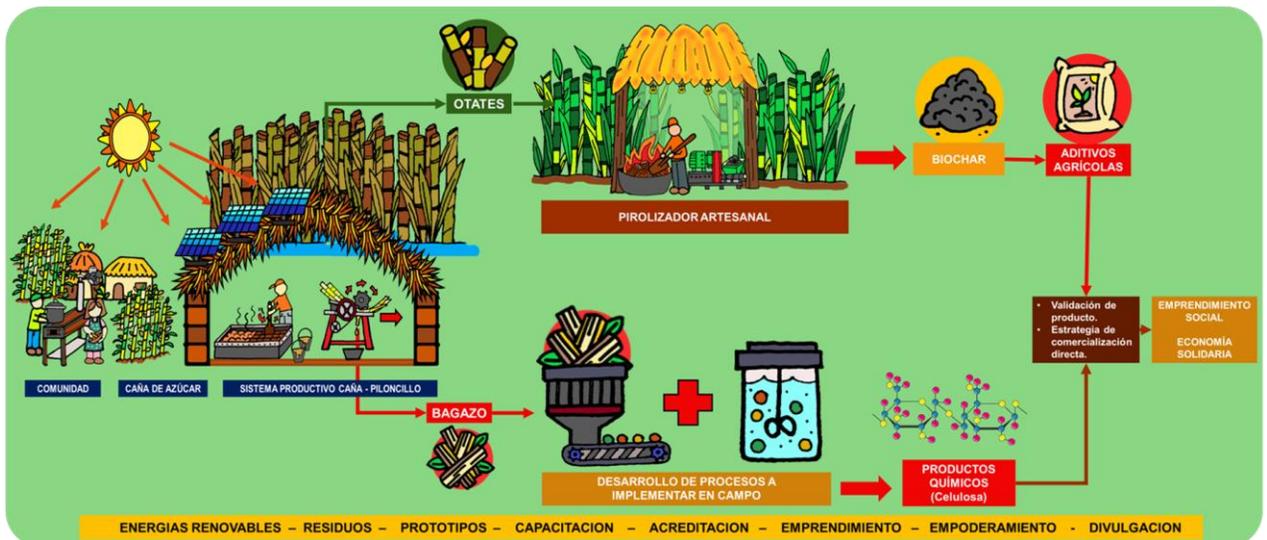


## Paquete Tecnológico

# PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE BIOCHAR CON APLICACIONES AGRÍCOLAS



**Dr. Marco Antonio Sánchez Castillo**

**M.C L. Fabiola Palomo González**

*Universidad Autónoma de San Luis Potosí*

**Dr. Sergio A. Gómez Torres**

**Dr. Mario Vizcarra Mendoza**

**Dr. José A. de los Reyes Heredia**

*Universidad Autónoma Metropolitana*



# PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE BIOCHAR CON APLICACIONES AGRICOLAS

*Dr. Marco Antonio Sánchez Castillo*

*M.C L. Fabiola Palomo González*

*Universidad Autónoma de San Luis Potosí*

*Dr. Sergio A. Gómez Torres*

*Dr. Mario Vizcarra Mendoza*

*Dr. José A. de los Reyes Heredia*

*Universidad Autónoma Metropolitana*

---

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

San Luis Potosí, México, 2025



**ISBN**                    **XXX-XXX-XXX-XXX-X**

*En trámite*

**Primera Edición Digital: Enero 2025**

**D.R. © Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

**Álvaro Obregón 64, Centro**

**San Luis Potosí, S.L.P., 78000**

**[www.uaslp.mx](http://www.uaslp.mx)**

Este libro fue sometida a un estricto proceso de arbitraje por pares, con base en los lineamientos establecidos por la Dirección de Fomento Editorial y Publicaciones de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Este libro es producto del Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia “Desarrollo social y económico de pequeñas unidades agroindustriales con base en la socialización, gestión, generación y/o uso eficiente de energía sostenible” (321073), financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) a partir de la convocatoria 2021-2024 “Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia para Transitar a un Sistema Energético Social y Ambientalmente Sustentable”.

Se autoriza la reproducción de este libro para propósitos de divulgación o didácticos, siempre y cuando no existan fines de lucro, se cite la fuente y no se altere el contenido. Cualquier otro uso requiere permiso escrito de los autores. Dirigirse a [masanchez@uaslp.mx](mailto:masanchez@uaslp.mx)

*Hecho en México / Made in Mexico.*



## **PRESENTACIÓN**

En la actualidad, las comunidades piloncilleras Tének enfrentan múltiples retos tecnológicos y económicos para asegurar que la venta del piloncillo artesanal les permita obtener los ingresos necesarios para brindar a su familias una buena calidad de vida. Para atender esta situación, es indispensable que los productores y sus familias conozcan e implementen algunas variantes que permitan hacer más sostenibles cada una de las etapas de la cadena de valor del proceso de fabricación del piloncillo. Adicionalmente, deben diversificar su cartera de productos artesanales, promoviendo la producción de otros productos que demande el mercado, que tengan mayor agregado y que puedan comercializar en periodos de la temporada baja de producción de caña y piloncillo. Algunos de estos productos son los dulces de piloncillo con semillas y el ron preparado con el jugo de caña, la melaza o el piloncillo. Estos productos se pueden elaborar en la mismas unidades productivas piloncilleras, conocidas como trapiche, a través de procesos artesanales sencillos y cuyos requerimientos energéticos se satisfacen con los residuos de biomasa disponibles en la unidad productiva.

En este escenario, en el marco del proyecto de investigación e incidencia auspiciado y apoyado económicamente por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (PRONACES 321073), un equipo de trabajo de profesores y estudiantes de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y la Universidad Autónoma Metropolitana propusieron el desarrollo de un nuevo paquete tecnológico, en este caso: “**Producción Sostenible de Biochar con Aplicaciones Agrícolas**”, continuando con la armónica integración de las experiencias y vivencias de las comunidades piloncilleras Tének alrededor del Municipio de Tanlajás, S.L.P., e incorporando progresivamente a los elementos de ciencia y tecnología que el equipo de trabajo académico identificó, validó y transfirió a campo.

En este documento, se resumen en forma sintética y con un lenguaje accesible a micro y pequeños productores un conjunto de prácticas y recomendaciones que les permitirán implementar la producción sostenible de biochar en sus trapiches, con favorables beneficios desde el punto de vista tecnológico, energético, ambiental, económico y social. La tecnología propuesta es simple y se sugiere una secuencia lógica de acciones, susceptible de ser replicada en los trapiches convencionales.

El paquete tecnológico incluye los elementos para:

- a) facilitar que los micro y pequeños productores entiendan los conceptos básicos de la pirólisis de residuos lignocelulósicos, como otate y bagazo de caña, para la producción de biochar
- b) la construcción de un pirolizador de campo en la misma unidad productiva piloncillera.
- c) el enriquecimiento del biochar con aditivos producidos localmente.
- d) la alternativa de comercialización del biochar enriquecido, como premisa para lograr un mejor beneficio económico de sus hogares y unidades productivas, y
- e) la gestión en organizaciones públicas para extender el uso y beneficio de las estufas ecológicas.

En este paquete también se usan residuos de biomasa lignocelulósica como fuente de energía y se promueve el uso de ecotecnologías para contar con los servicios necesarios para la operación del proceso. Además, se inducen las condiciones para tener las condiciones de higiene y seguridad que coadyuven a la adecuada operación del proceso y manejo del producto. La adopción de enfoques sostenibles en cada una de las etapas de la cadena de valor, contribuirán a calidad del biochar y permitirá identificar en el futuro cercano estrategias para el escalamiento de la producción. Se enfatiza que el paquete tecnológico incluye los lineamientos para que los micro y pequeños productores se capaciten en los aspectos técnicos y generen un material funcional con aplicaciones agrícolas validadas, que facilite su comercialización en mercados locales y nacionales, como premisa para lograr un mejor beneficio económico de sus unidades productivas y, en consecuencias, lograr el bienestar de las familias y las comunidades.

***Dr. Marco Antonio Sánchez Castillo***

Responsable Técnico

## **PAQUETES TECNOLÓGICOS**

En el contexto del promover el desarrollo sostenible de las comunidades piloncilleras Tének de la Huasteca Potosina, los autores han propuestos los siguientes **Paquetes Tecnológicos** que pueden ser implementados en distintivos sistemas productivos rurales:

- **PRODUCCION SOSTENIBLE DE PILONCILLO GRANULADO ARTESANAL**
- **FABRICACION FAMILIAR DE ESTUFAS ECOLOGICAS DE LEÑA**
- **PRODUCCION SOSTENIBLE DE BIOCHAR CON APLICACIONES AGRICOLAS.**
- **PRODUCCION SOSTENIBLE DE RON ARTESANAL.**
- **PRODUCCION DE DULCES DE PILONCILLO CON SEMILLAS.**

La implementación y/o integración de estos paquetes ha permitido establecer los siguientes espacios para la difusión, demostración y capacitación de los paquetes tecnológicos en el municipio de Tanlajás, S.L.P:

- **UNIDAD DE PROCESAMIENTOS DE PRODUCTOS DE PILONCILLO.**
- **TRAPICHE COMO MODELO DE UNA MICROBIORREFINERIA.**
- **CENTRO DE INNOVACIÓN PARA LA VALORIZACIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS Y ENERGÍAS RENOVABLES (CIVASORER).**

Con gusto podemos compartir con los interesados la información sobre los paquetes tecnológicos y los espacios de demostración y capacitación.

Agradeceremos que los lectores tengan la confianza que dirigirse con nosotros en caso de cualquier pregunta, duda o comentario. Además, pueden ponerse en contacto en caso de necesitar alguna asesoría, apoyo o análisis para la implementación del paquete

tecnológico en una unidad productiva rural, o para solicitar una demostración y capacitación sobre el paquete tecnológico.

El apoyo se extiende a diversos aspectos tecnológicos, ambientales energéticos, económicos y/o sociales.

Atentamente.

**Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

*San Luis Potosí, S.L.P.*

**Dr. Marco A. Sánchez Castillo**

*masanchez@uaslp.mx*

**MC. L. Fabiola Palomo González**

*fabiola.palomo@uaslp.mx*

**Universidad Autónoma Metropolitana**

*Ciudad de México*

**Dr. Sergio A. Gómez Torres**

*sgomez@xanum.uam.mx*

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece el apoyo económico del **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías** para el desarrollo del **Pronaii 321073** “*Desarrollo social y económico de pequeñas unidades agroindustriales con base en la socialización, gestión, generación y/o uso eficiente de energía sustentable*”.

Se agradece a la **Universidad Autónoma Metropolitana** el recurso económico concurrente otorgado para el desarrollo del Pronaii 321073 y por las facilidades otorgadas para la participación de Profesores y Estudiantes en el proyecto.

Se agradece a la **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**, en particular a la Facultad de Ingeniería Química, por las facilidades otorgadas para la participación de Profesores y Estudiantes en el Pronaii 321073

Se agradece a la **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**, en particular a la **Facultad de Ciencias Químicas** y a la **Facultad de Ingeniería**, por las facilidades otorgadas para la participación de Profesores y Estudiantes en el Pronaii 321073. Se agradece a la **MC Miriam Ricaño Pérez** por su apoyo técnico y a la **MC Clara María Martínez Jasso** su colaboración en la elaboración de imágenes.

De forma especial, se agradece el interés y la dedicación de los **MIEMBROS DE LAS COMUNIDADES TÉNEK** en los Municipios de Tanlajás, Tancanhuitz y San Antonio, S.L.P.

Su confianza, su forma natural y directa de compartir sus sueños y visiones, su creatividad e ingenio, su atención con el grupo de trabajo, su vocación y decisión para intentar una y otra vez hasta conseguir una meta, y su amistad irrestricta, son una continua motivación para ser agentes de cambio en nuestras comunidades rurales.



# INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>5</b>
<b>3. BASES PARA EL DESARROLLO DEL PAQUETE TECNOLÓGICO</b> .....	<b>7</b>
3.1. TÉCNICOS .....	7
3.2. AMBIENTALES .....	8
3.3. ENERGÉTICOS .....	8
3.4. ECONÓMICOS .....	9
3.5. SOCIALES .....	9
<b>4. TRANSFERENCIA DE SABERES PARA MEJORAR EL PROCESO ARTESANAL</b> .....	<b>11</b>
4.1. VENTAJAS DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA DE SABERES .....	11
4.2. ACTIVIDADES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS .....	13
4.3. ESTRATEGIA PARA LA TRANSFERENCIA DE SABERES Y DESARROLLO DE PROPUESTAS .....	14
<b>5. REVISIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS</b> .....	<b>16</b>
5.1. CONVERSIÓN DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA RESIDUAL .....	16
5.2. PIRÓLISIS DE BIOMASA RESIDUAL .....	17
5.3. MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCHAR .....	17
5.3.1. <i>Bagazo de caña</i> .....	18
5.3.2. <i>Bambú</i> .....	18
5.3.3. <i>Otates</i> .....	18
5.4. PIROLIZADORES .....	19
5.4.1. <i>Pirolizadores de campo</i> .....	19
5.4.2. <i>Desafíos de la pirólisis en campo</i> .....	20
5.4.3. <i>¿Cómo validar el enfoque sostenible de la pirólisis?</i> .....	21
5.5. BIOCHAR .....	21
5.5.1. <i>Comparación del biochar de madera, otate y bagazo</i> .....	21
5.5.2. <i>Aplicaciones agrícolas y ambientales</i> .....	24
5.5.3. <i>Una posible aplicación con gran mercado</i> .....	24
5.5.4. <i>Perspectiva de la producción de biochar en México</i> .....	25
<b>6. BIOCHAR MEJORADO</b> .....	<b>27</b>
6.1. SUPERMAGRO Y BIOCHAR: POTENCIAL ADITIVO .....	27
6.2. PRODUCCIÓN DE BIOCHAR MEJORADO EN CAMPO .....	28
6.3. PERSPECTIVA DE BIOCHAR MEJORADO EN MÉXICO .....	28
6.4. COLOFÓN .....	28
<b>7. PRODUCCION ARTESANAL DE BIOCHAR PARA APLICACIONES AGRICOLAS</b> .....	<b>31</b>
7.1. PREVIO AL PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	31
7.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	34
7.3. RESULTADOS .....	40
7.4. ENRIQUECIMIENTO DEL BIOCHAR .....	40
7.5. VALIDACIÓN FUNCIONAL .....	41

