechas a conveniencia, buscando alcanzar los mejores rendimientos energéticos.

El enfoque de este trabajo es analizar los residuos de productos agropecuarios que se encuentran comúnmente en campos agrícolas y/o hogares de las familias mexicanas, en especial en las familias que habitan en comunidades rurales y que sus principales actividades

económicas se derivan del sector primario. Específicamente se estudiarán las posibles mezclas a partir de residuos disponibles en la Comunidad de Xaltipan, en el Estado de Puebla, México.

La localidad de Xaltipan pertenece al Municipio de Cuetzalan del Progreso en el Estado de Puebla. Según datos del INEGI (2020) cuenta con aproximadamente 699 habitantes. En el Informe Anual sobre la Situación de Pobreza y Rezago Social del año 2015, realizado por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), se reportó que en el Municipio de Cuetzalan el 80.8% de la población se encuentra en situación de pobreza, de los cuales el 41.2% vive en pobreza extrema (SEDESOL, 2015).

La localidad cuenta con aproximadamente 140 hogares de los cuales 18 están conformados por un cuarto solo y 56 tienen piso de tierra. De todas las viviendas, 117 cuentan con instalaciones sanitarias fijas y 98 se encuentran conectadas a la red pública. 115 viviendas cuentan con electricidad.

Las principales actividades económicas que se desempeñan en la zona pertenecen al sector primario, agricultura y ganadería. Una menor proporción de la población se dedica a actividades dentro del sector secundario, como panadería, fabricación de muebles y construcción.

Lo que se busca es proponer una fuente de energía sustentable, que ayude a reducir las emisiones de gases y partículas que dañen al medio ambiente y la salud de las familias mexicanas que hoy en día siguen utilizando la leña y sus derivados como principal fuente de

energía; para que, en su lugar, utilicen briquetas hechas de residuos sólidos orgánicos comunes derivados de la agricultura o el consumo de alimentos orgánicos.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo General**

- Determinar la viabilidad de la elaboración y uso de briquetas como combustible sólido en la comunidad de Xaltipan en el Estado de Puebla a partir de los desechos orgánicos disponibles en la zona con el fin de proporcionar una fuente de energía sustentable y económica.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar una investigación, a través de encuestas y entrevistas para determinar la necesidad de una fuente de energía sustentable y económica, así como los materiales disponibles en la comunidad de Xaltipan.
- Proponer posibles mezclas de residuos sólidos orgánicos para la elaboración de las briquetas.
- Determinar, a través de bibliografía, características como contenido de celulosa, lignosa, humedad y cenizas, la densidad, el poder calorífico y la compresión paralela para la mezcla propuesta.
- Elaborar un manual y guía de uso para la fabricación de una prensa que permita procesar las briquetas de manera práctica y económica para que se adapte a las necesidades de los habitantes de la comunidad.

- Determinar las características de la mezcla de la briqueta, tales como el contenido de celulosa, lignosa, humedad y cenizas, la densidad, el poder calorífico y la compresión paralela de la briqueta a elaborar.

### **3. Justificación**

Como se mencionó anteriormente, el acceso a una fuente de energía es considerado uno de los servicios indispensables para las viviendas. Gran parte de la población de México no tiene acceso a dichos servicios debido a la situación de pobreza o marginación en muchas zonas del país. La principal actividad económica en el municipio de Cuetzalan es la agricultura, produciendo una gran cantidad de residuos orgánicos. La elaboración de briquetas a partir de residuos agropecuarios podría representar una oportunidad para obtener una fuente de energía sustentable, segura y económica que pueda sustituir a la leña.

### **4. Marco Teórico**

#### **4.1. Contexto social**

Una parte significativa de la población de México habita en localidades rurales. Según datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), en 2018 el 24.5% de la población vivía en zonas rurales; esto es igual a 30.7 millones de personas. La población que reside en dichas localidades presenta diferentes características económicas, geográficas, sociales, laborales, culturales y demográficas, en comparación a la población que vive en zonas urbanas. Una de las problemáticas que se presenta en estas zonas es la marginación y la falta de acceso a distintos servicios. De acuerdo con datos reportados por el Consejo Nacional de Población, tres cuartas partes de las comunidades rurales

presentan un alto o muy alto nivel de marginación, lo que representa a más del 60% de la población rural (CONEVAL, 2018).

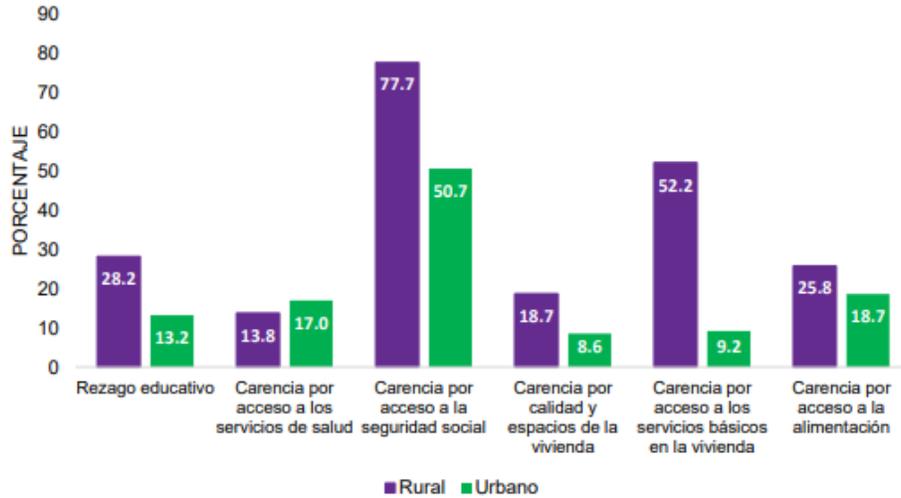
El CONEVAL es una institución gubernamental que se encarga de realizar estudios relacionados con la pobreza rural en México. Algunos de dichos estudios tienen como objetivo determinar las características que comparten las localidades rurales en el país y uno de los enfoques utilizados para ello es realizar un análisis territorial, con el cual se identifican los factores económicos, demográficos, sociales y geográficos que se comparten en dichas zonas. Este enfoque busca comprender las diferencias regionales en las características de la población, la persistencia de la pobreza debido a las carencias que presentan sus habitantes, el comportamiento de las actividades económicas, las diferencias culturales o bien, el uso de los recursos naturales.

En el estudio sobre Pobreza Rural en México, realizado por el CONEVAL, se reportó que, en 2018, el 52.2% de población que habita en zonas rurales carece de acceso a los servicios básicos en la vivienda, el 18.7% no cuenta con calidad y espacios en la vivienda, el 13.8% no tiene acceso a servicios de salud y el 28.2% presenta rezago educativo (**Figura 1**).

De acuerdo con los criterios establecidos por la CONAVI, se considera que un grupo de personas carece de acceso a servicios básicos en la vivienda cuando el lugar en el que residen se presenta alguna de las siguientes características (CONEVAL, 2018):

- El agua se obtiene de un pozo, río, lago, arroyo, pipa; o bien, el agua entubada la obtienen por acarreo de otra vivienda, o de la llave pública o hidrante.
- No cuentan con servicio de drenaje, o el desagüe tiene conexión a una tubería que va a dar a un río, lago, mar, barranca o grieta.
- No disponen de energía eléctrica.

- El combustible que se usa para cocinar o calentar los alimentos es leña o carbón sin chimenea.



**Figura 1.** Carencias sociales, según el ámbito de residencia, 2018 (Fuente: elaboración del CONEVAL, con base en el MEC del MCS-ENIGH 2018, INEGI).

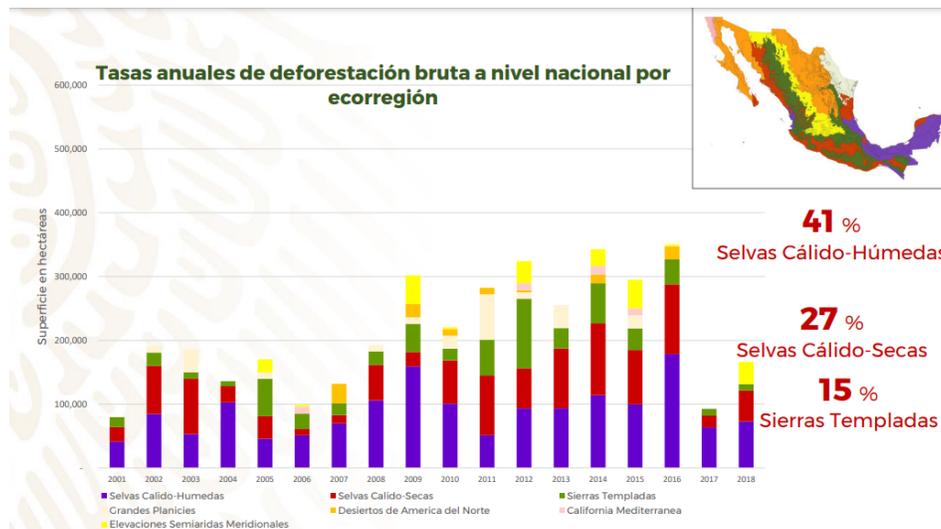
Según investigaciones realizadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la leña es el principal combustible utilizado en localidades rurales en México, abarca aproximadamente el 80% de energía utilizada en hogares rurales y 10% de la energía primaria total en todo el país. Se estima que el consumo anual de leña y carbón vegetal es de 38 millones de metros cúbicos.

La combustión de leña contribuye significativamente a la contaminación del aire y genera riesgos potenciales para la salud humana. Se estima que 1 metro cúbico de leña emite 61-73 kg de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente, el cual es un gas de efecto invernadero, dicha combustión también emite gases tóxicos. La combustión de leña emite diferentes sustancias tóxicas, como el monóxido de carbono (CO), los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y el óxido

de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), además de partículas, como el carbono negro, por lo que la exposición prolongada a estos puede causar complicaciones en la salud humana (Petersen, 2006).

Se considera que otros factores que influyen significativamente en el cambio climático son los cambios de uso de la tierra, esto incluye la deforestación, degradación y quema de bosques, y el inadecuado manejo de los residuos. Estas actividades contribuyen al aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y han alterado el ciclo del carbono (CONAFOR, 2013).

En la “Estimación de la tasa de deforestación bruta en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo” realizada por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), se reportó que para 2018 la tasa anual de deforestación fue de 166 mil 337 hectáreas. Más aún, la CONAFOR reportó que la tala clandestina es uno de los problemas más grandes a los que nos enfrentamos, la cuál se presenta en muchas regiones del país (**Figura 2**) con puntos críticos en los municipios de Zacapoaxtla, Tlatlauquitepec, Yaonahua y Cuetzalan (UMAFOR, 2011). De acuerdo con la (SEMARNAT & CONAFOR, 2022), las principales causas de la deforestación en México son, el uso de tierra para agricultura y ganadería, la tala ilegal y los incendios forestales, la expansión de áreas urbanas e industriales y las plagas y enfermedades de los árboles.



**Figura 2.** Tasas anuales de deforestación bruta a nivel nacional por ecorregión (Fuente: CONAFOR, 2019).

Debido a los efectos negativos que la leña tiene en el medioambiente y la salud de los usuarios, se han aumentado los esfuerzos en encontrar diferentes fuentes de energía sustentables y menos dañinas para el medio ambiente y la salud de los consumidores.

#### 4.2. Xaltipan, Cuetzalan del Progreso, Puebla

El municipio de Cuetzalan del Progreso se encuentra en la Sierra Norte de Puebla, en el declive de la Sierra Madre Oriental hacia la llanura del Golfo; por esta razón, la zona tiene un clima semicálido con lluvias todo el año. Se ha perdido una gran cantidad de ecosistemas en esta área debido a que las tierras se han destinado al cultivo de maíz y café principalmente. Esta investigación tiene enfoque en la localidad de Xaltipan, una de las 162 localidades del municipio de Cuetzalan del Progreso, y se encuentra a 10.9 km de la Ciudad de Cuetzalan, aproximadamente 40 minutos, y es de difícil acceso debido a las condiciones de la carretera y las zonas montañosa. Esta localidad está formada por aproximadamente 699 habitantes, donde aproximadamente 38.34% de la población mayor a 12 años trabaja. Las actividades económicas de la localidad pertenecen al sector primario, y se concentran principalmente en

la agricultura y ganadería. Dicha localidad, es una comunidad rural marginada que carece de acceso a algunos servicios básicos, entre ellos agua potable, drenaje, pavimento, servicios de salud y combustible adecuado y suficiente para cocinar o calentar alimentos (Fundación Origen Nakú, 2022).

Con base en la disponibilidad de materiales y las diferentes características que la Comunidad de Xaltipan presenta, existe una alta probabilidad de que la fabricación de briquetas (biocombustibles sólidos) a partir de residuos agropecuarios sea una alternativa viable al uso de leña como fuente de energía en los hogares.

#### **4.3. Biocombustibles**

Los biocombustibles son aquellos carburantes que se obtienen a partir del procesamiento de la biomasa. El término biomasa abarca todo tipo de materia orgánica que se encuentra disponible en una base renovable o recurrente, como las plantas o incluso sus desechos metabólicos (Garrido, 2009). Es importante mencionar que el uso de los biocombustibles permite reducir las emisiones de gases efecto invernadero, siempre y cuando los procesos de producción sean sustentables; esto es, que tengan una mínima huella de carbono. Se entiende como huella de carbono a la totalidad de los gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un producto (Ríos, Santos & Gutiérrez, 2017).

Una estrategia de carbono cero promovería el desarrollo de nuevos medios de producción y un mejor uso de los recursos naturales. Esto estimularía la creación de empresas y puestos de trabajo, atraería inversiones, se beneficiaría de las economías de escala y generaría mejoras en la calidad de vida. No solo implicaría un papel de liderazgo para la región en materia de clima (Vergara, Fenhann & Schletz, 2016). Por lo tanto, una dirección

hacia niveles de carbono cero, respaldada por la disponibilidad de tecnologías y un cambio en la economía, representaría más bien una oportunidad y no una carga para el desarrollo económico y la integración regional. Así mismo, contribuiría sustancialmente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales son un llamado universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad (UNDP, 2022).

Los biocombustibles han tenido una constante evolución, fundamentada principalmente en el tipo de materia prima que se utiliza para su producción (Ríos, Santos & Gutiérrez, 2017). En México, los biocombustibles son considerados una gran oportunidad de desarrollo sostenible, por lo que el gobierno ha impulsado principalmente la producción de biocombustibles líquidos como el etanol y el biodiesel (Ríos, Santos & Gutiérrez, 2017). Sin embargo, según indica la Iniciativa para el Desarrollo Ambiental y Sostenible, la diversidad de biocombustibles incluye también los sólidos y los gaseosos, todos éstos obtenidos de la biomasa extraída de los desechos agroindustriales, es decir, biocombustibles de segunda generación. Además, recientemente, el gobierno mexicano ha impulsado la creación del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía (CEMIE-BIO), el cual está integrado por cinco clústeres, Biocombustibles sólidos para la generación térmica y eléctrica, Biocombustibles lignocelulósicos para el sector de autotransporte, Biodiesel avanzado, Biocombustibles gaseosos y Bioturbosina; cada uno de ellos se enfoca en un área muy especializada en materia de biocombustibles, lo cual permite enlazar a la ciencia y la tecnología con el desarrollo sustentable de las comunidades (Wilches, 2011). De manera específica se espera que en el corto plazo los biocombustibles sólidos en México tales como

la leña, el carbón vegetal, los pellets, las briquetas, entre otros, serán empleados a gran escala mediante tecnologías modernas, sustentables, y más eficientes (Wilches, 2011).

#### 4.3.1. Biocombustibles sólidos

Los biocombustibles sólidos son aquellos combustibles generados a partir de biomasa, y que se caracterizan por encontrarse en estado sólido. Estos pueden producirse a partir de diferentes tipos de biomasa. Hoy en día se pueden identificar distintos tipos de biomasa que sirven para producir biocombustibles (**Tabla 2**). Las materias primas más usadas para obtener biocombustibles sólidos son las constituidas por materiales lignocelulósicos, que proceden del sector agrícola o forestal; además, la industria de la transformación genera este tipo de residuos.

**Tabla 2.** Tipos de biomasa (Fuente: Adaptado de: (Ríos, Santos & Gutiérrez, 2017)).

| <b>Tipos de biomasa</b>     |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Natural</b>              | Es la que se produce en un ecosistema natural, sin la intervención del ser humano para potenciarla o modificarla.                                       |
| <b>Agrícola</b>             | Son excedentes de la agricultura que no son empleados en la alimentación humana, pero que encuentran una nueva utilización en la producción de energía. |
| <b>Cultivos energéticos</b> | Son cultivos dedicados exclusivamente a la producción de energía.   |
| <b>Residual</b>             | Es la generada en las actividades humanas que utilizan materia orgánica.  |

Después de la disposición de los diferentes productos primarios agrícolas o de su industrialización, quedan residuos agroindustriales en estado sólido o líquido (Ríos, Santos & Gutiérrez, 2017). Por tanto, el uso de residuos sólidos agroindustriales (RSA) es una de

las alternativas que más interés ha recibido, ya que permite valorizar los residuos, los cuales en su mayoría representan un problema de contaminación (Ríos et al., 2019). También se pueden emplear materiales de origen agrario, los cuales incluyen las cáscaras de frutos secos, las semillas, los residuos resultantes de la extracción de aceites, los restos de la industria del corcho, la madera, entre otros (Ríos, Santos & Gutiérrez, 2017).

La importancia de los biocombustibles sólidos radica en su elevado potencial para atender los requerimientos energéticos asociados al crecimiento poblacional. El uso de los biocombustibles sólidos permitirá reemplazar a los combustibles fósiles en la producción de energía eléctrica y calorífica; asimismo, disminuirá los problemas causados por los combustibles convencionales. El principal efecto negativo de los combustibles fósiles se genera durante la combustión, en donde se producen gases, cenizas, hollín y otros compuestos orgánicos que son emitidos a la atmósfera causando la contaminación del aire. Dicha contaminación causa daños en la salud de los seres humanos, los animales, la vegetación, entre otros (Posso, 2000). Estudios realizados por Jorn Scharlemann y William Laurence, del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales concluyen que el uso de biocombustibles emite un 30% menos de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, en comparación con los combustibles fósiles (Scharlemann et al., 2008). Además, dará fin al problema de los residuos agroindustriales, al utilizarlos como materia prima para la producción de biocombustibles sólidos, de acuerdo con la Red Mexicana de Bioenergía (Ríos, Santos & Gutiérrez, 2017).

Por otra parte, las emisiones de contaminantes particulados, tales como PM<sub>2.5</sub> y óxidos de azufre son reducidas al usar biocombustibles ya que los contaminantes de este tipo son característicos de combustibles como el diésel, la gasolina, entre otros. Según Llanes et. Al (2017). Los biocombustibles son una excelente alternativa, a tal grado que han llamado la

atención de gobiernos e instituciones públicas y privadas por la significativa reducción de emisiones nocivas emanadas de los motores de combustión interna.

#### 4.3.1.1. Tipos de biocombustibles sólidos

Existen diferentes tipos de biocombustibles sólidos los cuales se generan dependiendo del proceso de producción de estos (astillado, trituración, compactación), tal como se describe en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Tipos de biocombustibles sólidos (Fuente: Adaptado de: (Ríos, Santos & Gutiérrez, 2017)).

| <b>Tipos de biocombustibles sólidos</b> |  |
|---|--|
| <b>Pellets</b>                          | Son cilindros con dimensiones que van de 6 a 8 mm de diámetro y de 60 a 25 mm de longitud. Se obtienen mediante el prensado de diversos materiales, como aserrín, cascarillas, pajas, entre otras. La compactación se consigue de manera natural o mediante la adición de elementos químicos que no contengan contaminantes durante la combustión.   |
| <b>Briquetas</b>                        | Son cilindros con dimensiones que van de 50 a 130 mm de diámetro y de 5 a 30 mm de longitud. Tienen una densidad elevada (entre 1000 y 1300 kg/m <sup>3</sup> ) y se fabrican, al igual que los pellets, por medio de prensas, en las que el material se calienta y somete a altas presiones. En ocasiones se añaden aglutinantes artificiales para facilitar la cohesión del material y reducir la presión de prensado. |
| <b>Astillas</b>                         | Proviene generalmente de tratamientos selvícolas y aprovechamientos forestales (podas, clareos, claras, etc.), así como de las industrias de primera y segunda transformación de la madera. Como resultado de reducir el tamaño de la madera, se da lugar a trozos pequeños de forma irregular.  |
| <b>Carbón vegetal</b>                   | Es un combustible sólido que presenta un contenido muy elevado de carbono, por lo que su poder   |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>calorífico es muy superior al de la madera (puede llegar hasta 35 MJ/kg). Se produce gracias a una combustión incompleta en ausencia de oxígeno (hasta temperaturas de 400 a 700 °C) de la madera y otros residuos vegetales. Dificilmente es alterable, además no se ve afectado por hongos e insectos xilófagos.</p>   |
| <p><b>Residuos agroindustriales</b></p> | <p>Son un tipo de biocombustibles sólidos provenientes de subproductos de las almazaras, como el hueso de aceituna y el orujillo, los huesos de melocotón o albaricoque, las cáscaras de frutos secos, como almendra, piña y piñones, entre otras.</p> <p>Para el uso de este tipo de residuos como combustibles es indispensable conocer sus características fisicoquímicas.</p> |

#### **4.4. Briquetas como biocombustible sólido**

La elaboración de briquetas a partir de biomasa es un proceso de densificación que mejora sus características de manejo, aumenta su poder calorífico volumétrico, reduce el costo de transporte y produce un combustible uniforme, limpio y estable o un insumo para procesos de refinación posteriores (Granada et al., 2002).

Uno de los obstáculos de la fabricación de briquetas a partir de materia orgánica es la heterogeneidad de los residuos en términos de contenido de humedad que puede conducir a la producción de briquetas inestables debido a la alta higroscopicidad (Tauro, 2018), por ejemplo. Sin embargo, el Sielawa y colaboradores (2014), concluyeron que las mezclas de materia prima para las briquetas disminuían la heterogeneidad, permitiendo mayor estabilidad de las briquetas.

El contenido energético de las briquetas varía dependiendo del material utilizado para su fabricación. Por lo tanto, es importante determinar los valores energéticos de las briquetas fabricadas con algunos de los subproductos agrícolas fácilmente disponibles, con el fin de determinar la viabilidad económica de comenzar la producción en masa de tales briquetas. También es posible el uso de aglutinantes para la compactación de los residuos, sin embargo, es importante evaluar el efecto de estos sobre la capacidad calorífica de la briketa.

Las briquetas se hacen de materiales sólidos, generalmente en forma de pequeñas partículas o polvos que se presiona en prensas hidráulicas o mecánicas con el fin de obtener un material compactado generalmente en la forma de pequeños cilindros o discos para ser utilizados como combustibles (Filippeto, 2008).

Existe una variedad de artículos de investigación en los que se estudian briquetas hechas a partir de diferentes materiales, como los realizados por Setter et al. (2020), Álvarez (2018), Mitchual et al. (2013), Briones et al. (2019), entre otros. Por ejemplo, Yusuf y colaboradores (2013) produjeron briquetas a partir de los materiales descritos en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Tipos de materiales de biomasa y no biomasa usados para briquetas (Fuente: Yusuf, 2013).

| <b>Material</b>           | <b>Composición de residuos</b>  | <b>Aglutinante utilizado</b>                                       |
|---------------------------|---|--|
| <b>Residuos agrícolas</b> | Cáscara de arroz, mazorca de maíz y bagazo de caña de azúcar.<br>Paja de arroz.                 | Almidón, biosólidos y microalgas.<br>Tallo de algodón.             |
| <b>Biomasa leñosa</b>     | Madera y corteza.<br>Conos triturados.  | Ninguno.<br>Ninguno.   |
| <b>Residuos de fruta</b>  | Hueso de mango.<br>Bagazo de naranja.<br>Durian, coco, cacao, plátano y rambután.<br>Anacardos. | Almidón y arcilla.<br>Maicena.<br>Ninguna.<br>Almidón de mandioca. |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>Residuos sólidos de la industria textil</b> | Lodos biológicos y residuos de algodón.<br>Desperdicio de algodón.  | Ninguno.<br>Ninguno.                                   |
| <b>Papel y cartón</b>                          | Papel, periódico y cartón.<br>Cartones, revistas, papel de oficina, libros.<br>Cartones.  | Ninguno.<br>Ninguno.<br>Ninguno.                       |
| <b>Residuos de verduras</b>                    | Hojas de calabaza y coliflor, tallos y hojas de cilantro, habas y vainas de guisantes verdes.   | Ninguno.   |
| <b>Desechos de muebles</b>                     | Madera y espuma de tapicería.   | Ninguno.   |
| <b>Desechos de jardín</b>                      | Hojas de Mesua Ferrea.  | Papel usado  |
| <b>Residuos de palma</b>                       | Cáscara de palmiste, fibra de palma.<br>Racimo de fruta vacío.<br>Cáscara de palmiste.<br>Semilla y cáscara de palma aceitera.                | Almidón.<br>Almidón y asfalto.<br>Almidón.<br>Almidón. |
| <b>Biomasa y residuos de plástico</b>          | Bolsas de polietileno, aserrín, cáscara de maíz, carbón.<br>Aserrín, tronco de palmera de dátil, alambre, residuos de automóviles triturados. | Almidón, piedra caliza, laterita.<br>Ninguno.          |
| <b>Biomasa y carbón</b>                        | Aserrín y carbón.<br>Aserrín y partículas de carbón.<br>Astillas de madera, hueso de aceituna, antracitas y carbón.                           | Almidón de mendioca.<br>Melaza.<br>Almidón, resina.    |
| <b>Licor negro</b>                             | Paja de licor negro.  | Almidón.   |

#### **4.4.1. Características de las briquetas**

##### **4.4.1.1. Forma, tamaño y color**

Las briquetas se elaboran con una gran diversidad de forma y tamaño. La forma más común es la cilíndrica con diámetros que van desde 2 hasta 20 cm y longitudes entre 15 y 50 cm.