7.6.	RETOS POR RESOLVER .....	42
7.7.	COLOFÓN .....	43
<b>8.</b>	<b>CALIDAD DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS .....</b>	<b>45</b>
8.1.	ANÁLISIS DEL BIOCHAR .....	45
8.1.1.	<i>Propiedades físicas</i> .....	45
8.1.2.	<i>Propiedades químicas</i> .....	45
8.1.3.	<i>Propiedades Térmicas</i> .....	46
8.1.4.	<i>Propiedades Agrícolas</i> .....	46
8.1.5.	<i>Propiedades de Adsorción</i> .....	47
8.2.	ANÁLISIS DEL BIOCHAR MEJORADO .....	47
8.2.1.	<i>Propiedades Químicas</i> .....	47
8.2.2.	<i>Propiedades Microbiológicas</i> .....	48
8.2.3.	<i>Pruebas de Efectividad Agrícola en el Suelo</i> .....	48
8.3.	DATOS DE CONTACTO PARA LAS CARACTERIZACIONES.....	49
<b>9.</b>	<b>FORMACIÓN TÉCNICA DE PRODUCTORES.....</b>	<b>51</b>
9.1.	FORMACIÓN DE PRODUCTORES EN EL PAQUETE TECNOLÓGICO .....	52
9.2.	CASO ESPECÍFICO DEL PT3 .....	53
9.3.	FORMACIÓN DE PRODUCTORES EN EMPRENDIMIENTO SOCIAL .....	55
9.4.	CURSOS / TALLERES DE CAPACITACIÓN TÉCNICA COMPLEMENTARIA .....	58
9.4.1.	<i>Características generales</i> .....	58
9.4.2.	<i>Propósitos de los cursos / talleres complementarios</i> .....	59
9.5.	TALLERES DE FORMACIÓN COMPLEMENTARIA.....	60
9.6.	REDES DE APOYO Y SEGUIMIENTO .....	61
9.7.	PRODUCTORES LOCALES COMO CAPACITADORES .....	61
9.8.	CERTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS TÉCNICAS DE PRODUCTORES.....	62
9.9.	BASES PARA ESQUEMAS DE ECONOMÍA SOLIDARIA.....	64
9.10.	IMPACTOS .....	66
9.11.	GESTIÓN PARA EL DESARROLLO DEL PAQUETE TECNOLÓGICO.....	71
9.12.	GESTIONES CON PRESIDENTES MUNICIPALES.....	71
9.13.	DIRECTORIO DE INTERESADOS EN PAQUETES TECNOLÓGICOS .....	74
<b>10.</b>	<b>CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>
10.1.	IDEAS CONCLUSIVAS.....	77
10.2.	RECOMENDACIONES A CORTO Y MEDIANO PLAZO: .....	79
10.3.	INVITACIÓN A LA ACCIÓN PARA LAS COMUNIDADES RURALES:.....	80
<b>11.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>81</b>

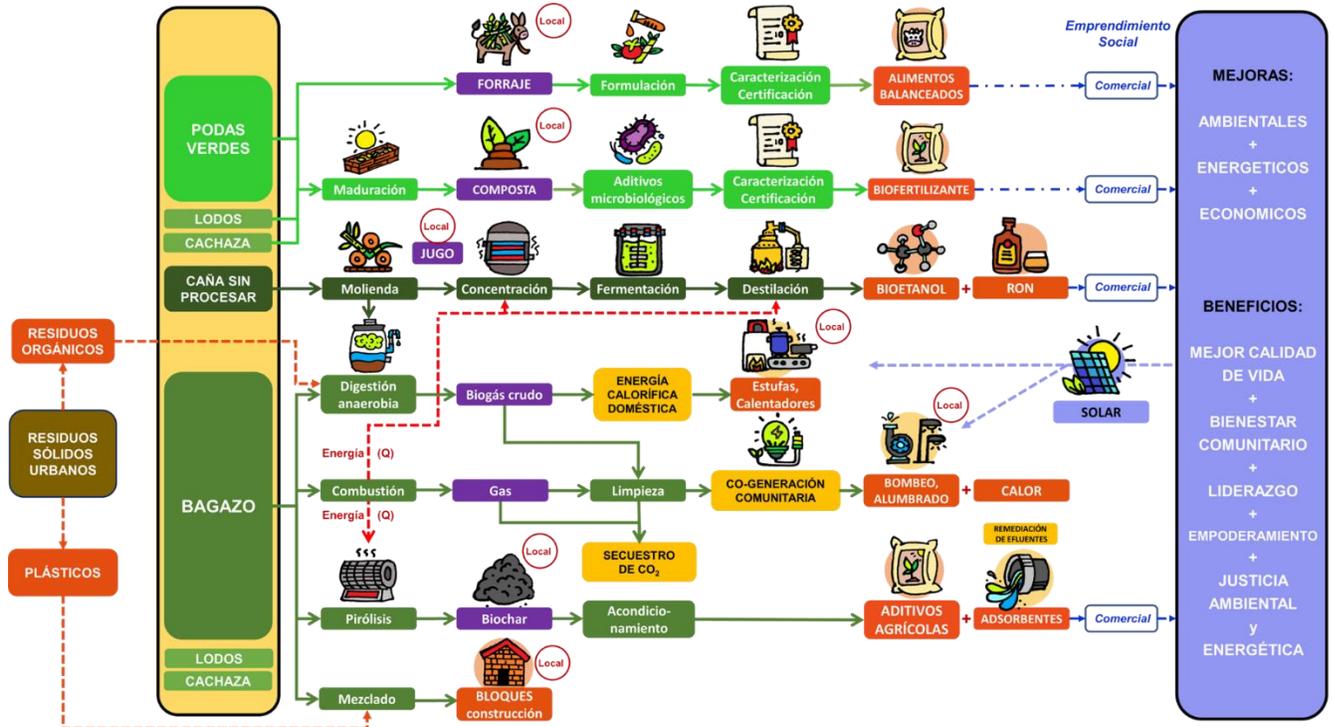
## **1. INTRODUCCIÓN**

Las comunidades piloncilleras Tének de la Huasteca Potosina, a través de tradiciones centenarias, usan la caña de azúcar para producir pilón y piloncillo granulado, como elementos distintivos de su cultura y como principal fuente de ingreso económico para el sustento de las familias. A la fecha, estos procesos productivos enfrentan múltiples retos tecnológicos y económicos que les permitan mantener sus tradiciones y, a la par, mejorar la productividad y calidad de sus productos y establecer nuevos canales de comercialización que les permitan obtener los ingresos necesarios para brindar a su familia una buena calidad de vida.

En este escenario, el equipo académico del proyecto PRONACES 321073 realizó un diagnóstico comunitario en las comunidades piloncilleras Tének de la Huasteca Potosina para identificar y validar las alternativas de interés para los productores y comunidades que les permitan diversificar su cartera de productos, desde un enfoque sostenible, privilegiando el uso de las materias primas y de los residuos de la actividad e induciendo el uso de ecotecnologías para satisfacer las necesidades energéticas de la unidad productiva. Durante el diagnóstico realizado en la zona de incidencia se comentó con los productores que hay múltiples alternativas para usar los diferentes productos de la caña de azúcar, el jugo de caña, la melaza y el piloncillo, para generar productos de valor agregado que se pueden comercializar de forma preferente en el mercado, con mejorar beneficios económicos que los productos actuales. También se les hizo notar que un enfoque de economía circular, se pueden usar también los residuos, como las podas verdes y el bagazo de caña, para generar diversos productos de valor agregado, en el contexto de lo que se identificó como una micro-biorrefinería rural, adaptada al tipo y cantidad de biomasa residual disponible en las comunidades. Como resultado colegiado del diagnóstico inicial se propuso la primera versión de una micro-biorrefinería con base en la valorización de los productos y residuos de la conversión de la caña de azúcar en el trapiche. De forma relevante, se convino desarrollar prioritariamente las líneas de productos sustentadas en tecnologías simples y de baja inversión económica.

El enfoque para desarrollar cada línea de producto fue mediante la implementación de paquetes tecnológicos, a partir de prototipos de procesos y de equipos, que se diseñan, se implementan y/o se optimizan con perspectiva de sostenibilidad. En la estrategia propuesta, cuando el proceso o producto no ha sido implementado en campo, se propone primero una evaluación del proceso a nivel laboratorio, para garantizar las condiciones de operación y los referentes de productividad y calidad del producto. En una etapa subsiguiente, se hace la

transferencia de la tecnología a los productores, se implementa el proceso en el trapiche y se hace una validación de la operación, la productividad y la calidad del producto.



**Figura 1 Alternativa de aprovechamiento de los recursos naturales, productos y residuos generados en las comunidades de incidencia para establecer una micro-biorrefinería rural.**

El equipo de trabajo postula que la progresiva instalación de los paquetes tecnológicos para cada línea de producto, a escala demostrativa, validará la prueba de concepto, desarrollará las competencias de los productores, y permitirá obtener la información necesaria para que el proceso/producto pueda ser apropiadamente escalado. De forma importante, cada línea de desarrollo tecnológico está acoplada a una línea de emprendimiento social, desde la cual se establece un modelo de negocio favorable para que los productores comercialicen de forma directa sus productos en el mercado local, estatal y nacional. En perspectiva, la implementación y articulación de los paquetes tecnológicos en un trapiche son la para postular una micro-biorrefinería rural, acorde a la naturaleza y disponibilidad de las materias primas, intermediarios y productos de los diferentes sistemas producto de la zona de incidencia. A futuro, el concepto de la micro-biorrefinería rural facilitará el uso de los intermediarios, productos y residuos del procesamiento primario de la caña de azúcar, para obtener productos de mayor valor agregado

en el sector industrial tales como etanol, el ácido láctico, el sorbitol, entre muchos otros productos que ciertamente demandan más tecnología, servicios e inversiones.

En este paquete tecnológico, respetando los procesos que los productores identificaron como preferentes y que son viables de adecuarse en un trapiche, se propone el uso de otate para la producción de biochar con aplicaciones agrícolas y ambientales.

En este documento se incluyen las bases técnicas, ambientales, energéticas, económicas y sociales para el desarrollo del paquete tecnológico. Así mismo, se incluyen los conceptos científicos y tecnológicos básicos de la pirólisis, tipo de pirolizadores, materia prima, retos y desafíos en campo y las posibles aplicaciones en campo del biochar.

Finalmente, se hace notar que los procesos/equipos/servicios con los que se demuestra la producción de biochar en la zona de incidencia se desarrollaron tecnológicamente con el apoyo del personal académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Así mismo, se contó con su invaluable apoyo económico; los recursos económicos concurrentes aportados por la UAM-I, complementó el apoyo económico del CONAHCYT y se lograron instalar dos unidades demostrativas: en el trapiche modelo de una micro biorrefinería en la comunidad de El Barrancón y otro en el "Centro de Innovación para la Valorización Sostenible de Residuos y Energías Renovables" (CIVASORER) en la cabecera municipal de Tanlajás. El CIVASORER es el punto focal para la inducción, la demostración, la capacitación, la gestión y la socialización requeridas para detonar este paquete tecnológico en su etapa inicial.

La estrategia referida para toma en cuenta las realidades y los retos de los productores, para construir "trajes a la medida" que contribuyan al desarrollo sostenible de las comunidades usando los conceptos de economía circular, de micro-biorrefinerías cero residuos y emprendimiento social. El mayor reto es encontrar los mecanismos de gestión para replicar el paquete tecnológico, como un favorable vector para que las comunidades rurales transiten a mejores escenarios de desarrollo personal, comunitario, social y económico.



## **2. OBJETIVO**

El objetivo general del paquete tecnológico es:

Utilizar un proceso de pirólisis con enfoque sostenible para convertir biomasa lignocelulósica residual como otate y bagazo de caña de azúcar en biochar, que después de ser enriquecido con aditivos orgánicos y metales, exhibirá favorables propiedades agrícolas para sistemas a agricultura a cielo abierto y de agricultura protegida. El biochar enriquecido se propone comercializar de forma directa en el mercado, como opción para detonar el desarrollo económico y el bienestar social de los productores y las comunidades.

Los objetivos específicos que contribuyen al desarrollo del paquete tecnológico incluyen:

- Validar a nivel piloto la producción de biochar a partir de otates y bagazo de caña en los trapiches de las comunidades piloncilleras Tének de la Huasteca Potosina.
- Coadyuvar a la sostenibilidad del proceso optimizando los requerimientos energéticos y usar residuos lignocelulósicos para generar la energía necesaria.}
- Enriquecer el biochar con aditivos verdes, generados por otros grupos de trabajo locales.
- Validar la funcionalidad y la calidad de biochar enriquecido como aditivo agrícola en campo (huertos familiares).
- Acoplar a los productores de biochar enriquecido al programa de capacitación en emprendimiento social.

Se enfatiza el uso de residuos lignocelulósicos como materia prima y fuente de energía. Además, se hace uso de microorganismos nativos de la región para el mejoramiento del biochar, y la validación de la funcionalidad del producto en campo. Así mismo, la potencial comercialización directa del producto puede ser un punto de inflexión muy favorable para el desarrollo socio-económico de las comunidades.



### 3. BASES PARA EL DESARROLLO DEL PAQUETE TECNOLÓGICO

Los ejes rectores de este paquete tecnológico se indican a continuación.

#### 3.1. Técnicos

- ***Diversificación de productos y fuentes de Ingresos***

La dependencia exclusiva de la producción y venta de piloncillo granulado es arriesgada sobre todo cuando la demanda fluctúa o el mercado local está saturado. La producción de biochar abre nuevas líneas de ingresos, lo que mejora la estabilidad económica del trapiche y disminuye los riesgos económicos. Complementariamente, el biochar tiene un mayor valor agregado que el piloncillo, permitiendo mejores márgenes de ganancia y maximizando el uso de los recursos naturales disponibles en el trapiche.

- ***Aprovechamiento integral de la materia prima***

El procesamiento de la caña de azúcar en el trapiche genera productos y subproductos que se pueden usar integralmente en la producción de biochar. Este enfoque es más eficiente, optimiza los recursos y mejora la sostenibilidad del proceso. La posibilidad de utilizar el bagazo como combustible favorece los aspectos ambientales y energéticos y contribuye a que el proceso artesanal sea rentable.

- ***Optimización del proceso productivo:***

Implementar estrategias y/o tecnologías viables, simples o económicas que mejoren, entre otros:

- la productividad y la calidad del producto,
- la generación y uso de energía calorífica,
- el uso de ecotecnologías para los servicios del trapiche (agua y energía eléctrica, drenaje).

- ***Fomentar el conocimiento y el uso de tecnologías modernas:***

Lograr que los productores comprendan y describan de forma simple las etapas de los procesos productivos para facilitar su comprensión, así como promover el uso de tecnología simple y económica que les ayude a monitorear y regular las condiciones de proceso.

- ***Oportunidad de innovación tecnológica***

La incorporación de elementos de ciencia y tecnología para validar y optimizar el proceso de producción de biochar que se transfiere a campo, abre un espacio para la innovación al integrar elementos diferenciadores en los procesos térmicos a las necesidades tecnológicas y a las condiciones de operación y servicios que prevalecen en el trapiche.

### 3.2. Ambientales

- ***Buenas prácticas ambientales***

La producción de biochar en el trapiche con prácticas sostenibles en el uso eficiente de los recursos, la valorización de los residuos y el uso de energías renovables, contribuye al cuidado del medio ambiente, al uso responsable de energía y puede generar beneficios para las familias de pueblos originarios, lo que resulta en un producto que se puede comercializar como ecológico, de comercio justo, con sellos de producción local, generando una ventaja competitiva en mercados sensibilizados por estas causas. De hecho, muchos consumidores están cada día más interesados en el origen orgánico y sostenible de los productos que adquieren. Por esta razón, las prácticas de producción responsable, segura, higiénica y sostenible de biochar pueden a futuro recibir certificaciones que aumenten la aceptación en mercados internacionales.

- ***Impacto del cambio climático***

El productor debe entender la forma en la que las variaciones climáticas, como sequías o lluvias excesivas, afectan tanto el cultivo de caña de azúcar y el proceso de producción de piloncillo, que repercute en la economía y la incertidumbre en la producción.