Sin embargo, también se producen briquetas cuadradas, hexagonales, algunas incluyen un

hueco en el centro o con forma de ladrillo. La forma de la briqueta tendrá una influencia en la combustión y el almacenamiento, por ejemplo, la forma rectangular tiene una combustión más lenta y ocupa un menor espacio al almacenarlas (Huanca, 2017).

El color de la briqueta dependerá del material utilizado para elaborarla. Lo más común es que tenga un color similar al de la leña (Huanca, 2017).

#### **4.4.1.2. Densidad**

La desventaja que tiene el uso de biomasa como combustible es la baja densidad que posee, por tal motivo es importante su densificación. La densificación de biomasa se define como la compresión o compactación del material para reducir los espacios entre las partículas (Huanca, 2017). Los factores que influyen en la densidad de las briquetas son la materia prima empleada, es decir, cuanto mayor sea la densidad de la materia prima utilizada mayor será la densidad del producto obtenido; por otro lado, se encuentra la presión ejercida por la prensa en el proceso de fabricación, esta presión de compactación es variable dependiendo de la máquina utilizada (Huanca, 2017).

#### **4.4.1.3. Humedad**

Según Camps & Marcos (2002), la humedad de las briquetas está en función de la forma en que se suministre el producto, ya que, por lo general, durante el proceso de densificación se utilizan partículas secas. Comúnmente, durante el proceso de densificación se da un calentamiento en la superficie lateral exterior de la briqueta, que provoca un baquelizado que impide el ingreso fácil del agua y por ende un aumento de la humedad del producto Marcos (1994), señala que en el proceso de compactación las partículas secas se secan aún más, al final la briqueta resulta con 8 a 10% de humedad. En algunos casos se mezclan estos productos ultra secos con otros más húmedos y así conseguir una dosificación adecuada

(Ortiz, 1994). Según Relova, et al., (2006), los residuos con humedad por encima de 15% y por debajo del 8% (en base seca) crean dificultades en el proceso de compactación, además de grietas y deformaciones en las briquetas.

La humedad de la materia prima influye en el costo energético del proceso de compactación. Es decir, si el material tiene altos contenidos de humedad o contenidos de agua demasiados bajos (inferior al 3 o 6%), la resistencia a la compresión del material aumenta por un incremento de la presión ejercida, en tanto la demanda de energía es mayor (Ortiz, 1994).

En contraste, existen métodos de producción en los que se agrega agua al mezclar los materiales y, posteriormente, se lleva a cabo la compactación. Para dichos casos, es necesario que las briquetas pasen por un proceso de secado al sol de aproximadamente 5 a 7 días, sin embargo, puede variar con respecto a la temperatura ambiental, humedad y material utilizado (Díaz et al., 2019)

#### **4.4.1.4. Composición química**

La composición química de las briquetas determina su poder calorífico, los gases emitidos en la combustión y la composición de las cenizas. Dicha composición dependerá del material utilizado en su constitución, los materiales pueden variar según la disponibilidad de estos pues existe una larga lista de materiales orgánicos que se han probado en briquetas, tales como restos agrícolas, desechos sólidos orgánicos como restos o cáscaras de frutas y/o verduras, entre otros, de los cuales se han reportado las propiedades fisicoquímicas con el fin de determinar la eficiencia como fuente de energía. Más aún, si se usan aditivos, se debe considerar la composición química del mismo (Camps & Marcos, 2002). Las propiedades de

las briquetas varían según su composición, esto debido a que cada material tiene características que hacen que dichas propiedades varíen.

#### **4.4.1.4.1. Contenido de cenizas**

Las cenizas son uno de los desechos que pueden atribuirse directamente al proceso de generación de energía. El contenido de cenizas es el residuo inorgánico resultante después de la combustión completa. La cantidad y composición de estas no se puede determinar previo a la combustión. El porcentaje de ceniza refleja la cantidad de poder calorífico que un combustible posee, así como la cantidad de minerales que contiene. Estas también pueden ser un indicativo de la calidad del combustible o índice de “suciedad”. Los componentes más comunes en las cenizas son: compuestos de silicio, hierro, calcio, sodio, vanadio y otros (Machado et al., 2012).

#### **4.4.1.4.2. Contenido de lignina**

La lignina, junto con la celulosa y la hemicelulosa, es un biopolímero abundante en las plantas. Esta se forma a partir de la reacción de fotosíntesis y su función estructural es la aglomeración de las fibras de celulosa, dándole rigidez a la planta (Domine & Chávez, 2013). Dependiendo del tipo de planta, la lignina puede representar entre un 15% y un 40% del peso seco del material lignocelulósico (Hubbard et al., 2007). En la fabricación de briqueta, la lignina actúa como aglutinante natural por lo que es importante determinar la cantidad presente en el material a usar o si es necesario agregar algún otro material como aglutinante.

#### **4.4.1.4.3. Contenido de celulosa**

La celulosa es el principal componente de la biomasa (25-67%), después siguen la lignina (32-55%) y la hemicelulosa (10-34%) (Rodríguez et al., 2013).

La celulosa es un polímero de glucosa unido por enlaces glucosídicos  $\beta$  1,4. El componente básico de este polímero lineal es la celobiosa, un dímero de glucosa-glucosa

(Ayeni, 2015). El contenido de celulosa confiere ciertas características relacionadas con la combustión, por ejemplo, un mayor poder calorífico. En la investigación realizada por Rodríguez y colaboradores (2013), en donde se realizaron experimentos para determinar el efecto de la composición química de la biomasa en el poder calorífico, se concluyó que a mayor contenido de holocelulosa (celulosa y hemicelulosas) mayor poder calorífico. Sin embargo, también se observó que la lignina fue el componente con mayor efecto en el poder calorífico (Rodríguez et al., 2013)

#### **4.4.1.5. Poder calorífico**

El poder calorífico de un combustible se define como la cantidad de energía que se produce en la combustión de un kilo de este. Altos poderes calóricos indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos indican combustibles más discretos (Castell, 2005). El poder calórico de las briquetas está en función del material de procedencia. Las briquetas normalmente tienen mayor poder calórico volumétrico ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) que otros combustibles, como por ejemplo las astillas, ya que su densidad puede llegar a ser mucho mayor. Desde este punto de vista el poder calorífico de las briquetas puede ser similar a los pellets (Senovilla & Antolín, 2005).

El poder calorífico depende de la composición del combustible, es decir será función del material del que estén fabricadas. En la **Tabla 5** se observa el valor del poder calorífico de los biocombustibles sólidos más utilizados, mismos que se encuentran ordenados de mayor a menor. La utilización más común de estas briquetas puede aplicarse para la generación de energía calorífica por lo tanto puede ser utilizado para calefacción, estufas de leña, para la generación de agua caliente, para utilización en barbacoas, etc. (Balseca et al., 2018).

**Tabla 5.** Poder calorífico de diversos combustibles (Fuente: Balseca, et al. (2018)).

| <b>Combustible</b>               | <b>PC [MJ/kg]</b> |
|----------------------------------|-------------------|
| Carbón vegetal                   | 32.8              |
| Corteza de pino                  | 20.4              |
| Tallos de café                   | 19.75             |
| Bagazo seco                      | 19.2              |
| Residuo de maíz                  | 18.4              |
| Briquetas de residuos de café    | 17.62             |
| Briquetas de aserrín             | 17.52             |
| Papel                            | 17.5              |
| Cascarilla de arroz              | 17                |
| Celulosa                         | 16.5              |
| Cáscara de trigo                 | 15.8              |
| Pulpo de café                    | 15.8              |
| Briquetas de cascarilla de arroz | 15.3              |
| Paja seca de cebada              | 13.4              |
| Viruta seca                      | 13.4              |
| Paja seca de trigo               | 12.5              |
| Bagazo húmedo                    | 10.5              |
| Aserrín húmedo                   | 8.4               |
| Residuos de coco verde           | 4.3               |
| Certezas de caña                 | 4                 |

#### **4.4.1.6. Friabilidad**

Senovilla & Antolín (2005), definen la friabilidad como lo opuesto a la resistencia al golpeteo sin desmenuzarse. Esta cualidad en la briqueta es muy importante ya que debe mantener su propiedad como sólido compactado, durante su manipulación, transporte, almacenaje y

combustión. Dicha friabilidad dependerá de los materiales utilizados y los aglutinantes presentes en la briqueta.

#### **4.4.1.7. Inflamabilidad**

Borja (2006) define a la inflamabilidad como el punto de inflamación o ignición de un material a la temperatura a la cual se desprende vapor en cantidades suficientes para formar una mezcla que puede encenderse en contacto con el aire. El porcentaje de humedad tiene una relación inversamente proporcional con la inflamabilidad del material.

Los combustibles (sólidos, líquidos o gaseosos) no podrán arder si no han alcanzado la temperatura de inflamación o temperatura de ignición. Existen dos temperaturas de ignición, la de auto ignición y la de ignición manejada. La primera es la temperatura mínima en la que una mezcla de gas y aire se enciende, debido a que ha llegado a una temperatura en la que no es necesario la chispa o llama para provocar fuego. La temperatura de ignición manejada es la temperatura a la cual una mezcla de gas y aire se encienden debido a la presencia de una llama o chispa (León & Carmona, 2008).

Para Camps & Marcos (2002), la temperatura de inflamabilidad de la briqueta es ligeramente superior a las astillas de manera, porque en la superficie de la briqueta se forma una película carbonosa cuyo coeficiente de conductividad térmica es inferior a la madera. Esta capa es producto de una combustión incompleta por el calor generado en la compactación.

#### **4.4.2. Elaboración de briquetas**

En cuanto a la existencia de máquinas o prensas briquetadoras se encuentran varios tipos como las máquinas artesanales, semi industriales y las industriales. Las máquinas artesanales utilizan siempre algún tipo de aglutinante y la presión de compactación varía entre 0,5-2,6

MPa., (Janczack, 1981). En las máquinas semi industriales se utiliza menor cantidad de aglutinante, ya que la presión de compactación varía entre 5-100 MPa (Madruga, 1981). Finalmente, en el proceso industrial, las máquinas briquetadoras no utilizan ningún tipo de aglutinante debido que en este proceso se fabrican las briquetas con altas temperaturas (165°C) y presiones mayores a 100 MPa (Madruga, 1981).

#### **4.4.3. Estándares para los biocombustibles sólidos**

La Organización Internacional de Normalización ha creado la serie ISO 17225 con el fin de ser aplicada para la producción de biocombustibles sólidos a nivel mundial. Estas normas sirven como herramientas para permitir el comercio eficiente de los biocombustibles sólidos, y fomentar un mejor entendimiento entre el vendedor y el comprador. Dichas normas también sirven para facilitar la comunicación con los fabricantes de equipos, pues la ISO 17225 determina las especificaciones y tipos, en base a el origen y la fuente de las materias primas para biocombustibles sólidos: leñosos, herbáceos, frutales, de biomasa acuática y combinaciones y mezclas. Adicionalmente, para cada forma comercializada, como pellets o briquetas, se seleccionaron propiedades de calidad por separado; sin embargo, se especifican el origen, la fuente, humedad y cenizas para todas las formas comercializadas (UNE, 2019).

### **5. Metodología**

Previo a la propuesta de las briquetas elaboradas a partir de desechos agrícolas, se seleccionó una comunidad rural perteneciente al Estado de Puebla con la finalidad de poder determinar la disponibilidad de residuos agrícolas y la viabilidad de la elaboración y uso de briquetas como fuente de energía sustentable y económica. La comunidad sobre la que se realizó la investigación fue Xaltipan, ubicada en el Municipio de Cuetzalan del Progreso debido a la relevancia de las características de marginación y accesibilidad de la comunidad, así como el

conocimiento previo de dicha localidad por parte de la Fundación Origen Nakú, con quien se colaboró para este proyecto. Una vez elegida la comunidad se realizaron visitas, así como encuestas y entrevistas (Anexo 1) a la comunidad con el fin de recolectar información relacionada con:

- Los tipos de combustibles y dispositivos usados para llevar a cabo el proceso de combustión, específicamente para la cocción de alimentos y obtención de calor.
- La frecuencia de uso de los combustibles utilizados en la comunidad.
- Las repercusiones en la salud a causa del uso de los combustibles utilizados actualmente.
- Los costos de los combustibles usados para la cocción de alimentos y obtención de calor.
- La aceptación social a la elaboración y uso de biocombustibles sólidos en forma de briquetas a partir de los residuos agrícolas de la comunidad.
- Los residuos agrícolas disponibles en la comunidad para la elaboración de briquetas.
- El uso actual de los residuos agrícolas en la comunidad.
- El problema de deforestación en la zona adyacente a la comunidad.