- ***Reducción del impacto ambiental:***

A través de las siguientes acciones:

- No usar fertilizantes ni herbicidas en el cultivo de caña.
- No quemar la caña para su corte (cosecha).

- ***Hacer la gestión adecuada de residuos del trapiche.***

Este aspecto es relevante para evitar daños al medio ambiente y a la salud, pero también una excelente alternativa “limpia” para generar distintos materiales y productos químicos (micro-biorrefinerías) de utilidad para la comunidad y para comercializar en otros mercados.

### 3.3. Energéticos

- ***Aprovechamiento de los residuos.***

Fomentar el uso de biomasa generada durante la producción (bagazo) o de otra biomasa lignocelulósica residual (otates) para producir energías renovables (energía térmica) que sean utilizadas en el proceso de producción, reduciendo la dependencia de fuentes externas de energía.

- ***Aprovechamiento de los recursos naturales***

Inducir a los productores al uso de los recursos naturales, como la radiación solar, para generar energía eléctrica.

### 3.4. Económicos

Se debe habilitar a los productores para que resuelvan, entre otros, los siguientes retos:

- ***Incremento de valor agregado y atracción de nuevos mercados***

La producción de biochar posiciona al trapiche como un productor no solo de alimentos básicos, sino también de bebidas de calidad, y le permite ofrecer productos de mayor valor agregado para consumidores nacionales e internacionales.

- ***Formalización de una cadena de valor por parte de los productores.***

- ***Desarrollo de esquemas de economía solidaria***

- Modelo de emprendimiento social
- Creación de organizaciones y redes de comercialización formales

- ***Fortalecimiento de la economía y el bienestar social***

Impulsar el desarrollo económico de las comunidades rurales al generar empleo local y promover la creación de pequeños negocios o cooperativas que comercialicen los productos derivados de la producción de piloncillo y se beneficien de las energías renovables generadas.

- ***Gestión de recursos económicos e infraestructura a través de programas públicos y privados, incluyendo el acceso a financiamiento.***

La atención de estos retos les permitirá acceder a mercados más grandes y ofertar sus productos a mejores precios para tener mayores márgenes de ganancia.

### 3.5. Sociales

- ***Capacitación y empoderamiento de los productores:***

La producción de biochar requiere de algunos conocimientos técnicos y de habilidades un tanto especializadas. Esto representa una oportunidad para capacitar a los micro y pequeños productores, para mejorar sus competencias técnicas y de emprendimiento, lo que contribuye al desarrollo económico de la comunidad.

- ***Desarrollo económico y comunitario***

El enfoque de emprendimiento social propuesto complementariamente para la comercialización del producto promueve la autoestima y el empoderamiento de productores y las comunidades. Así mismo, les permite organizarse para generar empleos, los induce a comercializar el producto de forma directa en mercados nacionales e internacionales, y les da un

marco de referencia para que tengan un modelo de negocio acorde a sus necesidades, orientado a resolver las barreras locales y hacerlos competitivos en el mercado. Estos aspectos forman parte del proceso de capacitación en emprendimiento, promueven directamente el desarrollo económico de las unidades productivas y es la génesis para lograr el bienestar comunitario.

## **4. TRANSFERENCIA DE SABERES PARA MEJORAR EL PROCESO ARTESANAL**

Los ajustes o cambios necesarios en el proceso de producción artesanal de piloncillo granulado con enfoque sostenible surgieron de procesos de transferencia de saberes entre los micro y pequeños productores de la zona de incidencia y el equipo de trabajado integrado por profesores y estudiantes de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y la Universidad Autónoma Metropolitana.

### **4.1. Ventajas del proceso de transferencia de saberes**

En el marco del desarrollo del paquete tecnológico, la transferencia de saberes es invaluable por las siguientes razones.

- **Valoración y respeto de las tradiciones locales y la experiencia de los productores.**

Los micro y pequeños productores tienen un amplio y valioso conocimiento de los métodos tradicionales de producción de piloncillo que se ha perfeccionado de generación en generación. Estos saberes son un patrimonio cultural y parte integral de la identidad de las comunidades de los pueblos originarios. La integración de estos conocimientos en el ajuste o los cambios propuestos asegura que el proceso artesanal se mantenga auténtico y respetuoso con las tradiciones locales, lo cual es también fundamental para la aceptación y el éxito del producto en el mercado.

- **Adaptación de tecnologías a la realidad local:**

El intercambio de saberes con los productores permite que los académicos comprendan mejor las condiciones particulares en las que los productores trabajan, así como el tipo de materia prima disponible, las condiciones climáticas, las prácticas locales, las limitaciones de recursos y servicios y las necesidades específicas del proceso o producto. Este conocimiento y experiencia es imprescindible para adaptar las soluciones tecnológicas propuestas a la realidad de los productores y de su entorno, evitando enfoques que sean ineficaces, costosos o inviables para ellos. También se reduce el tiempo y los recursos para que los académicos diseñen soluciones pertinentes y que cumplan con las necesidades y capacidades locales, lo que incrementa la viabilidad y la sostenibilidad de las mejoras tecnológicas.

- **Innovación con base en la práctica:**

Los académicos pueden aportar nuevas ideas, metodologías y tecnologías basadas en ciencia y tecnología para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad del proceso de producción de piloncillo artesanal. Sin embargo, estas innovaciones deben ser validadas y adaptadas al contexto práctico de los productores. Los productores, con su experiencia práctica, pueden ofrecer retroalimentación clave para afinar o modificar las propuestas académicas, asegurando que las innovaciones sean realmente útiles y eficaces. Este intercambio permite una retroalimentación constante, que genera una innovación que respeta las tradiciones y mejora los procesos.

- **Desarrollo de soluciones sostenibles:**

La sostenibilidad es el eje rector en desarrollo del paquete y el concepto puede ser un reto inicial para los productores. Sin embargo, los productores tienen un conocimiento intuitivo sobre las prácticas sostenibles que han desarrollado en su proceso a lo largo del tiempo, lo que requieren entonces es la información y/o los recursos para optimizar estas prácticas. De esta forma se facilita un enfoque común de productores y académicos para, por ejemplo, introducir tecnologías “limpias”, como el uso de energías renovables o la gestión eficiente de residuos, ayudando a que los productores utilicen sus recursos de manera más eficiente y con menor impacto ambiental.

- **Empoderamiento de la comunidad**

La transferencia de saberes permite compartir experiencias y desafíos e induce la adopción de conocimientos y tecnologías en los dos extremos de la cadena de comunicación. El beneficio de este proceso para el sector académico es que se favorece una enseñanza más rica y contextualizada para los estudiantes participantes, Para las comunidades, este proceso empodera a los productores, dándoles la confianza para implementar cambios y adoptar nuevas prácticas de forma independiente. Además, el contacto directo con académicos y estudiantes puede aumentar la visibilidad de su trabajo y de sus productos en mercados más amplios, al participar en los eventos académicos disciplinares.

- **Mejora de la competitividad en mercados más grandes:**

Los resultados de la transferencia de saberes generan la oportunidad de innovar en los procesos y mejorar la calidad de los productos. Esto permite a los productores en competir en

condiciones preferenciales en mercados más grandes, no solo en términos de precio, sino también en términos de calidad y sostenibilidad. Los académicos pueden ayudar a los productores, por ejemplo, a cumplir con estándares de calidad más altos o a que se organicen en una figura legal, aspectos que son indispensables para la comercialización de los productos artesanales en mercados nacionales e internacionales.

### **Colofón**

De acuerdo con lo anterior, la sinergia de las experiencias de los productores con el enfoque científico de los académicos puede facilitar la creación de procesos más sostenibles, tanto desde el punto de vista económico como ecológico.

En el desarrollo de este paquete, los productores participantes fueron miembros de diversas comunidades piloncilleras Tének alrededor del municipio de Tanlajás, en la Huasteca Potosina. Solidariamente, más de una decena de productores compartió sus experiencias, vivencias y tradiciones en la elaboración artesanal de piloncillo y abrieron sus trapiches para explicar sus procesos de forma práctica.

## **4.2. Actividades de ciencia y tecnología para la optimización de procesos.**

La propuesta para el desarrollo de prototipos y paquetes tecnológicos implica diversas actividades de ciencia y tecnología, son imprescindibles para validar las propuestas de solución y asegurar que las mismas contribuyen efectivamente a la producción sostenible de piloncillo artesanal, en un enfoque basado en la conjunción de la experiencia y el conocimiento técnico y que, además, promueve el desarrollo e integración de elementos diferenciadores con respecto a otros procesos, productos o servicios establecidos. En este escenarios, las actividades de ciencia y tecnología favorecen, entre otros, los siguientes aspectos:

- **Un mejor entendimiento y la optimización de los procesos del trapiche.**
- **La mejora de productividad y calidad de los productos artesanales del trapiche.**
- **El desarrollo de nuevos procesos, productos o servicios.**
- **La documentación que las mejoras propuestas contribuyen a la sostenibilidad.**

- **La validación de los elementos diferenciadores y la transferencia de conocimientos / tecnologías**
- **Identificación de nuevos mercados y de alternativas de comercialización.**
- **La organización en equipos de trabajo y en negocios/empresas de carácter social.**

El equipo académico de trabajo para el desarrollo de este paquete tuvo un perfil interdisciplinar y en el mismo participaron profesores y estudiantes de licenciatura y posgrado de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y de la Universidad Autónoma Metropolitana. Las acciones de ciencia y tecnología implicaron, entre otras, trabajo de laboratorio químicos y físicos, simulaciones de proceso en computadora, diferentes estrategias de trabajo en campo y el análisis integral de los resultados desde distintas perspectivas de sostenibilidad.

#### **4.3. Estrategia para la transferencia de saberes y desarrollo de propuestas**

Operativamente, la secuencia de integrar los elementos de la transferencia de saberes y las bases de ciencia y tecnología fue la siguiente:

- ***Definir los equipos de trabajo, en campo y en academia.***
- ***Entre ambos equipos, realizar un diagnóstico del proceso o producto a optimizar, identificando necesidades / oportunidades muy específicas.***
- ***Proponer los diseños, ajustes o modificaciones iniciales para el proceso o producto.***
- ***Validación de los diseños, ajustes o modificaciones en la academia a través de experimentos o simulaciones.***
- ***Validación de los diseños, ajustes o modificaciones en campo***

- *Identificación de áreas de oportunidad en las 5 dimensiones de la sostenibilidad: tecnológicas, energéticas, ambientales, económicas y sociales.*
- *Desarrollo de un proceso o producto mejorado a nivel académico*
- *Nueva validación del proceso o servicio en campo.*
- *De ser el caso, definir los detalles de la transferencia tecnológica.*
- *Dar seguimiento y hacer evaluaciones en campo.*
- *Gestión conjunta de recursos para la transferencia/escalamiento de la tecnología, o bien, para la operación en campo.*
- *Acoplar el desarrollo del proceso o producto al programa de emprendimiento social.*
- *Adaptar una réplica el producto o servicio en los espacios que faciliten los procesos de capacitación de productores o de divulgación entre niñas(os) y jóvenes.*

## 5. REVISIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS

### 5.1. Conversión de biomasa lignocelulósica residual

Actualmente, el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica integral (BLR) se logra mediante la instalación de una biorrefinería, que es un proceso que aprovecha de forma integral todas las fracciones, subproductos y residuos derivados, para producir energía eléctrica y calorífica, combustibles líquidos y sustancias químicas de alto valor agregado. Desde una perspectiva de sostenibilidad, los beneficios de las biorrefinerías incluyen (Routray et al., 2017):

#### a) **Económicos**

- Proporciona valor agregado a la BLR, en beneficio de las unidades productivas
- Es altamente rentable si los residuos se valorizan en productos de interés en el mercado.
- Ayuda a crear fuentes de empleo asociados a la recolección, pretratamiento y conversión de la BLR.

#### b) **Medioambientales**

- Disminuye la dependencia de las materias primas fósiles.
- No incrementa el balance de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

#### c) **Sociales**

- Puede fortalecer la economía de las unidades productivas rurales mediante la generación de empleos, la diversificación de los productos artesanales del trapiche.
- Puede mejorar los servicios e infraestructuras de las unidades productivas y las viviendas rurales.

• La BLR se convertirá en diferentes productos de interés a través de procesos de termoquímicos, químicos y/o bioquímicos. De particular interés en este paquete son los tratamientos termoquímicos, en los cuales ocurre una serie de reacciones químicas a alta temperatura, con el objetivo de descomponer la biomasa y generar energía u otros productos químicos. Entre los tratamientos termoquímicos, la pirólisis es una de las tecnologías con mayor potencial de ser escalada y comercializada.

## 5.2. Pirólisis de biomasa residual

La pirólisis consiste en el tratamiento térmico de la biomasa residual entre 300 y 550 C, en atmósfera inerte (como N<sub>2</sub> o He) y a velocidades variables de calentamiento. Cuando la pirólisis ocurre a bajas velocidades de calentamiento (2 - 7 C/min) y tiempos de residencia largos, la temperatura requerida para descomponer la biomasa residual es de 300 - 400 C, y genera tres tipos de productos:

- un sólido, conocido como biochar,
- un líquido, conocido como bioaceite,
- un gas, conocido como gas de síntesis.

La pirólisis lenta rinde de 30 -35 % en peso de biochar, en función de las condiciones de operación y del tipo de reactor. Es importante indicar que la pirólisis de biomasa residual reduce la acumulación de desechos agrícolas alrededor de las unidades productivas y/o de las viviendas, como el bagazo de caña o el otate, reduciendo su impacto ambiental, así como el riesgo de incendios en los lugares donde se acumulan los residuo. En el campo, se puede usar biomasa residual, para producir biochar en lotes de 80-100 kg.

La pirólisis de la biomasa residual ofrece múltiples impactos y beneficios ambientales, económicos y energéticos, entre ellas:

- **Sostenibilidad Ambiental:**

Reduce los residuos agrícolas y las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

- **Sostenibilidad Agrícola:**

El biochar producido mejora la calidad del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes.

- **Desarrollo Económico:**

La implementación de proyectos de pirólisis crea oportunidades de empleo y desarrollo económico en las comunidades rurales, proporcionando nuevas fuentes de ingresos a través de la venta de biochar y biocombustibles.

## 5.3. Materias primas para la producción de biochar

En la zona de incidencia, la biomasa residual disponible incluye el bagazo de caña generada en la molienda de la caña de azúcar y el otate, una variedad de bambú, que se encuentre en la rivera de los ríos.

### 5.3.1. Bagazo de caña

El bagazo de caña de azúcar es el principal residuo generado en la molienda de la caña en las unidades productivas de piloncillo de las comunidades Tének de la Huasteca Potosina. El bagazo es de color amarillo claro a marrón, dependiendo de su frescura y exposición al ambiente. La textura es fibrosa y rugosa, con fibras de diferentes longitudes. Tiene un contenido de humedad con un rango típico: 45-55% de humedad después del proceso de molienda y puede variar según las condiciones del procesamiento. El bagazo de caña es de composición fibrosa, contiene fibras largas y duras, ideales para aplicaciones como papel o materiales de construcción. El bagazo de caña tiene una densidad aparente es baja (0.15–0.20 g/cm<sup>3</sup>), lo que lo hace voluminoso y se debe comprimir para facilitar su transporte y almacenamiento. Químicamente, el bagazo es un material fibroso compuesto principalmente de celulosa (40-50%), hemicelulosa (20-30%) y lignina (20-30%) y fracciones menores de otros compuestos inorgánicos (1-5%). Varios productos de la valorización del bagazo, como bioetanol, bioplásticos, nanocelulosa, ácidos orgánicos (láctico, acético y cítrico), enzimas, antioxidantes y bioactivos, tienen altos precios de venta de mercado.