Las encuestas se aplicaron a 14 familias de la comunidad de Xaltipan con ayuda de la Fundación Origen Nakú, la cual es una asociación que brinda apoyo a niños, mujeres y hombres que habitan en diversas comunidades indígenas pertenecientes a la etnia náhuatl, en la Sierra Norte del Estado de Puebla.

Debido a la falta de información sobre la comunidad, se realizaron entrevistas a las personas que integran la Fundación Origen Nakú, quienes de manera frecuente y por más de 20 años han visitado y se han involucrado con la comunidad de Xaltipan y sus habitantes. Con dichas entrevistas se obtuvo información sobre el contexto social, económico y geográfico de la comunidad, de igual manera, para complementar los datos recopilados, se realizó una revisión bibliográfica.

Una vez que se obtuvo un mayor conocimiento sobre las condiciones, el contexto socioeconómico y los residuos agrícolas disponibles en la comunidad de Xaltipan, se analizó la información y se determinó cual sería la mezcla óptima para la elaboración de las briquetas. Se realizaron diferentes propuestas que, posteriormente fueron comparadas entre sí con base en lo reportado en diversos artículos, esto con el fin de definir las siguientes propiedades fisicoquímicas de las briquetas:

- Contenido de celulosa
- Contenido de lignosa
- Contenido de humedad
- Contenido de cenizas
- Densidad
- Poder calorífico
- Compresión paralela

Con el fin de darle un uso práctico a la investigación realizada, se elaboró una prensa que pudiera ser reproducida por los habitantes de la Comunidad de Xaltipan, y para ello se tomó en cuenta la disponibilidad de materiales y herramientas, así como la practicidad para fabricarla. Finalmente, se redactó un manual de fabricación y guía de uso (**Anexo 2**) de dicha

prensa, la cual se pretende difundir entre los habitantes de la Comunidad para brindarles la información necesaria para realizar las briquetas a partir de sus residuos agrícolas, y así, contar con una fuente de energía sustentable, segura y económica que pueda sustituir a los combustibles que utilizan en la actualidad.

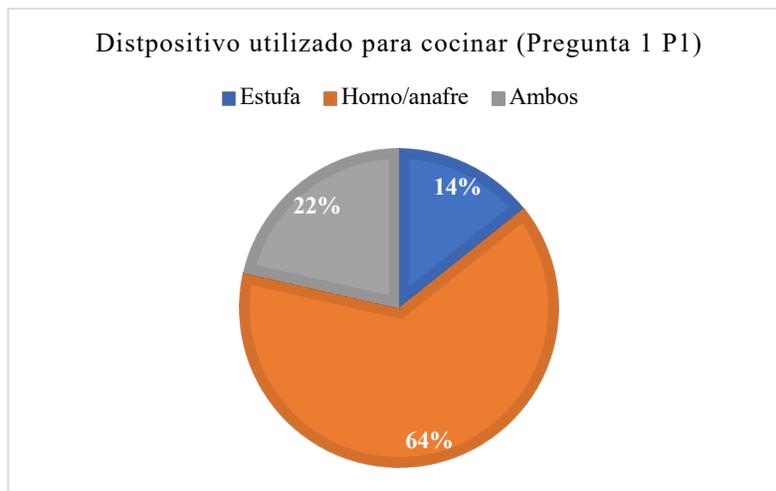
## **6. Resultados y Discusión**

### **6.1. Contexto de la comunidad**

#### **6.1.1. Resultados de las encuestas**

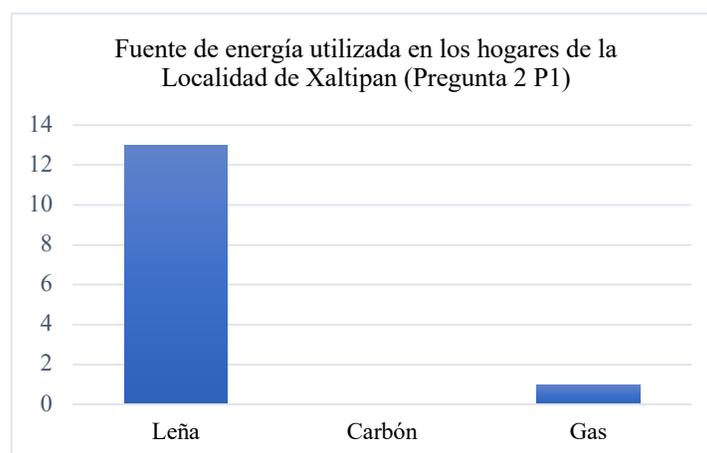
Se aplicaron encuestas (**Anexo 1**) a 14 familias pertenecientes al municipio de Xaltipan y, a través de estas, se determinó la viabilidad de proponer la elaboración de briquetas a partir de residuos agrícolas como alternativa a uso de leña en los hogares para cocinar o producir calor y se obtuvo información relacionada al tipo de combustible utilizado y los residuos producidos.

Los resultados de las encuestas mostraron que el 64% de los hogares cuenta con horno o anafre, el 14% con estufa y el 22% con ambos, como se muestra en la **Figura 3**. Todos los encuestados señalaron que dichos dispositivos se encuentran dentro de la vivienda, lo que indica una mayor exposición a los gases emitidos por la combustión de leña.

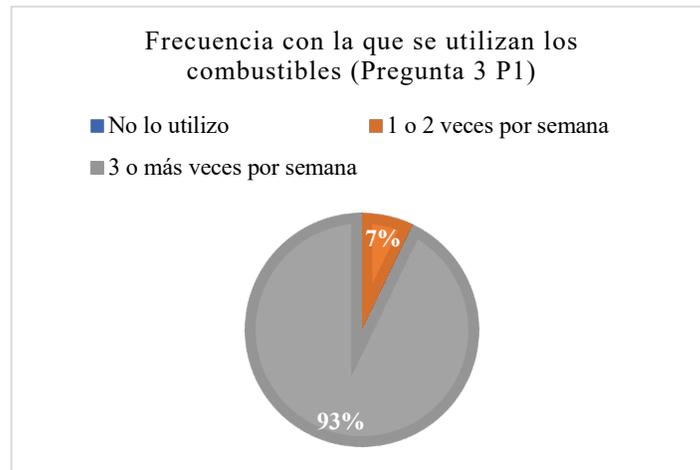


**Figura 3.** Tipo de dispositivo utilizado para cocinar en los hogares de Xaltipan, Puebla (Fuente: Los Autores).

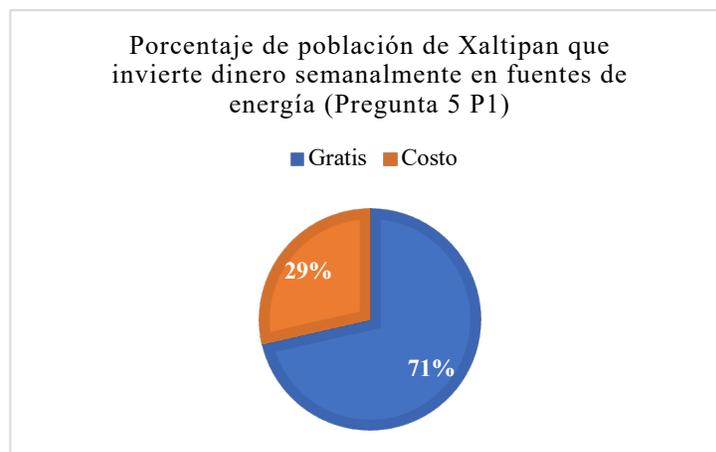
De igual manera, a través de las encuestas se corroboró que la principal fuente de energía utilizada en la localidad para cocinar u obtener calor es la leña (**Figura 4**), siendo 13 de 14 encuestados los que señalaron utilizar este material, mientras que una sola persona indicó utilizar gas. El 93% usa dichos materiales más de 3 veces por semana (**Figura 5**) y el 71% indicó que este no tiene ningún costo (**Figura 6**), mientras que el 29% gasta aproximadamente \$200 pesos a la semana.



**Figura 4.** Fuente de energía utilizada para cocinar y obtener calor en los hogares de Xaltipan, Puebla (Fuente: Los Autores).



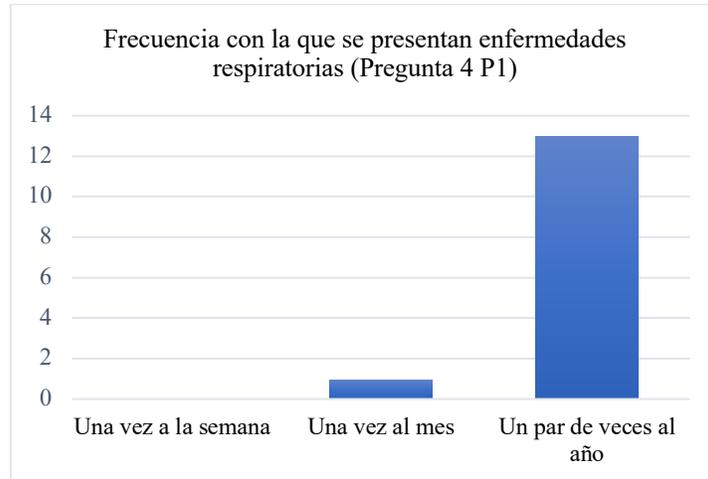
**Figura 5.** Frecuencia con la que se utilizan combustibles para cocinar y obtener calor en los hogares de Xaltipan, Puebla (Fuente: Los Autores).



**Figura 6.** Porcentaje de la población de Xaltipan, Puebla que invierte dinero en fuentes de energía (Fuente: Los Autores).

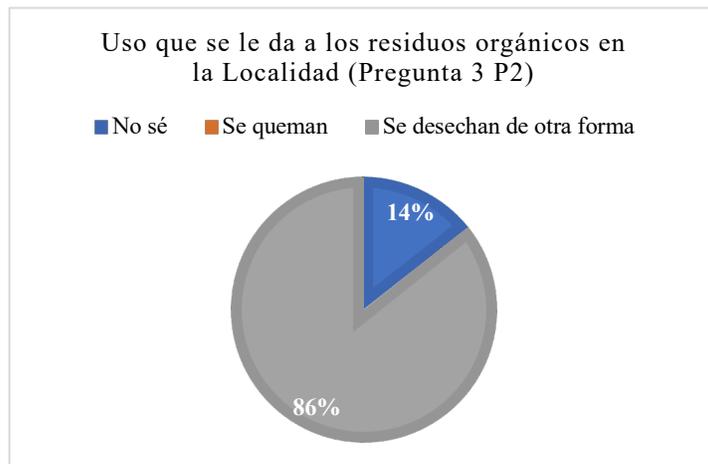
Los resultados obtenidos en las encuestas no mostraron el impacto que tienen las emisiones de combustión de leña sobre la salud de los usuarios (**Figura 7**). La EPA indica que las micropartículas presentes en los gases de combustión de la leña pueden causar irritación en ojos y vías respiratorias y enfermedades, como bronquitis, además de desencadenar y empeorar los síntomas de asma, infartos de miocardio, ritmo cardíaco

irregular e insuficiencias cardíaca, principalmente en personas que ya se encuentran en un estado vulnerable por enfermedades respiratorias (EPA, 2021).



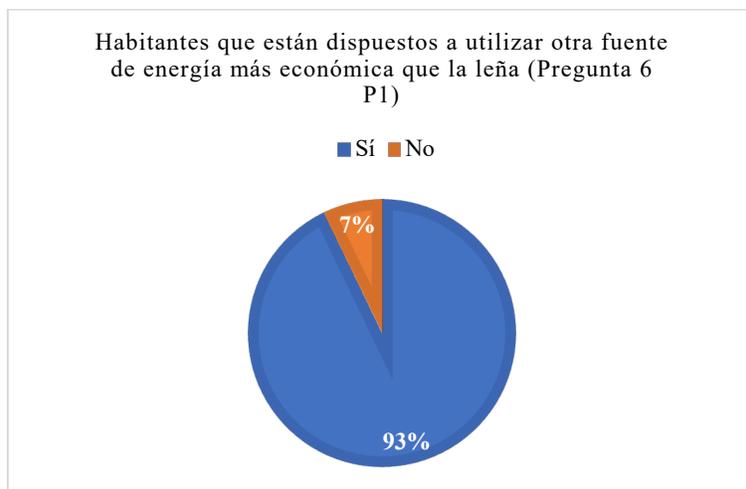
**Figura 7.** Frecuencia con la que se presentan enfermedades respiratorias en los habitantes de Xaltipan, Puebla (Fuente: Los Autores).

También se determinó que los residuos producidos en los hogares de la localidad incluyen olote de maíz, plátano, mamey, naranja, canela, lima, café, pimienta y frijoles principalmente, y se generan 16.5 kg a la semana en promedio. Sin embargo, el 86% de las personas encuestadas utilizan dichos residuos para hacer composta (**Figura 8**).



**Figura 8.** Uso de residuos orgánicos en los hogares de Xaltipan (Fuente: Los Autores).

Finalmente, el 93% de las personas encuestadas estarían dispuestas a utilizar una fuente de energía que sea más económica y segura que la leña, y el 100% respondió estar dispuesto a aprender a elaborar briquetas a partir de residuos alimenticios, ya sea para uso personal o venta (**Figura 9**).



**Figura 9.** Apertura de los habitantes de Xaltipan a utilizar una fuente de energía diferente a la leña (Fuente: Los Autores).

A partir de la información que se obtuvo en las encuestas, se concluyó que la comunidad Xaltipan presenta las características adecuadas, con respecto al tipo de combustible y dispositivos utilizados en los hogares para la combustión, para proponer la elaboración de briquetas de residuos agrícolas como una fuente de energía alternativa al uso de leña en los hogares. La principal fuente de energía utilizada en los hogares de Xaltipan es la leña y generalmente se utiliza horno o anafre dentro de la vivienda para cocinar o producir calor, por lo que están constantemente expuestos al humo de la leña. Por otro lado, los resultados reflejan que existe apertura por parte de los habitantes para aprender a elaborar las briquetas y sustituir el tipo de combustible utilizado actualmente.

### **6.1.2. Observaciones adicionales de visita a la comunidad**

A través de la Fundación Origen Nakú, fue posible visitar la comunidad de Xaltipan y hacer observaciones en la zona. La comunidad es una comunidad rural marginada, ya que como se mencionó, el acceso a la localidad es complicado debido a la ubicación y las condiciones de la carretera y caminos, y existe una falta de acceso a servicios básicos. En cuanto al acceso a servicios de salud, la clínica más cercana se encuentra aproximadamente a 45 minutos caminando y 20 minutos en coche. La mayoría de las viviendas no cuenta con piso y están construidas con madera, palma y lámina, lo que genera riesgos en caso de un desastre natural, como tormentas y huracanes. La zona tiene un clima húmedo. La gente de la localidad se dedica principalmente a la agricultura y los principales cultivos en la zona incluyen maíz, café y canela, y, por lo tanto, se generan residuos de dichas prácticas. De igual forma, debido a las condiciones climáticas de la región, hay una gran disponibilidad y consumo de frutas como el plátano, la naranja y el mamey.

Como reflejaron las encuestas, la leña es el combustible más utilizado para cocinar y producir calor. Más aún, la mayoría de las familias cuenta con anafre dentro de la vivienda, exponiéndose constantemente al humo de la leña. Es importante mencionar que se observó que las viviendas cuentan con pocas ventanas y, en general, poca ventilación, lo que resulta en una mayor exposición a los gases emitidos por la combustión de la leña.

## **6.2. Materiales para la elaboración de briquetas**

### **6.2.1. Residuos agrícolas disponibles**

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en el *Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas* publicado en el año 2015 reporta que se generan aproximadamente 45 millones de toneladas anuales de

esquilmo de materia seca para los principales cultivos, que son maíz, sorgo, trigo, frijol, arroz, cebada, soya, algodón, cártamo y ajonjolí, en México. Esto equivale 25,500,000 toneladas de rastrojo y olote de maíz, aproximadamente el 68% de los residuos agrícolas totales. El mismo documento presenta que en el estado de Puebla se producen aproximadamente 989,323 toneladas de residuos de maíz.

Por otro lado, el Estado de Puebla, junto con Veracruz y Chiapas, son los estados con mayor generación de residuos de café a nivel nacional (SAGARPA, 2015). Datos del INEGI, reportan que en el año 2014 se cultivaron 6,576 toneladas de café cereza en el Municipio de Cuetzalan, y que solo el 5% del peso del fruto se aprovecha, generando aproximadamente \$6,247 toneladas de residuo (Fernández, et al., 2020).

### **6.3. Briquetas propuestas y sus características**

#### **6.3.1. Propuestas de mezcla de materiales para elaboración de briquetas**

Con base en los resultados obtenidos a través de las encuestas y la investigación bibliográfica, se determinó que el café y el maíz son dos de los materiales residuales más abundantes y disponibles en la zona de Cuetzalan, a la cual pertenece la localidad de Xaltipan, y que existe un alto potencial para utilizarlos en la elaboración de briquetas. Por esta razón, se proponen tres diferentes briquetas, la primera elaborada a partir de residuos de café, la segunda con residuos de maíz y la tercera a partir de una mezcla de ambos materiales. De igual manera, se contempló el uso de aglutinantes orgánicos como la cáscara de papa y de plátano.

##### **6.3.1.1. Briqueta de café**

Al igual que otros desechos agrícolas y alimentarios, los residuos de café tienen un volumen alto, pero no se les saca el mayor provecho, por lo que el interés económico global es reducido. Por lo general, se desechan en vertederos, lo que provoca diferentes problemas

ambientales. En la última década se han llevado a cabo varios estudios sobre posibles estrategias para reducir su toxicidad y aumentar su valor comercial, por ejemplo, en la producción de alimentos para animales, producción de hongos, biodiesel, briquetas como combustible sólido o carbones activados (Mussatto et al., 2011).

En la **Tabla 6**, se presentan algunas propiedades físicas y la composición de los residuos de café reportados por diferentes autores y un promedio de estos.

**Tabla 6.** Comparación de la composición de residuos de café reportada por diferentes autores (Fuente: Los Autores).

| Propiedad                         | Setter et al. (2020) | Caetano et al. (2012) | Murcia (2020) | Álvarez (2018) | Valor promedio | Rango       |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------|----------------|----------------|-------------|
| Poder calorífico superior (MJ/kg) | 18.5                 | -                     | 18.04         | 17.79          | 18.11          | 17.79-18.5  |
| Material volátil (%)              | 77.09                | -                     | 85.28         | 87.7           | 83.36          | 77.09-85.28 |
| Carbón fijo (%)                   | 19.36                | -                     | 12.96         | -              | 16.16          | 12.96-19.36 |
| Carbón total (%)                  | -                    | 52.2                  | -             | -              | 52.2           | 52.2        |
| Cenizas (%)                       | 3.55                 | 1.43                  | 1.75          | 0.6            | 1.8325         | 0.6-3.55    |
| Humedad (%)                       | 9.06                 | 12.2                  | 5.16          | 5.4            | 7.955          | 5.16-12.2   |
| Lignina (%)                       | 27.14                | 33.6                  | -             | -              | 30.37          | 27.14-33.6  |
| Holocelulosa (%)                  | 47.29                | -                     | -             | -              | 47.29          | 47.29       |
| Celulosa (%)                      | -                    | 13.8                  | -             | -              | 13.8           | 13.8        |

En la investigación realizada por Díaz, et al. (2019), propusieron la elaboración de briquetas a partir de diferentes materiales, utilizando aglutinantes orgánicos. Dentro de las opciones de briquetas evaluadas, se elaboró una utilizando cascarilla de café y cáscara de papa y melaza como aglutinante. Se determinó que la mezcla más eficiente fue a una composición 71% café y 29% aglutinante en masa. Antes de elaborar las briquetas se evaluó la humedad, la materia volátil, la ceniza, el porcentaje de carbono fijo y el poder calorífico inferior. Los resultados reportados por los autores se presentan en la **Tabla 7**. El experimento

consistió en acondicionar la biomasa previamente a la elaboración de briquetas. Para ello se trituraron los residuos utilizando un molino de diferentes tamaños y se observó que el tamaño más conveniente de las partículas fue menor a 1 mm. Elaboraron briquetas de 5 cm de diámetro y 3.5 cm de altura y una presión de compactación de 2 toneladas.

Los resultados obtenidos a través de este experimento muestran que para una briqueta 71% cáscara de café y 29% aglutinante orgánico (cáscara de papa y melaza), a una granulometría de biomasa menor a 1 mm, es una alternativa viable para la elaboración de briquetas (Díaz, et al., 2019).

**Tabla 7.** Resultado de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas a base de biomasa de café, 71% cascarilla de café 21% aglutinante y granulometría <1 mm (Fuente: Díaz, et al., 2019)

| Parámetro                               | Valor calculado |
|---|-----------------|
| Humedad (bh) %                          | 47.62           |
| Material volátil (MV) %                 | 50.55           |
| Ceniza %                                | 2.54            |
| % Carbono fijo: $[100-(\%ceniza+\%MV)]$ | 46.90           |

De igual manera, Setter et al. (2020) llevaron a cabo una investigación en la que se analizaron las propiedades de una briqueta fabricada únicamente a partir de café, sin utilizar ningún tipo de aglutinante. El proceso de elaboración fue similar al mencionado anteriormente, que consiste en el acondicionamiento de los residuos (secado y molienda), la elaboración de las briquetas utilizando una prensa hidráulica, secado y almacenamiento. Se analizaron diferentes tamaños de partículas y se concluyó que al disminuir el tamaño de partícula aumenta la densidad de la briqueta y, por lo tanto, la densidad energética de esta.

Se obtuvo una mayor densidad a una granulometría menor a 1.2 mm. Los resultados de la investigación reportan un poder calorífico de 4418.65 kcal/kg (18.5 MJ/kg) (Ceter et al., 2020), el cual es similar al de la leña, 4300 kcal/kg aproximadamente (Sierra et al., 2014).

### 6.3.1.2. Briqueta de maíz

Las briquetas de maíz son una buena opción debido a que el maíz es un elemento abundante en la zona de Xaltipan, por tanto, se evalúan cuatro diversas fuentes bibliográficas que presentan una evaluación de las propiedades de las briquetas de maíz con un aglutinante orgánico (**Tabla 8**), en estos casos, almidón; las briquetas de los estudios comparados en la Tabla 8 contienen 30% de aglutinante, y 35% de tallo de maíz y 35% de olote. En promedio, considerando los datos proporcionados por cada autor, se obtiene que la briqueta de maíz contiene un poder calorífico de aproximadamente 15.87 MJ/kg, 7.86% de cenizas y 12.75% de humedad, densidad de 237.93 kg/cm<sup>3</sup>, 15% de lignina, 35% de hemicelulosa y 45% de celulosa.

**Tabla 8.** Comparación de la composición de briquetas elaboradas con residuos de maíz reportada por diferentes autores (Fuente: Los Autores).

| Propiedad                           | Delgado et. al (2020) | Briones & Chilán (2019) | Huaman et. al (2021) | Álvarez (2018) | Promedio | Rango         |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------|----------|---------------|
| Poder calorífico o superior (MJ/kg) | 15.47                 | 15.55                   | 17.10                | 15.37          | 15.87    | 15.37-17.1    |
| Cenizas (%)                         | 6.68                  | 6.67                    | 10.25                | -              | 7.87     | 6.67-10.25    |
| Humedad (%)                         | 8.68                  | 8.59                    | 12.75                | 21.00          | 12.75    | 8.59-21.00    |
| Densidad (kg/cm <sup>3</sup> )      | 263.15                | 263.15                  | 225.45               | 200.00         | 237.94   | 200.00-263.15 |
| Lignina (%)                         | -                     | -                       | -                    | 15             | 15       | 15            |
| Hemicelulosa (%)                    | -                     | -                       | -                    | 35             | 35       | 35            |
| Celulosa (%)                        | -                     | -                       | -                    | 45             | 45       | 45            |

Una vez obtenidos los promedios y rangos de cada propiedad descrita en la **Tabla 8**, se tiene una idea de los valores que se esperarían de las propiedades de la briqueta hecha con los residuos de maíz. Sin embargo, valdría la pena hacer un análisis experimental para reportar los valores de las propiedades antes mencionadas, pues no existe una base de datos muy amplia. Asimismo, se podrían realizar diversos análisis experimentales variando el porcentaje de aglutinante, olote y tallo de maíz para determinar la composición ideal de la briqueta de maíz.

#### **6.3.1.3. Briqueta de maíz y café**

Finalmente, también existe la posibilidad de producir una briqueta a partir de una mezcla de maíz y café. Actualmente, no hay investigaciones en las que se evalúen las propiedades físicas de dicha mezcla en específico, sin embargo, existen diferentes artículos de investigación que apoyan la idea de que mezclar diferentes materiales confiere mejores características a la briqueta.