### 5.3.2. Bambú

Los bambúes se clasifican en la subfamilia *Bambusoideae*, en la familia de las gramíneas *Poaceae*. Hay 1642 especies de bambú que ocupan una amplia gama de entornos en todo el mundo, principalmente en ecosistemas tropicales a templados cálidos. Aunque México tiene un gran potencial para la producción de bambú debido a su diversidad climática, su producción es relativamente limitada. No existen cifras oficiales actualizadas en el país, pero las estimaciones sugieren que la producción anual de bambú supera las 5,000 ton. En la Huasteca Potosina se estima que la extensión de plantaciones comerciales es de 44 ha. El bambú tiene una composición química que varía según la especie, la edad, y las condiciones de crecimiento, pero en general, contiene los siguientes componentes principales: celulosa (40-50%), hemicelulosa (20-25%), lignina (20-30%), extraíbles (2-5%), cenizas (1-5%), residuos inorgánicos (óxidos de silicatos, calcio y potasio), proteínas y otros compuestos orgánicos (<1%). La alta proporción de celulosa y hemicelulosa hace al bambú se apto para fabricar papel, bioplásticos y textiles. Por otra parte, su contenido de lignina le permite ser utilizado como material de construcción y para la producción de carbón vegetal o biochar.

### 5.3.3. Otates

En la región de la Huasteca Potosina, los bambúes nativos e introducidos proporcionan tres servicios ecosistémicos y cinco usos. A la fecha solo se utilizan tres de las siete especies de bambú nativo, destacando *Guadua velutina*, presente en todas las zonas de la Huasteca Potosina. Su nombre común es “otate” (español) que es un nahuatlismo que significa “caña sólida”. Las comunidades Tének lo conocen como “*tzajib*” y son quienes más utilizan esta especie. Por el abundante y fuerte sistema radical del otate su crecimiento se favorece a las riberas de los ríos; con ello se evita que se erosionen y previene que se deslaven. Entre sus aplicaciones destaca la construcción de viviendas tradicionales con la técnica de “bahareque” o “enjarre”, la cual consiste en entretejer los culmos y recubrirlos con barro o lodo. El otate también se utiliza para construir corrales, galeras y cercos. Como material de construcción, el culmo se debe cortar en la temporada de lluvias moderadas y se debe realizar al amanecer, cuando la luna esta “a sazón” (cuarto menguante). El culmo de *G. velutina* es robusto y casi sólido, lo que le confiere mucha resistencia y es comercializado como material en zonas urbanas para construir desde palapas a casas-habitación. Notoriamente, a nivel rural existe una significativa cantidad de otate que no se usa, de forma que progresivamente se seca y se descompone en campo. Este materia lignocelulósica tiene amplio potencial para ser valorizada en biochar.

## 5.4. Pirolizadores

El pirolizador es el reactor en donde la biomasa lignocelulósica se descompone térmicamente en presencia de una atmosfera inerte para producir biochar, bioaceite y gas de síntesis. Como ya se refirió, la pirólisis de biomasa depende en gran medida de las características de la materia prima y de las condiciones de la pirólisis: temperatura y tiempo de reacción. Por esta razón, independientemente del tipo de pirolizador utilizado se debe evaluar siempre el efecto de la temperatura y tiempo de reacción en la cantidad y características del biochar producido que, a su vez, condicionan las aplicaciones de este.

### 5.4.1. Pirolizadores de campo

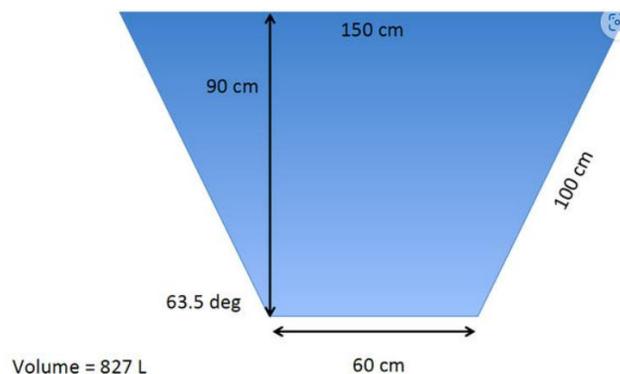
En el campo, la pirólisis de biomasa ocurre en “hornos” de diferentes geometrías y tamaños, entre las que se distinguen las siguientes:

- Horno tipo Kon-Tiki
- Hornos de Tiro Superior Encendido / Hornos de Retorta (International Biochar Initiative, 2024).
- Hornos de Tambor de Oregón (Esri. 2024).

- Hornos de Foso (International Biochar Initiative, 2024).

Por su relevancia para el paquete tecnológico se describe de forma sintética el horno del tipo Kon-Tiki.

Los hornos artesanales Kon-Tiki consisten en una abertura cónica de metal, o hecha en el suelo (forma de “zanja”) con un diámetro superior de 1.5 m, altura de 0.90 m y una inclinación de las paredes de 63° (figura 1). El principio de funcionamiento consiste en utilizar los gases de pirólisis de la capa superior como gas de cobertura; de esta forma, el fuego crea la exclusión de aire para la pirólisis de la biomasa de las capas inferiores. El horno Kon-Tiki funciona a la vez como secador de materia prima y pirolizador porque se puede agregar biomasa fresca cuando el lecho de brasas aumenta la temperatura hasta 700 °C.



**Figura 1. Esquema de las especificaciones de diseño del Horno Kon-Tiki**

#### 5.4.2. Desafíos de la pirólisis en campo

El principal reto de la pirólisis de biomasa residual en campo es el alto desperdicio de energía (o baja eficiencia energética). La pirólisis es un proceso que requiere una cantidad significativa de energía para alcanzar la temperatura para descomponer la biomasa y convertirla en biochar (300-700°C). La eficiencia energética del proceso es función del tipo y características de la biomasa utilizada y de las condiciones del pirolizador. En el proceso de pirólisis descrito, una parte importante de la energía se pierde como calor residual. En general, los sistemas de pirólisis más simples o de menor escala pueden tener mayores pérdidas de energía en comparación con los sistemas avanzados que incorporan modernos mecanismos de recuperación de calor. En las comunidades rurales, la producción a pequeña escala puede enfrentar desafíos de baja eficiencia energética debido a la falta de infraestructura y tecnología

avanzada, lo que origina mayores costos operativos. Esta situación motiva proponer el uso de tecnologías de pirólisis más eficientes para reducir el desperdicio de energía, entre ellas:

- Uso de pirolizadores de lecho fluido o de tipo “rotary kiln”
- Integración de sistemas de recuperación de calor para reutilizar el calor residual
- Uso de los gases de pirólisis para generar energía adicional.

Una alternativa consiste en optimizar los parámetros operativos de la pirólisis, como la temperatura y el tiempo de residencia, para mejorar la eficiencia energética y reducir el desperdicio. Para este propósito se pueden realizar estudios en pirolizadores a nivel laboratorio y, posteriormente, transferir los aprendizajes y las tecnologías al campo.

#### **5.4.3. ¿Cómo validar el enfoque sostenible de la pirólisis?**

Con base en la información de la sección anterior, es de particular importancia validar que la pirólisis de bagazo de biomasa residual es un proceso que, en un contexto integral, contribuye a la sostenibilidad. Algunas de las alternativas se incluyen en la tabla 1.

### **5.5. Biochar**

El biochar es un sólido orgánico, formado principalmente por carbón, por lo cual también se le conoce como carbón vegetal. De forma general, el biochar es un material amorfo (es decir, no tiene una forma determinada), de color negro, que está constituido por partículas de diferentes tamaños, cuyas características depende del tipo de biomasa y de las condiciones de la pirólisis. La descomposición térmica de la biomasa residual origina que el material sea muy poroso, con un área superficial de 30 – 100 m<sup>2</sup>/g.

#### **5.5.1. Comparación del biochar de madera, otate y bagazo**

El biochar obtenido de la pirólisis de madera, otate o bagazo puede diferir en varias características importantes, incluyendo su composición química, estructura física y las propiedades de combustión, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 1. Validación de sostenibilidad del proceso de pirólisis

Proceso		Bagazo de caña de azúcar	Bambú / Otate
<b>Evaluación del Ciclo de Vida</b>	Análisis de Entradas y Salidas	Realizar un análisis de ciclo de vida para evaluar todas las entradas (materias primas, energía) y salidas (emisiones, residuos) del proceso de pirólisis.	
	Impacto Ambiental	Cuantificar los impactos ambientales, incluyendo emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de agua, generación de residuos sólidos, entre otros.	
<b>Análisis de Carbono</b>	Secuestro de Carbono	Se puede realizar un balance de carbono para rastrear la cantidad total de carbono que entra al sistema y cómo se distribuye entre los diferentes productos y emisiones durante la pirólisis. Evaluar la capacidad del biochar producido para secuestrar carbono en el suelo, contribuyendo a la mitigación del cambio climático	
	Emisiones Netas	Comparar las emisiones de gases de efecto invernadero del proceso de pirólisis con las de otros métodos de manejo de residuos, como la incineración o el vertido	
<b>Evaluación Económica</b>	Costos y Beneficios	Realizar un análisis económico para determinar la inversión inicial y el gasto corriente de operación del proceso y contrastarlo con los beneficios económicos de la venta de biochar, bio-aceite y otros subproductos.	
	Viabilidad Económica	Evaluar la viabilidad económica a largo plazo del proceso, considerando factores como la fluctuación de precios de materias primas y productos, y posibles subsidios o incentivos gubernamentales.	
<b>Impacto Social</b>	Creación de Empleo	Evaluar la capacidad del proceso para generar empleos.	
	Beneficios Comunitarios	Analizar cómo el proceso puede beneficiar a las comunidades locales: empoderamiento, capacidad de gestión, socialización de los temas en la sociedad	
<b>Análisis Comparativo</b>	Comparación con Alternativas	Comparar el proceso de pirólisis con otras tecnologías de gestión de residuos y producción de energía en términos de sostenibilidad.	
	Eficiencia Energética	Evaluar la eficiencia energética del proceso y compararla con otras tecnologías de conversión de biomasa	
<b>Certificaciones y Normativas</b>	Certificaciones	Obtener certificaciones de sostenibilidad de organismos reconocidos, como el Programa de Certificación de Biochar (Biochar Certification Program).	
	Cumplimiento Normativo	Asegurarse de que el proceso cumple con todas las normativas ambientales y de sostenibilidad vigentes.	

**Tabla 2. Comparación del carbón obtenido de la pirólisis de diferentes materias primas**

<b>Propiedad</b>	<b>Madera</b>	<b>Bambú / Otate</b>	<b>Bagazo</b>
<b>Contenido de Carbono:</b>	Alto contenido de carbono fijo: > 75 %.	Alto contenido de carbono fijo: 70-75%	Contenido de carbono más bajo debido a que tiene más materiales volátiles y cenizas.
<b>Contenido de Cenizas</b>	Bajo contenido de cenizas: < 5%.	Moderado contenido de cenizas: 5-10%,	Mayor contenido de cenizas: > 10 % debido a los componentes inorgánicos
<b>Porosidad y Superficie Específica</b>	Estructura porosa y alta área superficial específica.	Estructura porosa y alta área superficial específica-	Estructura porosa, pero de baja área superficial específica.
<b>Densidad</b>	Relativamente alta.	Menor que la del biochar de madera.	Más ligero y menos denso en comparación con biochar de madera y otate.
<b>Propiedades de Combustión</b>	Quemado más lenta y produce más calor. Ideal para cocina y calefacción.	Se quema de manera eficiente. Calor equivalente al de madera, aunque se quema más rápido.	Se quema rápidamente y puede generar menos calor (temperatura más baja).

### **5.5.2. Aplicaciones agrícolas y ambientales**

Las características del biochar hacen que tenga aplicaciones agrícolas muy interesantes, como aditivo orgánico que se mezcla con fertilizantes orgánicos para aumentar la fertilidad del suelo. De esta forma, el biochar mejora significativamente las propiedades físicas del suelo, mejora el pH y la capacidad de intercambio catiónico, aumentando la capacidad de retención de agua y nutrientes que resulta en un aumento en el rendimiento de los cultivos y en la reducción de costos de producción.

El biochar también tiene aplicaciones ambientales. Por ejemplo, se usa en la purificación de agua residuales usando sus propiedades adsorbentes para eliminar contaminantes. También se puede usar para la captura de carbono; al actuar como un sumidero de carbono ayuda a mitigar el cambio climático. Esto se puede aprovechar en mercados de créditos de carbono, generando ingresos adicionales para los productores que implementen biochar en sus prácticas agrícolas.

Además, la producción de biochar en comunidades rurales ofrece una serie de nuevas oportunidades para incrementar los ingresos económicos para los productores derivado de la producción y venta del biochar, a la par de promover la generación de empleos locales.

### **5.5.3. Una posible aplicación con gran mercado**

Por otra parte, el grupo de trabajo del proyecto PRONACES 321073 ha identificado la elevada demanda de sustratos comerciales diseñados para la producción de hortalizas en invernaderos. Estos aditivos deben proporcionar ventajas con respecto al uso de suelo, entre ellas: proporcionar anclaje y soporte para la planta, aumentar la disponibilidad de nutrientes para la planta, permitir el intercambio de gases entre las raíces y la atmosfera, hacer más eficiente el uso del agua y de fertilizantes. A este respecto, el grupo de trabajo validó el potencial agronómico del biochar para reemplazar parcialmente sustratos comerciales en la producción de jitomate en sistemas de agricultura protegida. Varios de estos sustratos son importados, por lo que tienen un sobre costo y en algunos casos hay un impacto ambiental en su producción. Por esta razón diversas empresas requieren sustratos para la producción de plántulas de especies vegetales como lechuga, chile, brócoli, acelga, espinaca, cebolla, betabel, entre otras. De esta forma, hay una clara oportunidad para desde el punto de vista técnico, ambiental y económico para usar biochar como reemplazo de sustratos agrícolas comerciales.

#### **5.5.4. Perspectiva de la producción de biochar en México**

Es importante hacer notar que la producción de biochar a partir de la pirólisis de biomasa residual está en crecimiento en México. Algunas de las empresas que se enfocan a la producción de biochar con aplicaciones agrícolas son: Biochar México, AgroBioEnergy, Cenics, Biochar Projects México, Sustainable Solutions. Hay también varias iniciativas en Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación Públicos que se enfocan en la optimización de tecnologías para la producción y aplicación del biochar; estos grupos son un espacio fértil para detonar iniciativas de emprendimiento con bases de ciencia y tecnología.



## 6. Biochar mejorado

Por sí mismo, el biochar no es un fertilizante o un mejorador de suelo. Por esta razón debe ser mejorado o enriquecido para optimizar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, con el fin de aumentar su eficiencia en aplicaciones específicas. El biochar se enriquece por la adición de:

- Fuentes de calcio, fósforo, potasio y/o nitrógeno, que proporcionan nutrientes.
- Minerales como zeolitas, óxidos metálicos, silicatos.
- Compuestos orgánicos: ácidos húmicos y fúlvicos.
- Microorganismos, bacterias, hongos, compostas, humus que ayudan a descomponer materia orgánica, fijar nitrógeno y mejorar la disponibilidad de nutrientes.

Estos y otros aditivos le permitan al biochar tener los recursos necesarios para el crecimiento de las plantas. De esta forma, el uso de biochar mejorado contribuye a reducir la dependencia de fertilizantes químicos y su producción puede ser económicamente viable.

### 6.1. Supermagro y biochar: potencial aditivo

Entre los aditivos que se pueden agregar para enriquecer al biochar, es el Supermagro. El Supermagro es un biofertilizante orgánico líquido producido mediante la fermentación de materiales naturales como estiércol de animal, melaza, minerales, y microorganismos benéficos. Este fertilizante es ampliamente utilizado en la agricultura ecológica debido a su capacidad para nutrir las plantas, mejorar la salud del suelo, y fortalecer el sistema inmunológico vegetal, ayudando a reducir el uso de agroquímicos. El proceso de elaboración del Supermagro involucra microorganismos beneficiosos que facilitan la descomposición de los ingredientes orgánicos:

1. **Levaduras** (*Saccharomyces cerevisiae*):
  - Descomponen los azúcares de la melaza y generan compuestos que enriquecen la solución con vitaminas y otros metabolitos secundarios.
2. **Bacterias ácido-lácticas** (*Lactobacillus spp.*):
  - Acidificar el medio, para conservación del fertilizante y la disponibilidad de micronutrientes.
3. **Bacterias fijadoras de nitrógeno** (*Azotobacter spp.* o *Rhizobium spp.*):
  - Aumentan la disponibilidad de nitrógeno para las plantas al fijarlo del aire.
4. **Actinobacterias** (*Streptomyces spp.*):
  - Mejoran la calidad del biofertilizante al descomponer compuestos orgánicos complejos.
5. **Hongos benéficos** (*Trichoderma spp.*):

- Protegen las plantas contra enfermedades del suelo y contribuir a la solubilización de fósforo.

## **6.2. Producción de biochar mejorado en campo**

En una primera etapa, el biochar se produce en un horno Tipo Zanja. Este horno consiste en una abertura o zanja en la tierra, en forma de cono, con dimensiones de 1.5 m. de diámetro y 1 m de altura y una inclinación de 63°. Por otra parte, la biomasa más comúnmente utilizada son residuos forestales, bambú, y otros residuos lignocelulósicos como el otate o el bagazo de caña. La biomasa residual se corta en ramas de 60-70 cm de largo y de 5-7 cm de diámetro. Las ramas se colocan ramas cruzadas, gruesas y finas al fondo del cono. Después de tener un cuarto del cono cubierto se encienden la biomasa. La combustión de la biomasa con el oxígeno descompone la estructura de la biomasa; antes de que ocurra la combustión total, se coloca una nueva capa de biomasa en el horno, que progresivamente agota el oxígeno y acota el frente de la combustión. Este proceso se repite subsecuente hasta completar el espacio disponible en el horno. Antes de concluir el quemado de las ramas, se aplica agua con una manguera y el sistema se mantiene en esa condición por 24 h. Después, se extrae el biochar y se esparce para secarlo durante 72 h. Luego se procede a la trituración del biochar para darle el tamaño deseado. En una etapa siguiente, dependiendo si el nutriente es líquido o sólido, el biochar se embebe con nutrientes durante 24 h, o bien, se hace una mezcla 1:4 bichar-composta, humus, bokashi, o algún otro producto que se necesite. Una vez preparado el biochar mejorado, se puede añadir en campo a razón de 6 a 10 t/ha/año, en función de las características del suelo.

## **6.3. Perspectiva de biochar mejorado en México**

A la fecha, en México, el posible mercado de un biochar mejorado con microorganismos es extenso. El precio de venta del biochar mejorado depende, entre otros factores de su composición, aplicación funcional, calidad, escala de producción y mercado objetivo. En Estado Unidos, el rango de precio de un biochar estándar (sin microorganismos) es de USD 400-500 ton. En México, en Mercado Libre, el precio de venta varía ampliamente, desde \$50/kg hasta \$550/kg.

## **6.4. Colofón**

Desde un enfoque sostenible, el biochar mejorado con minerales y microorganismos es la opción más pertinente para mejorar la eficiencia del biocarbón en aplicaciones agrícolas, aunque el costo de producción es más alto. El biochar mejorado representa una alternativa viable para

que los productores diversifiquen su cartera de productos artesanales y, usando enfoques de emprendimiento social, promuevan una mejora en la economía de las unidades productivas y en el bienestar social de las comunidades.



## 7. PRODUCCION ARTESANAL DE BIOCHAR PARA APLICACIONES AGRICOLAS.

Las acciones para llevar a cabo la producción de biochar para aplicaciones agrícolas incluye las siguientes secciones principales.

- **Previo al proceso de producción**
  - *Unidad productiva*
    - Espacios y Servicios
    - Equipos y Utensilios necesarios
    - Equipo de Medición deseable
    - Ecotecnologías deseables
  - *Higiene y Seguridad*
  - *Materia Prima*
  - *Horno de pirólisis*
- **Proceso de producción**
  - *Recepción de los otates / bagazo*
  - *Acondicionamiento de los otates*
  - *Revisión del Horno*
  - *Carga de otates*
  - *Combustión por capas*
  - *Apagado del horno*
  - *Descarga del horno*
  - *Molienda del biochar*
  - *Mezclado con el supermagro*
  - *Digestión del biochar enriquecido*
- **Posterior al proceso de producción**
  - *Almacenaje*
  - *Empacado*
  - *Comercialización*

### 7.1. Previo al proceso de producción

En la tabla 3 se incluye la lista de los espacios, acciones e insumos requeridas previas al proceso de producción del biochar.

Tabla 3. Proceso de producción sostenible de piloncillo artesanal

Elemento	Revisión previa al proceso de producción
<b>Unidad productiva (Trapiche): ESPACIOS Y SERVICIOS</b>	<b>Agua</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Captar el agua de lluvia en un tinaco de almacenamiento localizado en una parte alta del trapiche.</li> <li>• Conectar un tinaco de agua desde el depósito comunitario al trapiche y llenarlo al tanque de almacenamiento.</li> <li>• Acarrear el agua en botes desde un pozo cercano al trapiche.</li> </ul>
	<b>Luz</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar paneles fotovoltaicos para iluminación, carga de teléfonos, radio y / o ventiladores.</li> <li>• Usar lámparas recargables y baterías solares.</li> <li>• Usar generador eléctrico a gasolina.</li> </ul>
	<b>Residuos (basura)</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar contenedores en el trapiche para la disposición de basura y reciclaje.</li> </ul>
<b>Unidad productiva (Trapiche): EQUIPOS Y UTENSILIOS NECESARIOS</b>	<b>Infraestructura</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Techo: lámina o paja.</li> <li>• Pisos: concreto, tierra firme o piedras.</li> <li>• Cercado: malla, bambú u otates, y puertas.</li> <li>• Baño: letrina o baño seco.</li> <li>• Espacio para secado de otates / bagazo.</li> <li>• Espacio para mezclado de biochar con supermagro</li> <li>• Espacio para guardar las herramientas, los instrumentos y los accesorios.</li> <li>• Señalética para el trapiche.</li> </ul>
	<b>Equipos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horno de pirólisis: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Debajo del suelo o sobre el suelo.</li> <li>○ Tipo pila <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Medida sugerida: 1.5 X 1.2 X 2 m</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Mesa de acero inoxidable para procesar producto terminado <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Medida sugerida: 0.9 X 0.8 X 2 m.</li> </ul> </li> <li>• Caja de herramientas básica: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cinta métrica, juego de pinzas, juego de desarmadores, perica, juego de llaves Allen, martillo, cuchilla, llave combinada</li> </ul> </li> <li>• Otros insumos: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gasolina, aceite “afloja todo”, grasa, aceite para motor.</li> </ul> </li> </ul>	
<b>Mobiliario</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 tarja para el lavado personal y/o de utensilios.</li> <li>• 2 mesas plegables de plástico o madera de 1.8 m</li> <li>• Estantes de plástico, metal o madera para almacenar utensilios.</li> </ul>	

<b>Unidad productiva (Trapiche): EQUIPO DE MEDICIÓN DESEABLE</b>	<b>Equipos de medición (Deseable)</b>
	<p>Solicitar información a la UASLP y / o UAM-I.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Linterna recargable de leds.</li> <li>• Báscula recargable de plataforma de 100 kg.</li> <li>• Medidor recargable de humedad o higrómetro.</li> <li>• Termopar tipo K de -50 a 1200°C de 50 cm de longitud y pantalla de registro de temperatura</li> <li>• Termómetro infrarrojo de pilas, rango de -50-1800°C.</li> </ul>
<b>Unidad productiva (Trapiche): ECO-TECNOLOGIA DESEABLE</b>	<b>Ecotecnologías (Deseables)</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Bici-bomba conectado al tanque de agua de almacenamiento.</li> <li>• 1 Panel fotovoltaico que suministra energía a lámparas, radios, ventiladores solares.</li> <li>• Uso de una fracción del otate como combustible.</li> </ul>

<b>SEGURIDAD E HIGIENE</b>	<b>Del personal</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Productores y ayudantes: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Delantal personal.</li> <li>○ Mascarilla o cubrebocas para polvos personal.</li> <li>○ Lentes de protección personal.</li> <li>○ Botas antiderrapantes.</li> </ul> </li> </ul>
	<b>Higiene en el trapiche</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar diariamente la unidad.</li> <li>• Uso de delantal personal.</li> <li>• Lavado continuo de manos.</li> </ul>
	<b>Seguridad en el trapiche</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delimitar las áreas en el trapiche.</li> <li>• Colocar señalética en el trapiche.</li> <li>• Tener presente un plan de emergencia: acciones y contactos.</li> <li>• Unidad Productiva: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Extintor polvo químico seco, combate 06-14 (para incendios de madera, plástico, líquidos y eléctricos).</li> <li>○ Extintor de bióxido de carbono, combate 06-14 (para líquidos inflamable en áreas de almacenamiento de gasolina o pintura).</li> </ul> </li> </ul>	

<b>Materia Prima OTATES</b>	<b>Recolección de los otates</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar el banco de otates</li> <li>• Realizar el corte en condiciones secas y soleadas, preferentemente.</li> <li>• Recolectar alrededor de 200 – 300 kg de otate para cada lote.</li> <li>• Registrar las cantidades otates recolectadas en una bitácora.</li> </ul>
	<b>Traslado o acarreo de otates</b>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar la limpieza del camino al trapiche.</li> <li>• Trasladar los otates al trapiche: camioneta de carga, moto, animal de carga o acarreo en carretilla por productores.</li> </ul>
--	--

	<b>Horno</b>
<b>Energía usada en el Horno de Pirólisis</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recomendable: Diseñar el pirolizador de acuerdo con la carga del lote a procesar.               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Solicitar información con la UASLP y / o UAM-I.</li> </ul> </li> <li>• Despejar el área alrededor del horno para evitar riesgos de incendios.</li> <li>• Utilizar otate seco con una humedad menor al 10%               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Usar un medidor de humedad recargable</li> </ul> </li> <li>• Tener disponible una carga de 30 kg de otate por cada lote</li> </ul>

<b>Personal de producción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considerar el apoyo de ayudantes para incrementar producción</li> <li>• No promover en la unidad productiva la presencia de niños que no estén vigilados por adultos.</li> </ul>
-------------------------------	---

## 7.2. Procedimiento experimental

La metodología propuesta se basa en la implementación de un proceso eficiente y replicable para la producción de biochar en campo, utilizando recursos locales y tecnologías accesibles. Cada etapa del procedimiento está diseñada para maximizar la eficiencia del proceso y garantizar la calidad del biochar, al tiempo que se minimizan los riesgos para el medio ambiente y la seguridad de los productores. La metodología propuesta se divide en diversas fases.

### **Fase 1: Preparación del Campo de Trabajo:**

- Seleccionar un área segura y bien ventilada para llevar a cabo la pirólisis.
- Reunir materiales y equipos, incluyendo una paila metálica de capacidad adecuada, otate seco, encendedores, y herramientas de seguridad (guantes, máscaras, extintores).
- Cortar y secar el otate durante al menos 15 días para garantizar una baja humedad.
- Cortar el otate en segmentos manejables (20-50 cm).

### **Fase 2. Diseño y Configuración de la Paila:**

- Modificar la paila para incluir orificios en la base para permitir la entrada controlada de aire.
- Colocar la paila en una estructura de soporte segura, asegurándose de que esté nivelada.



Figura 2. Recolección de otates en Trapiche La Vega

***Fase 3: Proceso de Pirólisis:***

- Llenar la paila con el otate preparado.
- Encender el material de manera controlada y monitorear el flujo de aire para mantener la combustión incompleta.
- Registrar la temperatura utilizando un termómetro infrarrojo, asegurándose de mantenerla entre 300-500 °C.
- Esperar a que el proceso termine, lo que generalmente toma entre 2-4 horas, dependiendo de la cantidad de material.
- Enfriar el biochar resultante cubriéndolo con tierra o agua para evitar la oxidación.

La descripción del proceso se especifica de manera resumida en la Tabla 3.