Uno de los obstáculos del briqueteado está relacionado a la heterogeneidad de los residuos en términos de contenido de humedad que puede conducir a la producción de briquetas inestables debido a la alta higroscopicidad. Sin embargo, Sielawa y colaboradores (Sielawa et al., 2014), proponen que, para reducir la heterogeneidad, es recomendable utilizar mezclas de distintos residuos, lo cual a su vez evita la dependencia en un solo desperdicio.

Con base en las propiedades de los residuos de maíz y café reportadas anteriormente, se puede realizar una estimación de las propiedades que tendría una briqueta de dicha mezcla. Sin embargo, es necesario llevar a cabo un proceso experimental que permita determinar si

la mezcla presenta buenas propiedades de compactación o, en caso de no ser así, evaluar la posibilidad y efecto de agregar algún aglutinante orgánico como cáscara de plátano o papa.

En la **Tabla 9** se muestra una aproximación de las propiedades de las briquetas para mezclas de maíz y café en diferentes proporciones, calculado utilizando la fracción másica.

**Tabla 9.** aproximación de propiedades para briquetas elaboradas con una mezcla 50-50% y 70-30% café-maíz (Fuente: Los Autores).

| <b>Propiedad</b>                  | <b>Café</b> | <b>Maíz</b> | <b>50% Café-<br/>50% Maíz</b> | <b>70% Café-<br/>30% Maíz</b> |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Poder calorífico superior (MJ/kg) | 18.11       | 15.87       | 16.99                         | 17.44                         |
| Cenizas (%)                       | 1.83        | 7.87        | 4.85                          | 3.64                          |
| Humedad (%)                       | 7.96        | 12.75       | 10.35                         | 9.39                          |
| Lignina (%)                       | 30.37       | 15.00       | 22.69                         | 25.76                         |
| Celulosa (%)                      | 13.80       | 45.00       | 29.40                         | 23.16                         |

### 6.3.2. Propiedades adecuadas para una briketa

**Tabla 10.** Propiedades estándar para briquetas de biomasa (Fuente: Tesfaye, 2021).

| <b>Propiedad</b>                            | <b>Valor estándar</b> |
|---|-----------------------|
| Contenido de humedad (%)                    | 10-14                 |
| Material volátil (%)                        | 20-25                 |
| Carbón fijo (%)                             | 50-95                 |
| Contenido de cenizas (%)                    | 3-4                   |
| Poder calorífico superior (MJ/kg) / ISO1928 | Arriba de 29.3        |
| Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )               | Hasta 1000            |

Tomando en cuenta los valores reportados en la **Tabla 10**, se podría decir que las briquetas propuestas se encuentran dentro de los rangos del valor estándar para una briketa en todas

las propiedades enlistadas, a excepción del poder calorífico. El valor promedio del poder calorífico de las briquetas propuestas se encuentra por debajo del valor reportado como valor estándar, sin embargo, se recomienda hacer las briquetas con la materia orgánica proveniente de la comunidad y su correspondiente análisis para determinar el poder calorífico real de estas.

#### **6.4. Proceso de elaboración**

##### **6.4.1. Acondicionamiento de los residuos**

El primer paso antes de elaborar las briquetas de biomasa es la preparación o acondicionamiento de los residuos. Los materiales deben secarse al sol a una temperatura de 24 °C (temperatura promedio de la zona de Xaltipan), durante 5 a 7 días, con la finalidad de reducir la humedad relativa (Mitchual et al., 2013). Utilizando un molino, se deben triturar los residuos buscando obtener partículas menores a 1 mm.

##### **6.4.2. Mezclado de materiales**

Una vez que los residuos se encuentran en las condiciones adecuadas, se prosigue con la elaboración de mezcla de materiales con los aglutinantes orgánicos. Se mezclan los residuos triturados junto con los aglutinantes en las proporciones especificadas, se agrega un poco de agua hasta obtener una mezcla homogénea.

##### **6.4.3. Prensado y secado**

El proceso de briquetado puede ser realizado a una temperatura ambiente promedio de 30°C y Briones & Chilán (2019) proponen moldear de una forma cilíndrica, utilizando una masa de 60 g y un diámetro fijo en la máquina de 60 mm, para de esta manera obtener una longitud aproximada de 50 mm. Sin embargo, las dimensiones de las briquetas pueden variar en función de la disponibilidad de los materiales para su elaboración. La presión sugerida por

Briones & Chilán (2019) es de 1000 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente, con un tiempo de sostenimiento de carga de 15 minutos y, una vez elaboradas, se realiza el secado a temperatura ambiente durante 5 días aproximadamente (Díaz, et al., 2019).

En el **Anexo 2** se presenta el manual de elaboración de una prensa artesanal para realizar briquetas de manera artesanal; dicho manual propone una alternativa viable y económica para que los habitantes de la comunidad de Xaltipan puedan reproducir la prensa manual y pueda elaborar sus propias briquetas con los residuos sólidos orgánicos disponibles en la comunidad.

## **7. Conclusiones**

A través de este proyecto de investigación se determinó que la elaboración y el uso de briquetas como combustible sólido en la comunidad de Xaltipan en el Estado de Puebla es viable debido a que a partir de los desechos orgánicos disponibles en la zona se puede proporcionar una fuente de energía sustentable y económica. Para llegar a esta conclusión se realizó una investigación por medio de encuestas y entrevistas, con las cuales se conoció la necesidad de una fuente de energía sustentable y económica en la comunidad de Xaltipan; por otra parte, por medio de la investigación a dicha comunidad se determinaron los materiales disponibles (residuos sólidos orgánicos) con los cuales se podrían elaborar briquetas, dichos materiales fueron residuos agrícolas de maíz y café principalmente, los cuales abundan en la zona.

Una vez que se determinaron los materiales disponibles en la comunidad, se propusieron posibles mezclas de dichos residuos sólidos orgánicos para elaborar briquetas,

dichas mezclas se reducen a una de tallo y olote de maíz y aglutinante orgánico, residuos de café y aglutinante orgánico y una tercera mezcla de maíz, café y aglutinante.

Una de las limitaciones de este proyecto fue llevar a cabo la experimentación para determinar *las* características y propiedades de las briquetas propuestas, esto debido a la situación actual de pandemia por el SARS-CoV-2; dicha pandemia impidió el acceso al laboratorio y, por defecto, la experimentación correspondiente para determinar las propiedades fisicoquímicas de cada briqueta propuesta. Sin embargo, se realizó una revisión bibliográfica con la cual se pudieron determinar los rangos y promedios de dichas características de las briquetas. En la revisión bibliográfica se tomaron en cuenta tanto artículos como documentos de investigación que presentaban valores de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas, tales como contenido de celulosa, lignosa, humedad y cenizas, densidad, poder calorífico y compresión paralela.

A pesar de realizar una ardua búsqueda, se encontraron pocos artículos y/o investigaciones que reportaran valores para las propiedades antes mencionadas, por ello, es de suma importancia que el proyecto aquí presentado se retome para determinar y reportar, tras la debida experimentación y análisis, los valores encontrados para las características fisicoquímicas de las briquetas.

Finalmente, con el propósito de brindarle a la comunidad de Xaltipan una alternativa sustentable y económica de fuente de energía, se presentó un manual y guía de uso para la fabricación de una prensa artesanal con la cual se podrían elaborar las briquetas de manera práctica y económica, adaptándose a las necesidades y materiales disponibles de los habitantes de la comunidad.

## 8. Referencias

Álvarez, E. (2018). *Análisis Técnico Financiero En La Implementación De Briquetas De Aserrín, Cáscara De Café Y Olote, Para Disminuir El Consumo De Leña En San Juan Sacatepéquez*. Disponible en:

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/10260/1/Erick%20Jony%20Alvarez%20Maldonado.pdf>

Balseca, O., López, S., Viteri, E., Analuisa, D. & Hernández, E. (2018). *Elaboración, caracterización y posibles aplicaciones de briquetas de residuos de café (borra) como biocombustible sólido*. Polo del conocimiento. Vol. 3, No. 7. Pp. 420-452.

CONEVAL. (2018). *Pobreza Rural en México*. Consejo Nacional de la Política de Evaluación de Desarrollo Social (CONEVAL). México. Disponible en:

[https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/PATP/Pobreza\\_rural.pdf](https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Documents/PATP/Pobreza_rural.pdf)

Borja, M. (2006) *Aprovechamiento de los residuos forestales para uso energético*. España, Univ. Politec. Valencia Ed., 158p.

Briones, L. & Chilán, M. (2019). *Briquetas Para La Obtención De Biomasa Energética A Partir De Los Residuos De Maíz (Zea Mays) En La Comunidad San Miguel De Tres Charcos*. Disponible en:

<https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1216/1/TTMA83.pdf>

Caetano, N. S., Silva, V.F.M. Mata, T. M. (2012). *Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production: the Italian Association of Chemical Engineering*. VOL. 26

Camps, M., & Marcos, F. (2002). *Los Biocombustibles*. Madrid, MundiPrensa Ed. 200p.

Castell, X. (2005). *Tratamiento y Valorización Energética de residuos*. España, Santos Ed. 1228p.

Comisión Nacional Forestal. (2019). *Bloque 2: Importancia de los bosques para la mitigación del cambio climático*. SEMARNAT, México. Disponible en:

<http://www.conafor.gob.mx/micrositios/cambioclimatico/bloquedos/bloque2.pdf>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2018). *Manual de la leña*. Gobierno de México, México. <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Manual-de-la-Lena.pdf>

Comisión Nacional Forestal. (2013). *Bosques, cambio climático y REDD+ en México*. Jalisco, México. Disponible en:

[http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/4034Gu%C3%ADa%20B%C3%A1sica%20de%20Bosques,%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20y%20REDD\\_%20.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/4034Gu%C3%ADa%20B%C3%A1sica%20de%20Bosques,%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20y%20REDD_%20.pdf)

CONEVAL (2018). *Medición de la Pobreza*. Ciudad de México, México. Disponible en:

<https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Acceso-a-servicios-basicos-vivienda.aspx>

Delgado, C., Navarrete, J., Noles, P. & Hernández, N. (2020). *Caracterización Energética Y Bioeconómica De Las Briquetas Elaboradas Con Biomasa Residual Del Cultivo De Maíz En Ecuador*. Disponible en:

<https://produccioncientificaluz.org/index.php/redieluz/article/view/35521/37673>

Díaz, P. & Benites, E. (2019). *Poder Calorífico de Briquetas Elaboradas con Biomasa y Aglutinantes Orgánicos*. Universidad César Vallejo. Lima, Perú.

Domine, M. & Chávez, M. (2013). *Lignina, Estructura y Aplicaciones: Métodos de Despolimerización para la Obtención de Derivados Aromáticos De Interés Industrial*.

*Avances en Ciencias e Ingeniería*. 4(4),15-46. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323629266003>

Agencia de protección ambiental de Estados Unidos, EPA. (2020). *El humo de la leña y su salud*. Disponible en EPA Sitio Web: [https://espanol.epa.gov/espanol/el-humo-de-la-leña-y-su-](https://espanol.epa.gov/espanol/el-humo-de-la-leña-y-su-salud#:~:text=Efectos%20del%20humo%20de%20le%C3%B1a%20sobre%20la%20salud,-Puede%20que%20el&text=Estas%20part%C3%ADculas%20microsc%C3%B3picas%20pueden%20entrar,y%20desencadenar%20ataques%20de%20asma)

[y-su-](https://espanol.epa.gov/espanol/el-humo-de-la-leña-y-su-salud#:~:text=Efectos%20del%20humo%20de%20le%C3%B1a%20sobre%20la%20salud,-Puede%20que%20el&text=Estas%20part%C3%ADculas%20microsc%C3%B3picas%20pueden%20entrar,y%20desencadenar%20ataques%20de%20asma)

[salud#:~:text=Efectos%20del%20humo%20de%20le%C3%B1a%20sobre%20la%20salud,-Puede%20que%20el&text=Estas%20part%C3%ADculas%20microsc%C3%B3picas%20pueden%20entrar,y%20desencadenar%20ataques%20de%20asma](https://espanol.epa.gov/espanol/el-humo-de-la-leña-y-su-salud#:~:text=Efectos%20del%20humo%20de%20le%C3%B1a%20sobre%20la%20salud,-Puede%20que%20el&text=Estas%20part%C3%ADculas%20microsc%C3%B3picas%20pueden%20entrar,y%20desencadenar%20ataques%20de%20asma).

Fernández, Y., Sotto, K., Vargas, L. (2020). Impactos Ambientales de la Producción del Café, y el Aprovechamiento Sustentable de los Residuos Generados. *Revista Producción + Limpia*–Vol. 15 No 1. Colombia.