Tabla 4. Recolección de otates en Trapiche La Vega

Descripción	Imagen
<p>a) Colocar una capa de bagazo.</p> <p>b)</p> <p>c) Colocar troncos de otates encontrados para que sirvan de cama y el otate no esté directo sobre el bagazo.</p>	
<p>d) Se pesa una primera capa de otates; para las dimensiones en campo, la primera capa consiste de 6-8 otates.</p>	
<p>e) Iniciar con la combustión (quema) del bagazo de la primera capa.</p>	

<p><b>f) Anadir la primera capa de otates.</b></p> <p><b>g) Inducir la combustión de la primera capa de otates</b></p>	
<p><b>h) Cuando el otate genera brasa, colocar una segunda capa de otates sobre la primera.</b></p> <p><b>i) Induce la combustión de la segunda capa y, a la par, se apaga la combustión de la primera capa.</b></p>	
<p><b>j) Repetir este procedimiento varias veces, de forma que:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Se mantiene siempre la combustión en la capa superior de otates.</li><li>• Las capas inferiores de otate no se quedan directamente, pero están expuestas a las altas temperaturas del horno.</li></ul>	
<p><b>k) Ajustar los tamaños de los otates para llenar progresivamente todos los espacios (huecos) del horno.</b></p>	
<p><b>l) Repetir la secuencia indica varias veces.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Típicamente se hace de 15 a 20 veces, en un tiempo de 180 minutos.</li></ul>	

<p>m) El proceso de desarrolla hasta que la última de capa de otates en combustión, queda al ras del suelo.</p> <p>n) En este punto, hay una gran cantidad de energía acumulada en el horno y hay muy poco oxígeno; los huecos están ocupados por nitrógeno (inerte).</p>	
<p>o) Para detener el proceso de combustión, apagar la flama agregado agua a la capa superior de otates.</p>	
<p>p) Rápidamente, cerrar el horno colocando una lámina sobre la última capa de otates para reducir la posible entrada de oxígeno al horno.</p>	 

<p>q) Sellar la entrada del horno con tierra en las juntas de la lámina con el suelo. De esta forma, agota cualquier residuo de oxígeno en el horno.</p>	
<p>r) La descomposición térmica de los otates en una atmosfera inerte (sin oxígeno) ocurre durante 24 h. Este es el tiempo de pirólisis.</p>	
<p>s) Retirar la tierra y la lámina para abrir el horno y sacar el producto de la pirólisis: biochar.</p>	
<p>t) Extraer el biochar formado. u) Se dividieron los otates semi carbonizados que quedan en las dos capas superiores de los totalmente carbonizados de las capas inferiores.</p>	

<p><b>v) Pesar el biochar obtenido.</b></p>	
<p><b>w) Apariencia del producto final: Biochar.</b></p>	

### 7.3. Resultados

Al finalizar el proceso de pirólisis, se calcula que se tiene un rendimiento del 24.67%, que indica la eficiencia del proceso de pirólisis con relación a la cantidad de materia prima utilizada inicialmente. Este porcentaje refleja cuánto material sólido (biochar) se obtuvo en comparación con la materia prima procesada. Se evidencia una variación en la cantidad de biochar producido por lote, posiblemente relacionada con factores como la densidad del material, la uniformidad del proceso de pirólisis o las diferencias en la capacidad de los contenedores utilizados. Estos datos son esenciales para evaluar la consistencia del proceso y para realizar ajustes futuros que optimicen el rendimiento. Se toman muestras para análisis en el laboratorio.

### 7.4. Enriquecimiento del biochar

Una vez producido el biochar, se implementa un proceso de enriquecimiento mediante la aplicación de supermagro, un biofertilizante líquido rico en nutrientes esenciales y microorganismos benéficos. Este proceso tiene como objetivo potenciar las propiedades del biochar para mejorar su impacto en el suelo. Los pasos para el enriquecimiento es diluir el supermagro en agua en una proporción de 1:10 (supermagro: agua) y realizar la mezcla para garantizar una solución uniforme. Para la preparación se requieren los siguientes componentes:

1. Melaza o azúcar mascabado: 1 kg (fuente de energía para los microorganismos).
2. Suero de leche o yogur natural: 1 litro (aportan lactobacilos y otros microorganismos).

3. Estiércol fresco de vaca o gallina: 2 kg (fuente de microorganismos y nutrientes).
4. Minerales triturados (yeso, ceniza, roca fosfórica): 200 g de cada uno (aportan calcio, potasio y fósforo).
5. Restos vegetales frescos: 1-2 kg (como hojas verdes, pastos, leguminosas).
6. Agua sin cloro: 20 litros (base líquida).
7. Microorganismos benéficos opcionales: como bacterias EM (eficientes) si se tiene acceso.

Para la preparación se requiere:

1. Disolver la melaza o el azúcar mascabado: En 5 litros de agua, mezclar hasta que esté completamente disuelta.
2. Agregar el suero de leche o yogur: Incorporar para activar los microorganismos presentes.
3. Incorporar el estiércol: Mezclar bien, asegurándose de que no queden grumos.
4. Añadir los minerales: Mezclar cenizas, roca fosfórica y yeso a la solución.
5. Incluir los restos vegetales: Picar finamente las hojas y mezclarlas con los ingredientes anteriores.
6. Completar con agua: Llenar hasta completar los 20 litros y mezclar completamente.
7. Fermentación: Colocar la mezcla en un recipiente grande (preferiblemente plástico), cubrir con una tela para permitir la entrada de aire, pero evitar contaminantes. Dejar fermentar durante 10-15 días.
  - o Durante este periodo, revolver la mezcla diariamente para oxigenarla y acelerar el proceso de fermentación.
8. Los indicadores de que está listo es el olor debe ser suave y fermentado (no desagradable). La espuma y burbujeo disminuirán al final del proceso. El color será oscuro y uniforme.

## 7.5. Validación funcional

Las pruebas funcionales se realizan con el objetivo de determinar el efecto de la interacción sustrato-biochar en producción de hortalizas. De acuerdo a Leskovar (2001), el crecimiento de las plántulas se divide en cuatro etapas

- a) De siembra a emergencia.
- b) De emergencia a la expansión de los cotiledones.
- c) De la expansión de los cotiledones al desarrollo de hojas verdaderas.
- d) Del desarrollo de hojas verdaderas a madurez fisiológica.

Durante la etapa de crecimiento, es importante evaluar continuamente el crecimiento vegetativo y radicular de los siguientes parámetros morfológicos.

1. Altura de plántula:

Proporciona información de la calidad de la plántula, se identifica un tallo vigoroso, de una altura de 10 a 15 cm para la semana 5. Se considerada desde la base del tallo o cuello de la plántula hasta el ápice de esta.

2. Diámetro de tallo:

Determina las alteraciones que se producen en la orientación de los microtúbulos y, por tanto, en la ordenación espacial de las microfibrillas de celulosa en la pared celular, que bajo su efecto conduce a un cambio conformacional en la estructura de las láminas celulósicas por orientación de las microfibrillas en forma longitudinal, contribuyendo así al crecimiento radial de las células (Grichko et al., 2001). El diámetro del tallo se considera de la parte media entre los cotiledones y el cuello de la planta.

3. Longitud hojas verdaderas:

El desarrollo de las hojas verdades proporciona información acerca de la madurez fisiológica de la plántula. Se consideran verdaderas, las hojas expandidas que mostraron lámina, pecíolo, nudo, entrenudo y yema axilar.

4. Longitud de raíz:

Proporciona información sobre el crecimiento vegetativo y radicular, si esté se encuentra avanzado o retrasado con referencia a la fecha de germinación. La raíz se considerada desde la intersección entre el tallo y la raíz. A este respecto es necesario el seguimiento del crecimiento de las hortalizas a los 15, 30 y 45 días después de la siembra.

## 7.6. Retos por resolver

La implementación de la pirólisis en campo presenta diversos desafíos que deben abordarse para garantizar su éxito. Estos retos abarcan aspectos técnicos, logísticos y sociales que influyen en la eficiencia del proceso, la calidad del biochar producido y su impacto en el suelo y las comunidades involucrada:

1. Control de la Temperatura:

Mantener una temperatura constante en el rango óptimo (300-500 °C) es fundamental para garantizar la calidad del biochar. En campo, la falta de termómetros adecuados o variaciones ambientales pueden dificultar este control.

2. Eficiencia del Proceso:

Asegurar una combustión incompleta sin pérdidas significativas de material requiere un diseño adecuado de la paila y habilidades técnicas que podrían no estar disponibles en todas las comunidades.

3. Abastecimiento de Materia Prima:

Aunque el otate es abundante en algunas regiones, su recolección sostenible y preparación (como el secado adecuado) puede representar un desafío logístico.

4. Capacitación Comunitaria:

Capacitar a los agricultores en el uso correcto de la tecnología y el manejo de biochar es esencial, pero puede requerir tiempo y recursos adicionales.

5. Infraestructura Limitada:

Las condiciones en campo, como la falta de espacios adecuados o herramientas necesarias, pueden dificultar la implementación eficiente.

6. Evaluación y Monitoreo:

Implementar sistemas de monitoreo para evaluar el impacto del biochar en el suelo y los cultivos es clave, pero puede ser complejo sin acceso a análisis de laboratorio.

## **7.7. Colofón**

La implementación de la pirólisis en campo utilizando una paila y otate como materia prima es una estrategia viable, sostenible y de bajo costo para la producción de biochar. Esta tecnología puede contribuir significativamente a mejorar la calidad del suelo, fomentar la sostenibilidad en comunidades rurales y mitigar el cambio climático a través de la captura de carbono. El uso de biochar es una forma de evitar el desprendimiento de C a la atmósfera como gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación de problemas ambientales.



## 8. CALIDAD DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS

La calidad del biochar depende del tipo de materia prima y de las condiciones de operación de pirolizador y se puede determinar a partir de las caracterizaciones químicas, físicas, térmicas y funcionales, sean de carácter agrícola o ambiental. Estas caracterizaciones son también indispensables para conocer, entre otros aspectos el efecto de los parámetros de procesamiento en las propiedades finales del biochar y el potencial de los materias primas para proponer otras aplicaciones de interés para los micro productores rurales.

### 8.1. Análisis del biochar

Las estrategias de análisis del biochar más convenientes se indican a continuación.

#### 8.1.1. Propiedades físicas

Están relacionadas con su estructura, tamaño de partículas y densidad, lo cual es fundamental para su efectividad en aplicaciones agrícolas y ambientales.

- **Tamaño de Partículas (Granulometría):**

En este caso se puede utilizar un tamiz o cribado para clasificar el tamaño de las partículas del biochar. Se puede usar una serie de tamices con diferentes mallas para obtener la distribución de las partículas. La distribución de partículas oscila entre 0.1–2 mm.

- **Densidad Aparente:**

La densidad es importante para determinar la capacidad de retención de agua y nutrientes del biochar. La densidad aparente del biochar se mide mediante un método de peso por volumen. Esto implica pesar una muestra del biochar y luego medir su volumen, utilizando un recipiente de volumen conocido (como un cilindro graduado). La densidad aparente del biochar se encuentra entre 1.2 y 1.8 kg/cm<sup>3</sup> dependiendo del origen de la biomasa.

#### 8.1.2. Propiedades químicas

Estas propiedades del biochar afectan su capacidad para mejorar la calidad del suelo, como la fijación de nutrientes y la alcalinidad.

- **pH del Biochar:**

El pH del biochar es crucial porque influye en su capacidad de modificar la acidez del suelo. Para medir el pH, preparar una solución de agua destilada y biochar (proporción 1:10) y medir el pH con un potenciómetro o tiras reactivas. El pH característico del biochar es de carácter ácido y oscila entre 4.5 - 6.5.

- **Contenido de Carbono:**

El contenido de carbono total se puede estimar utilizando el método de combustión en horno o con un analizador elemental. El rango esperado del contenido de carbono se encuentra entre un 40 a 60%.

- **Contenido de Cenizas:**

Para medir el contenido de cenizas, simplemente se debe incinerar una muestra de biochar en un horno a temperaturas altas (aproximadamente 550 C) y pesar el residuo. Esto dará una estimación de la cantidad de material inorgánico restante en el biochar. El rango esperado del contenido de cenizas se encuentra entre un 1 a 5%.

### 8.1.3. Propiedades Térmicas

Son importantes para comprender la estabilidad y las características del biochar durante la aplicación o almacenamiento.

- **Punto de Ignición:**

El punto de ignición puede evaluarse mediante una prueba simple de encendido. Se coloca una muestra de biochar en un recipiente y se somete a calor controlado. Si el biochar enciende o emite humo a una temperatura baja, esto puede indicar una baja estabilidad térmica. Aunque este análisis es rudimentario, es una forma fácil de evaluar la calidad del biochar.

- **Capacidad Calorífica:**

El método más accesible sería realizar una prueba de combustión en pequeña escala. Esto puede hacerse midiendo la cantidad de energía liberada al quemar una muestra conocida de biochar en condiciones controladas.

### 8.1.4. Propiedades Agrícolas

Estas propiedades están directamente relacionadas con la efectividad del biochar como enmienda para suelos y su capacidad de mejorar las condiciones del terreno.

- **Capacidad de Retención de Agua (CRA):**

La CRA del biochar se puede medir simplemente al sumergir una muestra del material en agua durante un tiempo determinado y luego medir la cantidad de agua que absorbe. Un método sencillo es pesar el biochar seco, sumergirlo en agua y volver a pesarlo después de un tiempo para calcular la cantidad de agua absorbida.

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CEC):**

Este análisis mide la capacidad del biochar para retener nutrientes como calcio, magnesio y potasio, lo que es crucial para su uso agrícola. Este análisis se puede realizar con métodos de extracción de cationes usando soluciones de ácido y luego midiendo la concentración de los cationes extraídos mediante titulación.

### **8.1.5. Propiedades de Adsorción**

El biochar se utiliza con frecuencia para mejorar la calidad del agua, eliminar contaminantes y adsorber nutrientes, por lo que evaluar su capacidad de adsorción es fundamental.

- **Capacidad de Adsorción de Contaminantes:**

Una forma sencilla de evaluar la capacidad de adsorción del biochar es realizar una prueba de adsorción de metales pesados. Esto se puede hacer colocando una muestra del biochar en una solución que contenga los contaminantes a adsorber (como plomo, cadmio, etc.), y luego medir la reducción en la concentración del contaminante mediante un análisis de absorción atómica o pruebas cualitativas de color para ciertos contaminantes.

- **Índice de Adsorción de Ácido y Base:**

La capacidad de adsorción se puede medir utilizando soluciones de ácido y base. Se agrega el biochar a una solución ácida o básica y se mide el cambio en el pH o la concentración de los iones de la solución. Esto es útil para evaluar su capacidad de adsorber o liberar iones.

## **8.2. Análisis del biochar mejorado**

La producción artesanal de biochar mejorado se logra a partir de la adición de nutrientes, metales y microorganismos, o de aditivos como el supermagro. La evaluación del biochar mejorado y su potencial como sustrato agrícola es clave para asegurarse de que los aditivos no solo estén presentes, sino que sean efectivos y contribuyan a mejorar la calidad del suelo.

### **8.2.1. Propiedades Químicas**

- **Contenido de Nutrientes Esenciales**

La determinación del contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) es esencial para evaluar su efectividad como sustrato agrícola. Para este propósito se puede hacer un análisis simple de nutrientes utilizando kits de pruebas para medir los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en el biochar mejorado. Estos kits están disponibles comercialmente y son fáciles de usar en campo.

Por otra parte, si el biochar se ha mejorado con un aditivo como el supermagro, que es un fertilizante concentrado, se debe verificar que los nutrientes estén presentes en las proporciones esperadas, de acuerdo con la formulación del supermagro.

- **Contenido de Metales Pesados**

Es importante evaluar la posible presencia de metales pesados en el biochar. Estas pruebas se pueden hacer a manera cualitativa con kits de análisis de metales pesados (por ejemplo, plomo, cadmio, mercurio), que están disponibles para medir metales de manera sencilla.

### **8.2.2. Propiedades Microbiológicas**

Los microorganismos en el biochar mejorado juegan un papel crucial en la descomposición de materia orgánica, la fijación de nitrógeno y la mejora de la salud del suelo.

- **Conteo de Microorganismos**

Se debe evaluar la actividad microbiana en el biochar mejorado, especialmente si se han agregado microorganismos beneficiosos como bacterias fijadoras de nitrógeno o hongos micorrízicos. Para este propósito se puede usar un kit de cultivo microbiológico básico para contar las colonias bacterianas y fúngicas en una muestra de biochar. Esto permite observar si la cantidad de microorganismos es adecuada para la actividad biológica esperada. Alternativamente, se pueden realizar pruebas de cultivo en placa para identificar la presencia de ciertos microorganismos (como bacterias beneficiosas o patógenos).

- **Test de Actividad Microbiana**

Evaluar la actividad microbiana mediante un test simple de respiración microbiana, que mide la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado por los microorganismos durante la descomposición de la materia orgánica. Esto se puede hacer con un frasco cerrado que contenga una pequeña cantidad de biochar mejorado y observar el CO<sub>2</sub> producido. Si el biochar tiene una alta actividad microbiana, es probable que sea un buen sustrato para el suelo.

### **8.2.3. Pruebas de Efectividad Agrícola en el Suelo**

La prueba de campo es una de las estrategias más efectivas para evaluar el potencial agrícola del biochar mejorado, ya que permite observar el impacto directo sobre el crecimiento de las plantas.

- **Prueba de Crecimiento de Plantas**

En un área de cultivo controlado, aplicar el biochar mejorado y comparar el crecimiento de las plantas con un control sin biochar. Evaluar el rendimiento en términos de:

- Crecimiento de las raíces y tallos.
- Número de hojas y flores.
- Resistencia a enfermedades o plagas.
- Producción de frutos o semillas.

Esta es una prueba sencilla que se puede realizar en campo con cultivos locales. Se debe registrar el rendimiento de las plantas tratadas con biochar mejorado y compáralo con un grupo control sin biochar.

### **8.3. Datos de contacto para las caracterizaciones**

Para que un productor tenga los beneficios de las caracterizaciones referidas en la sección anterior, es conveniente que establezca una vinculación o un trabajo colaborativo con instituciones educativas que tengan las instalaciones, el equipo y el personal habilitado para realizar los análisis necesarios. Además, se reconoce la pertinencia que las instituciones tengan el compromiso y/o la responsabilidad social de contribuir al desarrollo de las unidades productiva rurales, para cerrar un círculo que permita detonar la productividad y calidad de procesos y productos artesanales en las unidades productivas piloncilleras.

El enfoque de vincularse con instituciones educativas es conveniente para reducir los costos implicados en los análisis en laboratorios comerciales certificados, que ofrecen este servicio en diferentes estados del país.

En el marco de este paquete tecnológico, los productores pueden recibir asesoría y apoyo de parte de:

Dr. Marco A. Sánchez Castillo / MC L. Fabiola Palomo González

Laboratorio de Biocatálisis

Facultad de Ciencias Químicas - UASLP

Manuel Nava 6, Z. Universitaria.

San Luis Potosí, Luis Potosí, S. L.P., 78210

Correo: [masanchez@uaslp.mx](mailto:masanchez@uaslp.mx), WhatsApp: 444-191-9952



## **9. FORMACIÓN TÉCNICA DE PRODUCTORES**

Las estrategias de capacitación de productores en la producción de biochar con enfoque sostenible también se desarrollaron en el proyecto PRONACES 321073. Inicialmente, las estrategias tenían un enfoque mayoritariamente académico que evolucionó al incorporar los resultados de los diagnósticos comunitarios proceso y en la medida que se optimizaron los procesos transferencia de saberes entre productores y académicos, que permitió un proceso de comunicación más directo, claro y continuo, propiciando realmente el intercambio de ideas productivas. En su etapa subsiguiente del proyecto PRONACES surgió un modelo interdisciplinar en el cual se establecieron elementos comunes para los procesos de capacitación técnica y social. De esta forma, el modelo permite difundir de forma más integral y eficiente los conceptos de:

- El proceso productivo caña de azúcar – piloncillo.
- Valorización de recursos naturales y residuos de las unidades productivas.
- Uso de ecotecnologías en las unidades productivas y viviendas.
- La sostenibilidad y el emprendimiento social vectores para el desarrollo económico y social.
- El desarrollo personal, familiar y comunitario para empoderar a los miembros de la comunidad.

El modelo de capacitación interdisciplinar tiene definidas una serie de premisas para establecer los modelos educativos más pertinentes para los procesos de capacitación, incluyendo enfoques pedagógicos, estrategias de enseñanza, incidencia y evaluación, así como los programas temáticos propios de la línea de acción que se atiende. Además, el modelo establece las alternativas para que estos planteamientos sean revisados y comentados por especialistas de organizaciones del sector público y privado con experiencia en procesos de capacitación rural. La implementación o ejecución de las acciones de capacitación de los productores en campo están sujetos a procesos de seguimiento y evaluación, que permitan dar retroalimentación a todos los actores del proceso: productores y capacitadores. La evaluación del impacto de los procesos de capacitación ha sido mayormente cualitativa, pero se deberá evolucionar a una evaluación más cuantitativa de la capacitación de los productores, la contar con espacios comunes y públicos, en los cuales los productores podrán mostrar su habilitación en los diferentes paquetes tecnológicos y su potencial para integrarse a una cadena de comercialización de sus productos artesanales en mercados alternativos al actual.

El modelo interdisciplinar se utilizó para para dos grandes áreas de capacitación de los productores en el marco del proyecto PRONACES:

- 1) Formación en los paquetes tecnológicos desarrollados.
- 2) Formación en emprendimiento social.

## **9.1. Formación de productores en el paquete tecnológico**

De forma operativa, entre las alternativas evaluadas, la opción preferente para el proceso de formación de productores en el paquete tecnológico son los talleres demostrativos en campo. En este caso, las actividades se realizan en grupos de 10 – 30 personas. El taller puede ser solamente teórico, pero es mejor teórico/práctico. Para ello se sugiere realizar el registro previo de los participantes, para conocer su perfil e intereses. El taller se inicia con la descripción de los definir los objetivos de las capacitación y de las actividades a realizar para conseguir la metas. Además, se realiza un sondeo sobre el conocimiento de los asistentes sobre el tema. Por lo general, se cuenta con un pizarrón, pantalla o rotafolio, para escribir/documentar las ideas que van surgiendo a lo largo del taller. De ser posible, el taller se acompaña de la proyección de imágenes y se proyectan videos de acciones de campo del grupo de trabajo o de información útil reportada en la literatura. Cuando el taller es teórico/práctico, el 20% del tiempo se usa para la revisión de conceptos y el resto para la diversas acciones prácticas. Por lo general, el tema se desarrolla por módulos. Al finalizar cada módulo, se recapitula el tema tratado y se acuerda grupalmente sobre las conclusiones o avances logrados.

En este caso los productores específicamente interesados en implementar el paquete tecnológico en sus trapiches, el taller incluye la demostración de conceptos, herramientas o prototipos incluidos en el paquete, que en la zona de incidencia se puede realizar de dos formas diferentes:

- En la unidad demostrativa del paquete, en este caso instalada en el Centro de Innovación para la Valorización Sostenible de Residuos y Energías Renovables” (CIVASORER), con sede en Tanlajás, S.L.P.
- En el trapiche del productor.

En estas dinámicas los elementos más distintivos incluyen:

- la revisión del entendimiento de protocolos,
- la definición de roles,
- la verificación de la disponibilidad de caña de azúcar y bagazo apropiados,

- la revisión del conocimiento y operación de equipos y accesorios,
- la verificación de los servicios necesarios,
- la revisión de los tiempos implicados,
- la ejecución práctica del protocolo,
- la discusión de las etapas del proceso,
- la toma de datos y registro en bitácoras,
- la discusión de los retos que surgen y de los resultados parciales,
- la propuesta y análisis de alternativas,
- la toma de decisiones,
- la evaluación de los parámetros de rendimiento,
- la apropiada gestión de los residuos generados
- la limpieza del espacio al finalizar la práctica.

En el caso del taller en la unidad demostrativa, se cuentan con los equipos, accesorios y servicios para el desarrollo de una práctica, de la cual se tienen ya resultados previos, que son útiles para contrastar la eficiencia de la práctica y la habilitación de los productores para replicar procesos y resultados, y para determinar el nivel de productividad y calidad alcanzados en condiciones estándar. En este caso, el mayor reto es el traslado del otate a la unidad demostrativa.

En el caso del taller en el trapiche del productor, se invita también a un número acotado de otros productores o personas de la comunidad. En esta alternativa se facilita el intercambio de experiencias con el productor anfitrión y sus invitados, quienes recibe una instrucción más personalizada, resolviendo sus dudas específicas y compartiéndoles sugerencias que les faciliten la optimización de su proceso. Esta alternativa genera más confianza al productor y es una opción que permite plantear pequeños retos al productor para evaluar su nivel de entendimiento y/o habilitación práctica.

## **9.2. Caso específico del PT3**

La capacitación al productor para la producción de biochar en sus unidades de producción implica una estrategia de aspectos técnicos, prácticos y de seguimiento. En la tabla se resume la estrategia propuesta para la capacitación de los productores, es de suma importancia considerar que el tema de pirolisis de biomasa es totalmente nuevo para muchos de los asistentes, por lo

que incluir elementos didactas son de gran utilidad para lograr el conocimiento técnico deseado para los productores.

**Tabla5. Estrategia de capacitación de producción de biochar**

<b>Acción</b>	<b>Descripción</b>
<b>Evaluación Inicial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Diagnóstico inicial:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Evalúa el nivel de conocimiento del productor sobre la pirólisis y el biochar. Identifica las necesidades específicas y los recursos disponibles en la comunidad.</li> <li>○ Condiciones locales, como el tipo de biomasa disponible, las características del suelo y las prácticas agrícolas actuales.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Diseño del Programa de Capacitación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Contenidos Técnicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Principios Básicos: definición de biochar, cómo se produce y sus beneficios para el suelo y la gestión de residuos.</li> <li>○ Proceso de Pirólisis: proceso de pirólisis, preparación de biomasa, configuración del equipo y el control de parámetros como la temperatura y el tiempo.</li> <li>○ Seguridad y Manejo: prácticas de seguridad durante la operación de los equipos de pirólisis y el manejo seguro del biochar.</li> </ul> </li> <li>• <b>Aspectos Prácticos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Demostraciones en Campo: demostraciones prácticas en el campo: funcionamiento de los equipos y el proceso de producción de biochar.</li> <li>○ Guías: procedimientos paso a paso y resolución de problemas comunes.</li> </ul> </li> <li>• <b>Aspectos Ambientales y Económicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aspectos Ambientales: mejora en la fertilidad del suelo, la retención de agua y la captura de carbono.</li> <li>○ Aspectos Económicos: Discute la viabilidad económica de la producción de biochar, incluyendo costos de inversión, ahorro en fertilizantes y potenciales ingresos adicionales</li> </ul> </li> </ul>
<b>Capacitación en técnicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Entrenamiento Práctico:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Uso de equipos: manejo básico de equipos de medición.</li> <li>○ Producción de biochar: proceso de producción, operación efectiva del pirolizador, incluyendo ajustes de temperatura, tiempos de residencia y monitoreo de emisiones.</li> <li>○ Mantenimiento y reparación: elementos básicos de mantenimiento del horno pirolizador, limpieza de la unidad, condiciones seguras de operación.</li> </ul> </li> <li>• <b>Prácticas en Campo:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sesiones de Formación: sesiones demostrativas, permitiendo a los productores practicar la operación y manejo.</li> <li>○ Solución de problemas: resolver problemas que puedan surgir durante la producción, como fallos en el equipo o variaciones en la calidad del biochar.</li> </ul> </li> </ul>

<p><b>Seguimiento</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Proporciona asesoría técnica continua a través de visitas regulares, llamadas telefónicas o plataformas en línea.</li> <li>○ Fomenta la creación de redes de productores que puedan compartir experiencias, resolver problemas en conjunto y ofrecer apoyo mutuo.</li> <li>○ Realiza evaluaciones periódicas del desempeño de los productores y proporciona retroalimentación constructiva para mejorar los procesos.</li> </ul>
<p><b>Incorporación de buenas prácticas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Buenas Prácticas Agrícolas:</li> <li>○ Integra el uso de biochar en prácticas agrícolas sostenibles y ofrece orientación sobre cómo combinarlo con otros métodos de manejo del suelo.</li> <li>○ Innovación y Mejora Continua: motivar a los productores a experimentar con nuevas técnicas y a participar en programas de investigación y desarrollo para mejorar la producción de biochar.</li> </ul>

### 9.3. Formación de productores en emprendimiento social

Las comunidades piloncilleras Tének de la Región Huasteca en San Luis Potosí son importantes productores a nivel nacional. Sin embargo, a pesar de su dedicación al trabajo, viven en drásticas condiciones de marginación social y económica, que impiden el favorable desarrollo de sus pequeñas unidades productivas agroindustriales y el bienestar de sus familias. Las acciones de diagnóstico comunitario en las comunidades piloncilleras Tének mostraron su interés por ganar confianza y empoderarse para independizarse del intermediarismo, así como para participar en procesos de integración de productores para fomentar la creación de negocios o empresas rurales a través de las cuales se obtengan beneficios directos en su economía. Para atender esta necesidad, en el proyecto PRONACES 321073 se propuso un enfoque de Emprendimiento Social como primera alternativa para que los productos artesanales de las comunidades piloncilleras Tének de la Huasteca Potosina se puedan comercializar directamente en el mercado. En la práctica, se desarrolló un modelo de capacitación en emprendimiento social dirigido a jóvenes, mujeres y micro-productores de las comunidades piloncilleras Tének de la Huasteca Potosina. El modelo de capacitación en emprendimiento tiene los siguientes elementos distintivos:

- La definición de las necesidades de capacitación en emprendimiento a partir de los resultados de un diagnóstico comunitario, destacando un enfoque de género e inclusión.
- La documentación y análisis de las bases conceptuales y operativas del modelo en términos de programas y experiencias de capacitación en sistemas productivos rurales y de capacitación en emprendimiento social, a nivel local, nacional e internacional.
- La propuesta de un modelo educativo basado en el desarrollo de competencias de los participantes que favorece:

- el desarrollo de competencias de los productores para incrementar la productividad y calidad del producto actual y para diversificar la carteara de productos,
- la asociatividad de los productores para optimizar procesos productivos y de comercialización,
- el desarrollo de capacidades de emprendimiento y de gestión,
- la selección de la estrategia y figura asociativa para la comercialización,
- el desarrollo de carteras de clientes y de marca comercial,
- la gestión propia de recursos.
- Un programa temático de capacitación que incluye conferencias, talleres y experiencias de campo.
- Estrategias de evaluación y retroalimentación, que faciliten la mejora continua del modelo de capacitación.
- La definición del perfil del instructor y la propuesta de manuales para el instructor.

El modelo de capacitación en emprendimiento social se considera inédito ya que identifica uno equivalente con el propósito de lograr la suma de potenciales de los jóvenes, mujeres y productores, de zonas rurales, enfatizando el valor y el empoderamiento de las personas y de la familia, como bases fundamentales para promover el desarrollo socioeconómico de la comunidad. El programa de capacitación en emprendimiento social se impartió a un grupo piloto de distintas comunidades de Tanlajás, S.L.P. En general, el programa de capacitación motivó en los participantes un mayor interés y compromiso en sus proyectos de emprendimiento. Sobre su nivel de habilitación, los emprendedores adquirieron claridad sobre los temas asociados a logísticas, trámites y costos implicados para consolidar, optimizar y escalar su proceso productivo, así como en los temas de productividad y la calidad de sus productos, la creación y desarrollo de una empresa rural, el desarrollo de carteras de clientes, la gestión de la marca y logotipo comerciales, las estrategias de mercadotecnia y la gestión propia de recursos, todo ello en un marco con sólido fundamento social. Los resultados del programa de capacitación en emprendimiento validaron la pertinencia de:

- valorizar las etapas críticas para garantizar la productividad y calidad del producto,
- diversificar la cartera de productos y, sobre todo,
- la comercialización de los productos artesanales de forma directa.