Filippetto, D. (s.f.). *Residuos de plantas de fabricación de briquetas: la viabilidad técnico-económica y potencial de mercado*. MSc. Facultad Tesis de Ingeniería Mecánica, Campinas, Campinas, Brasil. Estudio

Fundación Origen Nakú. (2022). Conversación.

Garrido, S. G. (2009). *Centrales termoeléctricas de biomasa*, Madrid, Renovetec.

Granada, E., López-González, L., Míguez, J.L. & Moran, J. (2002). *Fuel lignocellulosic briquettes, die design and products study*. *Renewable Energy*. 27. 561-573. 10.1016/S0960-1481(02)00005-8.

Hernández, M. & Hernández, J. (2008). Verdades y mitos de los biocombustibles. En *Elementos* núm. 71. Pp.15-18. Disponible en:

<http://www.elementos.buap.mx/num71/pdf/15.pdf>

Huaman, H., Ramírez, M. & Surichaqui, R. (2021). *Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos agrícolas generados en Masma Chicche, J (2021)*. Disponible en:

[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Huaman\\_Ramirez\\_Surichaqui\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10655/1/IV_FIN_107_TE_Huaman_Ramirez_Surichaqui_2021.pdf)

Huanca, V. (2017). *Evaluación del Proceso de Producción de Briquetas a partir de residuos de dos maderas de la zona de Iquitos, Loreto*. Disponible en:

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3459/K50-H8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hubbard, W., Biles, L., Mayfield, C., & Ashton, S. (Eds.). (2007). *Sustainable forestry for bioenergy and bio-based products*. Southern Forest Research Partnership. Incorporated.

IMCO. (2016). *México ratifica el Acuerdo de París sobre el cambio climático*. Disponible en IMCO Sitio Web: <https://imco.org.mx/mexico-ratifica-el-acuerdo-de-paris-sobre-el-cambio-climatico/#:~:text=M%C3%A9xico%20ratifica%20el%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20sobre%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico,-IMCO%20Staff&text=COMPARTIR%3A&text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20el,2016%20y%20abril%20del%202017.>

<https://imco.org.mx/mexico-ratifica-el-acuerdo-de-paris-sobre-el-cambio-climatico/#:~:text=M%C3%A9xico%20ratifica%20el%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20sobre%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico,-IMCO%20Staff&text=COMPARTIR%3A&text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20el,2016%20y%20abril%20del%202017.>

INECC. (2016). *México presentó en la COP 22 su estrategia de cambio climático al 2050*.

Disponible en Gobierno de México Sitio Web: <https://www.gob.mx/inecc/prensa/mexico-presento-en-la-cop-22-su-estrategia-de-cambio-climatico-al-2050>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI)*. México.

Janczak, J. (1981). *Técnicas simples para la obtención de combustibles básicos*. Nairobi:

FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/p2070s/p2070s06.htm>

León, A. & Carmona, R. (2008). *Estudio comparativo del punto de ignición y avance de llama en madera de pino radiata versus un compuesto de madera - resina termoplástica*.

Disponible en: <http://dspace.atalca.cl/retrieve/20077/Resumen.pdf>

Llanes, E., Rocha, J., Salazar, P. & Medrano, J. (2017). Producción e Impacto del

Biodiesel: Una Revisión. *INNOVA Research Journal* 2017, Vol 2, No. 7, 59-76. ISSN 2477-9024.

Machado, A. et al. (2012). Comparación de las Propiedades que Influyen en la Combustión entre el Fly Ash, Carbón y Diferentes Derivados del Petróleo. *Revista Tecnocientífica*

*URU: Venezuela*. Disponible: <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/rtcuru/n2/art07.pdf>

Madruga, E. (1981). *Combustibles sólidos de baja densidad*. (Primera parte). Cuba.

Disponible en:

<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia13/HTML/articulo03.htm>

Marcos, F. (1994). Pellets y Briquetas. *Ecología. Revista AITIM*. 171: 54-62. Madrid.

Disponible en: [http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_2293\\_9990.pdf](http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2293_9990.pdf)

Mitchual, S., et al. (2013). Briquettes from Maize Cobs and Ceiba Pentandra at Room Temperature and Low Compacting Pressure without a Binder. *International Journal of Energy and Environmental Engineering: Ghana*.

Murcia, D. & González, A. (2020). *Desarrollo de Briquetas de Borra de Café y un Aglomerante a Diferentes Composiciones Porcentuales para Ser Utilizadas como Combustible Sólido Alternativo*. Universidad de América. Colombia, Bogotá. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7783/1/6151497-2020-1-IQ.pdf>

Mussatto, S.I., Machado, E.M.S., Martins, S., Teixeira, J.A. (2011). *Production, composition, and application of coffee and its industrial residues: Food Bioprocess Technol.* 4, 661–672.

Ortiz, L. (1994). *Energías Xilogeneradas*. Vigo. España, 216p.

Petersen, A. (2006). *A comparison of avoided greenhouse gas emissions when using different kinds of wood energy*. Biomass and Bioenergy, Volume 30, Issue 7, Pages 605-617. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.01.009>.

Posso, F. (2000). *Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro Parte uno: Sistema Energético Basado en Fuentes Fósiles*. Geoenseñanza, 5(2),197-228. ISSN: 1316-6077. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36050204>

Relova, I., Marcos, F., & Vignote, S. (2006). Obtención de Energía a partir de residuos madereros densificados. *Revista AITIM*. (242): 80 p. Disponible en: [www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_5099\\_23541.pdf](http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_5099_23541.pdf)

Ríos, I., Santos, J. & Gutiérrez, C. (2017). Biocombustibles Sólidos: Una solución al calentamiento global. *Revista Ciencia*, Vol. 68, Núm. 4. Pp. 75-82. Disponible en: <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/online/BiocombustiblesSolidos.pdf>

Ríos, I., Luzardo, I., Santos, J., García, J. & Gutiérrez, C. (2019). Biocombustibles sólidos: una alternativa económica y sostenible para la generación de energía eléctrica en México. *Revista Digital Ciencia*, 12 (2), 61-66.

Ríos, I., Santos, J. & Gutiérrez, C. (2017). Biocombustibles sólidos: una solución al calentamiento global. *Revista Ciencia*, 68(4), i1-i7.

Rodríguez, A., Consuelo, P. & Folgueras, M. (2013). *Caracterización Química de la Biomasa y su Relación con el Poder Calorífico*. Universidad de Oviedo. Oviedo, España. Disponible en:

[https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/17777/TFM\\_Ana\\_AlvarezProteg.pdf;jsessionid=AED818616020A85C900350F545264390?sequence=6](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/17777/TFM_Ana_AlvarezProteg.pdf;jsessionid=AED818616020A85C900350F545264390?sequence=6)

Salinas Callejas, Edmar, & Gasca Quezada, Víctor (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, (157),75-82. ISSN: 0186-1840. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32512739009>

Scharlemann, J. P. W. & Laurance, W. F. (2008). *How Green Are Biofuels?*. *Science*, 319, 43-44.

Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL. (2015). *Informe Anual sobre la Situación de Pobreza y Rezago Social 2015*. Gobierno de México. México. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/38012/Puebla\\_043.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/38012/Puebla_043.pdf)

Secretaría de Agricultura, ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2015). *Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: diagnóstico nacional*. Gobierno de México. México. Disponible en:

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346963/Manejo\\_de\\_Residuos\\_Reporte\\_Ejecutivo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346963/Manejo_de_Residuos_Reporte_Ejecutivo.pdf)

UMAFOR. (2011). *Estudio Regional Forestal de la Unidad de Manejo Forestal Teziutlán, Puebla. Puebla, México*. Disponible en:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/3087Estudio%20Regional%20Forestal%20de%20la%20Unidad%20de%20Manejo%20Forestal%200403..pdf>

SEMARNAT & CONAFOR. (2022). *Bloque 2: Importancia de los bosques para la mitigación del cambio climático*. México. Disponible en:

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/3893Bosques%20y%20cambio%20climatico.pdf>

Senovilla, L. & Antolin, G. (2005). *Revalorización Energética de los Residuos de la Industria Vitivinícola*. España. Disponible en:

[http://www.eis.uva.es/energiasrenovables/trabajos\\_05/SenovillaArranz.pdf](http://www.eis.uva.es/energiasrenovables/trabajos_05/SenovillaArranz.pdf).

Setter, C., Henrique, C., Farinassi, R., & Pires, T. (2020). *Influence of Particle Size on the Physico-Mechanical and Energy Properties of Briquettes Produced with Coffee Husks*.

Springer. Alemania.

Sielawa, D. (2014). *Use of sugarcane bagasse and candeia waste for solid biofuels production*. Federal University of São Carlos: São Paulo, Brazil.

Sierra, M. & Teran, L. (2012). *Air pollution: Impact and prevention*. *Respirology* (Carlton, Vic.). 17. 1031-8. 10.1111/j.1440-1843.2012.02213. x.

Sierra, E., Guerrero, C., Mejía, F. (2014). *Determinación de la eficiencia de la cocción con leña en las veredas de Usme, Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v17n2/im10214.pdf>

Tauro, R. (2018). *Solid biofuels in Mexico: a sustainable alternative to satisfy the increasing demand for heat and power*. Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México (IIES-UNAM): México. Disponible en: [https://link-springer-](https://link-springer-com.udlap.idm.oclc.org/content/pdf/10.1007%2Fs10098-018-1529-z.pdf)

[com.udlap.idm.oclc.org/content/pdf/10.1007%2Fs10098-018-1529-z.pdf](https://link-springer-com.udlap.idm.oclc.org/content/pdf/10.1007%2Fs10098-018-1529-z.pdf)

The World Bank and International Cryosphere Climate Initiative. (2013). *On Thin Ice: How Cutting Pollution Can Slow Warming and Save Lives*. The World Bank and International Cryosphere Climate Initiative: Washington, DC.

Tesfaye, A., Workie, F. & Kumar, V. (2021). *Production and Characterization of CoffeeHusk Fuel Briquettes as an Alternative Energy Source*. Hindawi. Etiopía.

UNDP. (2022). *ODS en acción*. Disponible en Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sitio Web: <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

UNE. (2019). *Biocombustibles sólidos Especificaciones y clases de combustibles*. Madrid, UNE.

Vergara, W., Fenhann, H. & Schletz, M. (2016). *Carbono cero América Latina*. Disponible en LEDS Sitio Web: [https://ledsgp.org/app/uploads/2016/04/Zero-Carbon-Latin-America-ES\\_WEB.pdf](https://ledsgp.org/app/uploads/2016/04/Zero-Carbon-Latin-America-ES_WEB.pdf)

Wilches Flórez, Á. M. (2011). Biocombustibles: ¿son realmente amigables con el medio ambiente?. *Revista Colombiana de Bioética*, 6(1):89-102.

Yusuf, S., Faiz, M., Adb, L., Muhaimin, A. (2013). *A Review of Technical and Economic Aspects of Biomass Briquetting*. MDPI. Malasya. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/460>

## 9. ANEXOS

### 9.1. Anexo 1: Formato de encuestas realizadas a los habitantes de la comunidad de Xaltipan

Encuesta dirigida a los habitantes de la comunidad [XXX] con el fin de conocer su interés por sustituir o disminuir el uso de carbón o leña por briquetas a base de desechos orgánicos con el fin de mejorar su salud y aprovechar los residuos orgánicos que se produzcan en la zona.

Para el entrevistador:

*\*Se debe dejar en claro que, si el entrevistado decide no contestar por cuestión personal, se dejará en blanco la pregunta en cuestión.*

*\*\*Se debe explicar desde un principio el propósito de la entrevista que es: Entender el contexto de la comunidad para evaluar la viabilidad de la sustitución del carbón o leña por briquetas hechas a base de los residuos orgánicos de la zona con el fin de mejorar la salud de los pobladores de la comunidad y aprovechar los desechos orgánicos para producir un biocombustible sólido.*

1. ¿Dónde se llevó a cabo la entrevista?

- Vivienda
- Campo
- Otro [Especificar] \_\_\_\_\_

*Una vez explicado lo anterior se procede a realizar la entrevista.*

Fecha: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**Datos del entrevistado:**

Nombre: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ años

Sexo: \_\_\_\_\_

Contacto [Número telefónico]: \_\_\_\_\_

**Información sobre salud**

1. ¿Tiene usted una estufa, horno o anafre o ambos dentro o fuera de su hogar?

- Estufa
  - Horno o anafre
  - Ambos
- \_\_\_\_\_
- Dentro
  - Fuera

Observaciones:

---

---

2. ¿Qué tipo de combustible utiliza para la estufa u horno?

- Leña
- Carbón
- Otro [Especificar] \_\_\_\_\_

Observaciones:

---

---

3. ¿Qué tanto utiliza dicho combustible como fuente de energía?

- No lo utilizo
- 1 o 2 veces a la semana
- 3 o más veces a la semana

Observaciones:

---

---

4. ¿Qué tan seguido se enferman usted y/o sus familiares de enfermedades respiratorias?

- Una vez a la semana
- Una vez al mes
- Un par de veces al año

Observaciones:

---

---

### **Información sobre economía**

5. ¿Cuánto gasta semanalmente en el combustible que utiliza para su estufa u horno?

- Nada, es gratis
- Otro [Especificar] \_\_\_\_\_

Observaciones:

---

---

6. ¿Estaría dispuesto a intentar utilizar otra fuente de energía si fuese más económica?

Sí

No

Observaciones:

---

---

7. ¿Qué tipos de residuos orgánicos o agrícolas genera en casa?

Indicar:

---

---

---

8. ¿En qué cantidad se generan dichos residuos?

Indicar:

---

---

---

9. Si pudiera generar con sus propios desechos orgánicos (cascaras de frutas, restos de alimentos, desechos de café, maíz, etc.) una fuente de energía para consumo propio o para vender, ¿La consideraría como opción? Del 1 al 10, siendo 1 el mínimo, ¿Qué tanto lo consideraría?

Sí

Para consumo propio

1      2      3      4      5      6      7      8      9  
10

Para vender

1      2      3      4      5      6      7      8      9  
10

Ambos

1      2      3      4      5      6      7      8      9  
10

No

Observaciones:

---

---

10. ¿Estaría dispuesto a aprovechar sus desechos orgánicos para elaborar briquetas y utilizarlas como fuente de energía?

- Sí
- No

Observaciones:

---

---

11. Del 1 al 10, siendo el 1 lo más bajo, ¿Qué tan interesado está en que le expliquemos el proceso para elaborar briquetas con sus propios desechos orgánicos?

1      2      3      4      5      6      7      8      9      10

**Información sobre el medio ambiente**

1. ¿Qué tipos de residuos de agricultura se generan en la región?

Indicar:

---

---

---

2. ¿Dichos residuos tienen algún uso?

- No sé
- No
- Sí

¿Cuál?

---

---

Observaciones:

---

---

3. ¿Sabes si dichos residuos se queman o se desechan de alguna otra forma?

- No sé
- Se queman
- Se                      desechan                      de                      otra                      forma

¿Cuál?

---

---

Observaciones:

---

---

4. ¿Consideras que hay deforestación o tala importante de árboles en los alrededores?

- Sí
- No

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

*\*Terminar agradeciendo al entrevistado la atención y el tiempo prestado para realizar la entrevista.*

**Giselle Armenta Campas y Bertha de Uriarte Quiroz, alumnas de la Universidad de las Américas Puebla, le damos las gracias por tomarse el tiempo realizar esta encuesta que nos ayudará en gran medida para la realización de nuestra tesis de investigación.**

## 9.2. Anexo 2: Manual para la fabricación de la prensa

### Manual de elaboración de prensa

#### 1. Objetivo

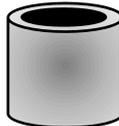
El objetivo del presente manual es indicar los materiales necesarios y el procedimiento a seguir para elaborar una prensa manual con la cual se puedan elaborar, de manera artesanal, briquetas a partir de residuos sólidos orgánicos.

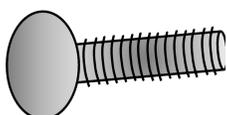
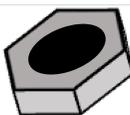
#### 2. Materiales

- Tubo de PVC
- Madera
- Tornillos y pijas
- Serrucho
- Destornillador o Taladro
- Martillo
- Flexómetro

#### 2.1. Especificaciones del material

**Tabla A-1.** Materiales y sus especificaciones (Fuente: Los Autores).

| Cantidad | Código | Material  | Figura  |
|----------|--------|---|---|
| 1        | A      | Tubo de PVC de 60 mm de diámetro externo y 35 mm de largo                                 |  |
| 1        | B      | Cilindro de madera (puede ser la rama de un árbol) de 40 mm de diámetro y 150 mm de largo |  |

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 2 | C | Prismas rectangulares de madera de 20 mm x 30 mm x 210 mm |    |
| 1 | D | Tabla en forma rectangular de 85 mm x 20 mm x 390 mm      |    |
| 1 | E | Prisma cuadrangular de 35 mm x 35 mm x 320 mm             |    |
| 2 | F | Prisma rectangular de madera de 20 mm x 30 mm x 85 mm     |  |
| 1 | G | Tornillo de 7/16 x 3 pulgadas con cabeza de coche         |  |
| 1 | H | Tuerca de seguridad                                       |  |

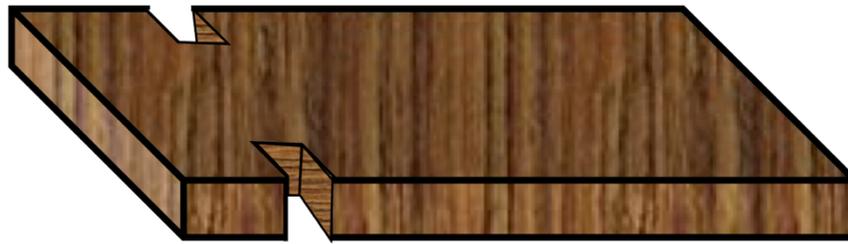
|   |   |                                     |   |
|---|---|-------------------------------------|---|
| 2 | I | Huwas planas                        |  |
| 2 | J | Pijas de 1 ½ pulgadas autoroscables |  |
| 4 | K | Pijas de 2 pulgadas para madera     |  |

### 3. Procedimiento

- (1) Una vez que se tienen todos los materiales con las medidas indicadas, como se muestra en la **Figura A-1**, se procede a tomar la pieza D y cortarla como se indica en la **Figura A-2**.

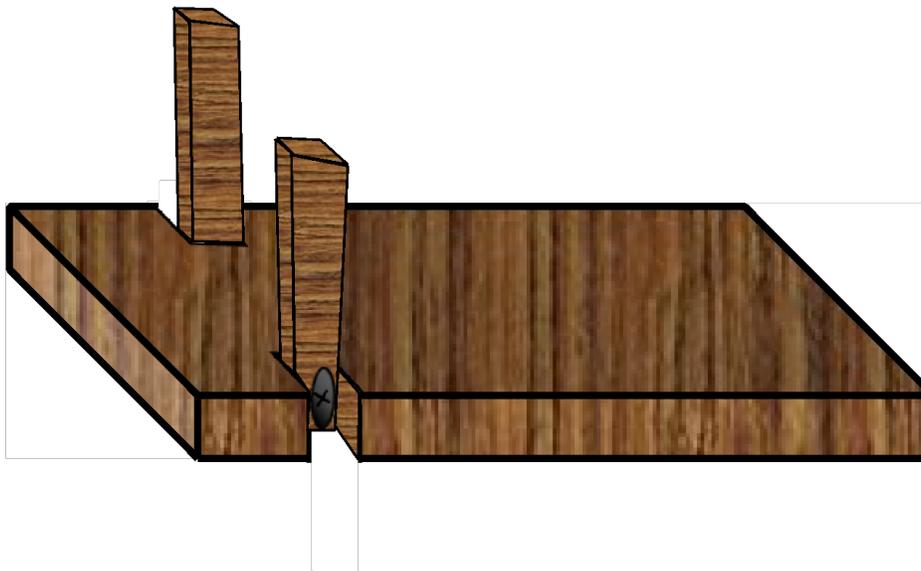


**Figura A-1.** Piezas para prensa artesanal (Fuente: Los Autores).



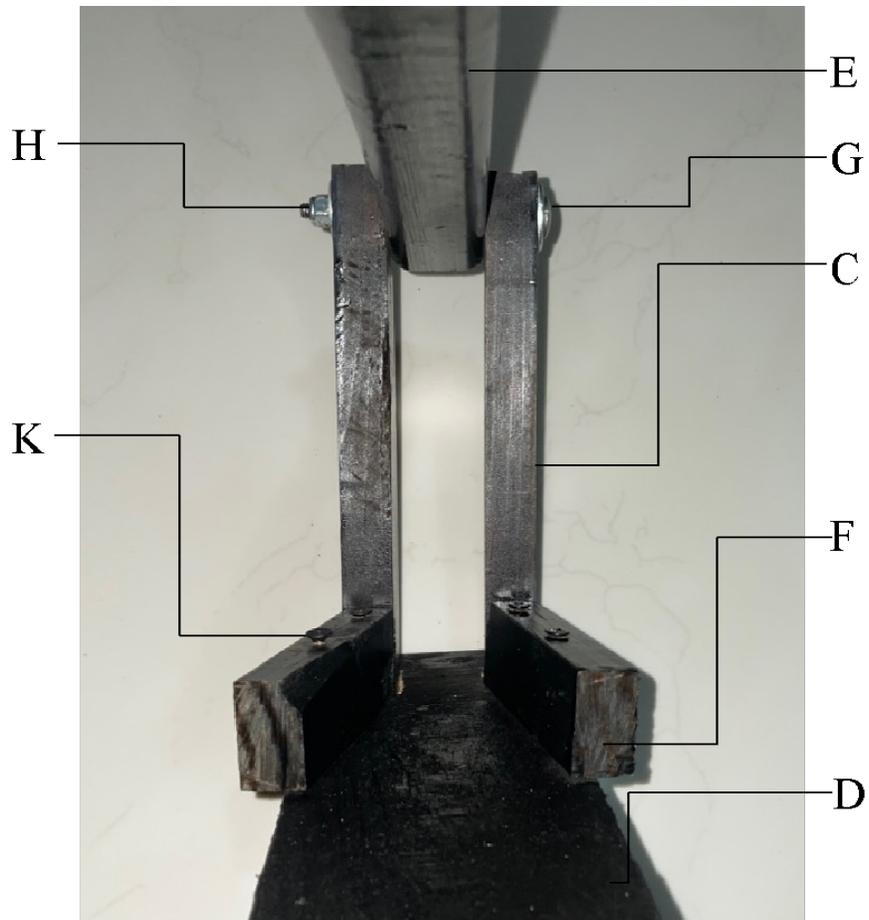
**Figura A-2.** Corte de pieza D (Fuente: Los Autores).

- (2) Ya que se cortó la pieza D, con las piezas J se ajustan las piezas C, una a cada lado, como se muestran en la **Figura A-3**.



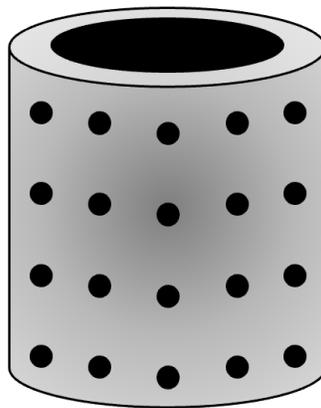
**Figura A-3.** Unión de piezas D y C con las piezas J (Fuente: Los Autores).

- (3) En la parte superior de las piezas J, se atornilla la pieza E con el tornillo 7/16 x 3 (pieza G) y se usa la tuerca de seguridad y las huasas para reforzar la unión (piezas H e I).
- (4) El siguiente paso es acomodar las piezas F frente a las C, se acomodan aproximadamente a 120° y se aseguran con las pijas de 2 pulgadas para madera (pieza K), se colocan dos pijas en cada pieza F. El resultado de los pasos 3 y 4 se ilustra en la **Figura A-4**.



**Figura A-4.** Unión de piezas F y E con las piezas K, G y H (Fuente: Los Autores).

- (5) Se procede a tomar la pieza A y se hacen agujeros como se muestra en la **Figura A-5**, la separación es de 10 mm aproximadamente por cada orificio.



**Figura A-5.** Pieza A con perforaciones (Fuente: Los Autores).

- (6) Se coloca la pieza A, ya perforada, entre medio de las piezas F como se muestra en la **Figura A-6**.



**Figura A-6.** Pieza A colocada en la prensa (Fuente: Los Autores).

- (7) Finalmente, la pieza B es usada para ejercer presión al material con el que se vaya a hacer la briqueta, es presionada por la pieza E (**Figura A-7**)



**Figura A-7.** Pieza B colocada en la prensa (Fuente: Los Autores).

#### 4. Resultado

Una vez realizados los pasos de la sección pasada, se espera una prensa como la que se muestra en la **Figura A-8**. Con esta prensa se podrán elaborar briquetas de manera artesanal, se espera que el mango movable de la prensa (pieza E) sea la que presione al cilindro de madera (pieza B) y la presión comprima el material de la prensa; los orificios de la pieza A están hecho para que, en caso de que haya humedad o agua pueda ‘exprimirse’ y salir por dichos orificios.

Ya que se presiona el material orgánico, se puede retirar la pieza A de la prensa para sacar la briqueta y colocarla en una superficie plana.



**Figura A-8.** Prensa artesanal para elaborar briquetas (Fuente: Los Autores).