Así mismo, los resultados del modelo de capacitación enfatizan la pertinencia e impacto del el trabajo colaborativo entre los miembros de la comunidad para crear y desarrollar las empresas rurales a través de las cuales se comercialicen los productos artesanales.

En la práctica, el programa de capacitación en emprendimiento se desarrolla a base de pláticas de inducción, conferencias, clases magistrales, talleres e intercambio de saberes y experiencias. Se promueve preferentemente la capacitación por medio de talleres por diferentes razones, entre ellas:

- es una experiencia de aprendizaje más interactiva y participativa,
- desarrolla habilidades prácticas,
- fomenta la colaboración y el intercambio de ideas entre los participantes
- tienen aplicación inmediata.

Los temas que forman parte del programa académico de la capacitación en emprendimiento se listan en la tabla 6.

**Tabla 6. Lista del temas y estrategias didácticas del programa de capacitación de emprendimiento social**

Referencia	Nombre del taller	Estrategia didáctica
1	¿Cuál es nuestro potencial productivo? -Cálculo de la capacidad de producción	Trabajo colaborativo
2	Buenas prácticas e inocuidad del proceso productivo-Trapiche Escuela.	Capacitación en el área de trabajo
3	E-commerce-comercio electrónico-Proceso de registro en Mercado Libre, posteo de fotografías de los productos en Instagram.	E-learning
4	Inocuidad alimentaria-Aplicación de la inocuidad alimentaria en casa o lugar de trabajo.	Capacitación en el área de trabajo
5	Nuevos productos-Elaboración de dulces, pan, mermeladas y ron a base de piloncillo.	Capacitación en el área de trabajo
6	Proceso de empaque-Empacado de piloncillo granulado, pilón y dulces en diferentes presentaciones.	Trabajo colaborativo
7	Etiquetado-análisis de las etiquetas de productos de piloncillo comerciales.	Trabajo colaborativo
8	Costos y precios-Determinación de costos de producción y precio de venta de sus productos.	Resolución de problemas
9	Fuentes de financiamiento-Revisión de una propuesta de apoyo económico al INPI e identificación de elementos.	Trabajo colaborativo
10	Figuras Asociativas-Formación de una SPR y cómo cubrir la demanda del cliente.	Juego de roles.
11	El Acta Constitutiva-Revisión de un acta constitutiva e identificación de sus elementos.	Juego de roles
12	La Marca y la percepción del cliente.	Resolución de problemas
13	La Marca-Identifica la clase del producto o servicio y determinación si la marca ya está registrada.	Trabajo colaborativo
14	Mercadotecnia: Realizando un comercial sobre tu marca.	Trabajo colaborativo

Más recientemente, el equipo de trabajo de la UAM desarrolló 4 talleres adicionales que fueron impartidos al grupo piloto en Tanlajás, S.L.P:

- Fortalecimiento de Capacidades Asociativas Solidarias a Pequeños Productores Agroindustriales.
- Manejando mis cuentas.
- Elaboración de un Plan de negocio estratégico para mi negocio.
- Estrategias efectivas para la venta de productos artesanales: ¿cómo vender mis productos"?

La capacitación en emprendimiento de los productores es una condición imprescindible para que los paquetes tecnológicos y/o las actividades productivas de los trapiches piloncilleros en la zona de incidencia se puedan capitalizar favorablemente en beneficio de los productores. Se hace notar que el programa de capacitación en emprendimiento es aplicable y/o ajustables a otros sistemas productivos rurales. Los detalles de cada uno de los talleres, así como el apoyo para que sean impartidos en beneficio de los productores rurales de distintos sistemas productivos se pueden solicitar al grupo de trabajo en la UASLP y de la UAM-I.

## **9.4. Cursos / talleres de capacitación técnica complementaria**

### **9.4.1. Características generales**

Además del proceso de capacitación del paquete tecnológico, el grupo de trabajo propone cursos o talleres adicionales para profundizar la discusión de una etapa particular de un paquete tecnológico o para discutir otras temáticas necesarias para la justificación o adecuada gestión de los mismos.

Como se ha indicado, las premisas para los procesos de capacitación quedaron inicialmente sustentadas en los elementos de los modelos educativos de las instituciones educativas responsables del proyecto. La apropiada selección de estos elementos de planeación estratégica, pedagógicos y didácticos, que han mostrado ser pertinentes en la formación de recursos humanos de ambas instituciones, se enriquecieron con algunas de las tendencias nacionales e internacionales en las capacitaciones rurales, y con la incorporación de productores locales entrenados como capacitadores, que marca una notoria y favorable ventaja en los procesos de capacitación.

Por otra parte, el desarrollo de los cursos se ajusta a los días y horarios de trabajo de los productores a ser capacitados, a quienes en ocasiones se les dificulta asistir a procesos formativos que impliquen varias sesiones secuenciales. Por esta razón, es más pertinente que

los cursos de capacitación se impartan en módulos únicos. Cuando es imperativo una secuencia en los cursos, los mismos deben ser modulares o flexibles, que se puedan tomar inclusive en diferente orden, para adaptarse a las disponibilidad de los productores.

En los cursos y/o talleres cortos, la experiencia del grupo de trabajo indica que se debe privilegiar el uso de materiales muy visuales. Por lo general, los productores no tienen el hábito de la lectura o de la revisión de la información como trípticos, volantes, o notas del curso. La experiencia muestra que en las zonas donde no hay electricidad es más exitoso el uso de infografías impresas en mantas y el diálogo dirigido de forma clara, sintético, con palabras simples y, de preferencia, siempre con el apoyo de los productores que hablan español-tének.

#### **9.4.2. Propósitos de los cursos / talleres complementarios**

Los cursos / talleres de capacitación técnica complementaria contribuyen a:

- Resolver los problemas identificados por los productores.
- Desarrollar las capacidades para ejecutar los paquetes tecnológicos.
- Inducir el uso de ecotecnologías asociadas a energía en las unidades productivas y viviendas.
- Valorizar los residuos en esquemas de economía circular.
- Adaptar tecnologías a las realidades locales:

En particular, el proyecto PRONACES ha validado mejoras en diversas etapas de los procesos productivos en el trapiche con trabajo a nivel laboratorio y de simulación y, a continuación, se han transferido los resultados a campo con las limitantes propias de la zona de incidencia. En todo momento se cuida que los protocolos transferidos sean funcionales y cumplan con los estándares de las normas vigentes. En este ejercicio está implícito un ajuste o adecuación de las tecnologías, debido al equipo, espacio o recursos disponibles en la zona de incidencia. Así, es imperativo que en el proceso de capacitación el productor desarrolle esta habilitación: la adecuación de las tecnologías a las condiciones de su entorno.

- Liderazgo:

Los productores deber ser líderes que capaciten con el ejemplo; es la mejor forma. El perfil ideal es que los productores muestren un liderazgo natural, que tengan interés en aprender y transferir los saberes y un sentido comunitario muy elevado. Además, deben contar con el respeto de parte de las autoridades locales y de sus pares.

## 9.5. Talleres de formación complementaria

La lista de los cursos o talleres de capacitación técnica complementaria disponibles son los siguientes:

- Ecotecnologías en las unidades productivas rurales.
- Generación y optimización de energía en el trapiche piloncillero.
- Estufas de leña ecológicas.
- Producción de biochar con aplicaciones agrícolas.
- Producción sostenible de ron artesanal
- Gestión de Protección de Marca de Productos Artesanales en Comunidades Rurales.

La estrategia para el desarrollo de cada curso o taller es flexible y se adapta siempre a las condiciones del entorno, tanto por el perfil, género y número de participantes, como por las situaciones logísticas y tecnológicas que condicionan la ejecución de la actividad. En este escenario se propone que el programa de cada curso o taller incluya los siguientes elementos.

- Líneas temáticas
- Objetivo
- Plan de acción
- Estrategia didáctica
- Materiales
- Desarrollo del taller
- Resultados y Análisis
- Propuesta de seguimiento y evaluación
- Conclusiones
- Áreas de mejora/oportunidad
- Referencias

Se hace notar que para cada taller se realizó un pilotaje con grupos reducidos y los resultados de estas experiencias permitieron optimizar los cursos o talleres. De hecho, el desarrollo del taller en zonas rurales implica estar muy alerta a las situaciones del entorno que condicionan la ejecución del taller de acuerdo con lo planeado, requiriendo de creatividad y capacidad de toma de decisiones adecuadas por parte de los instructores. Finalmente, los procesos de seguimiento y evaluación son imperativos para asegurar la adecuada transición de las actividades en el enfoque de mejora continua que está siendo propuesto.

Los materiales de los cursos se pueden solicitar al equipo de trabajo en la UASLP y/o en la UAM-Iztapalapa.

## **9.6. Redes de apoyo y seguimiento**

La capacitación de los productores en el desarrollo de habilidades técnicas y de emprendimiento social se puede facilitar en la medida que la comunidad tenga canales de vinculación abiertos y operativos con las instituciones de educación superior (IES), oficinas públicas en diferentes niveles de gobierno y organizaciones privadas, como socios estratégicos. Por lo general estos canales no están operativos y, consecuentemente, parte de la capacitación si debe incluir la inducción y el soporte para el propio productor establezca las vinculaciones respectivas. El caso de las IES es muy importante el consolidar la colaboración, porque puede ayudar a la validación de múltiples procesos y productos, así como el acceso a espacios de capacitación especializada, como fue el caso de los productores piloncilleros habilitados en la UASLP.

Por otra parte, en la zona de incidencia existen excelentes ejemplos que una forma viable de ampliar el impacto de la capacitación es mediante la creación de redes de apoyo entre los productores capacitados, donde puedan compartir experiencias, resolver dudas y mantenerse actualizados. Sin embargo, las organizaciones que lo han logrado en la zona de incidencia, como “Fondos para la paz”, llevan alrededor de 30 años de trabajo en la zona y cuentan con el apoyo económico y logístico de una oficina matriz en la Ciudad de México. Además, tienen la ventaja de contar con personal que trabaja de tiempo completo en las comunidades. En este escenario, el grupo de trabajo reconoce la relevancia de las redes de apoyo y seguimiento de las acciones de los productores y realiza gestiones para les permitan contar con grupo de soporte técnico.

## **9.7. Productores locales como capacitadores**

Es importante indicar que la confianza que progresivamente adquirieron los productores al participar en las actividades del grupo de trabajo y en los eventos organizados por el CONAHCYT y otras organizaciones comunitarias asociadas a los proyectos PRONACES, contribuyó favorablemente en su habilitación para conocer las políticas públicas, las estrategias y las líneas de acción necesarias para que la generación, uso y optimización de las energías limpias tengan un rol preponderante en el bienestar comunitario. Estas acciones propiciaron que un grupo de productores locales fueran capacitado formalmente en la ecotecnologías asociadas

a energía, incorporándose al equipo de capacitadores del proyecto PRONACES, con muy favorables impactos en términos de cobertura y eficiencia en los procesos de capacitación.

Se hace notar que la formación de un productor como capacitador se facilita si el productor tiene habilidades como buena comunicación oral en español y Tének, tiene experiencia práctica en el trabajo en grupo, está realmente interesado en participar, y es capaz de entender, comprender y aplicar adecuadamente los conceptos y herramientas que le comparte el equipo de trabajo. Todas estas son habilidades que se pueden inducir y desarrollar en el productor, pero pueden llevar tiempo y continuas estancias en campo. Por esta razón, la identificación de productores con el perfil adecuado es muy importante.

De manera relevante, tres de los productores participaron de forma directa en desarrollo de este paquete tecnológico, manteniendo continuas interacciones con el grupo de académicos, facilitando sus instalaciones para hacer prácticas de campo, implementando, analizando y validando las propuestas derivadas de los experimentos y simulaciones del equipo académico de trabajo. A la fecha, estos tres productores cuentan con los conocimientos, las experiencias y las estrategias para capacitar a otros productores locales en los procesos sugeridos en este paquete para la producción de piloncillo artesanal. Los productores son:

- C. Venancio Martínez Valentín, Comunidad de “El Barrancón”
- C. Cesar Gómez Salvador, Comunidad de “El Jomte”
- C. Obispo Santos Socorro, Comunidad de “San José Xilatzén”.

Los productores referidos pueden hacer los procesos de capacitación en sus unidades productivas y están avalados por el equipo de trabajo del proyecto PRONACES 321073 para usar las facilidades de la unidad demostrativa conocida como el “Centro de Innovación para la Valorización Sostenible de Residuos y Energías Renovables” (CIVASORER), localizada en Tanlajás, S.L.P., para la capacitación de productores locales en la Producción Artesanal de Piloncillo con Enfoque Sostenible”

## **9.8. Certificación de competencias técnicas de productores**

Los procesos de capacitación de productores pueden evolucionar en un futuro próximo para certificar las competencias de los productores en el desarrollo de procesos o productos artesanales en sus trapiches. La certificación de competencias es un proceso formal que deber ser avalado por la Secretaría de Educación Pública; sin embargo, no existen a la fecha los protocolos y/o estándares de competencia que permitan avalar la habilitación de un productor en la producción artesanal de piloncillo con enfoque sostenible. En la implementación de un

proceso de certificación se de contar con el apoyo de expertos en el proceso productivo, de instituciones educativas y de organismos públicos como las presidencias municipales de la zona de incidencia.

A la fecha, la presidencia municipal de Tanlajás, S.L.P., mostró su interés para que el CIVASORER sea centro capacitador y certificado de competencias de los productores, de tal manera que puedan recibir un reconocimiento formal por su conocimiento, experiencia y su habilitación para el desarrollo o la ejecución de un paquete tecnológico. Una vez avalada su habilitación, el productor puede solicitar preferencialmente apoyos técnicos, económicos o logísticos para mejorar sus procesos productivos. La certificación de competencias puede atender una deuda histórica con los productores: reconocer públicamente su habilitación en la generación de productos artesanales a través de procesos que preservan cultura y tradiciones, mejorados con tecnología que incrementa productividad, calidad y potencial de comercialización directa de productos derivados del trapiche.

## 9.9. Bases para esquemas de economía solidaria

El modelo de emprendimiento social propuesto para los productores piloncilleros de las comunidades Tének representa una sólida estrategia para fortalecer la economía local y el bienestar de los miembros de la comunidad.

Los principios básicos de la economía solidaria son los siguientes:

- **Cooperación:**

Los miembros de la comunidad colaboran entre sí, compartiendo conocimientos, recursos y esfuerzos, para alcanzar objetivos comunes. La creación de grupos solidarios les permite a los productores trabajar juntos en proyectos que los benefician a todos.

- **Equidad:**

Se promueve la igualdad de oportunidades de desarrollo para todos los miembros de desarrollo. De igual forma, los beneficios obtenidos a través de la actividad económica se distribuyen de manera equitativa entre todos los miembros de la comunidad

- **Solidaridad:**

Los miembros de la comunidad se apoyan en los momentos difíciles, compartiendo experiencias, conocimientos o recursos económicos. La solidaridad se extiende a otros sectores de la comunidad que buscan el bienestar colectivo, como el acceso a la salud, la educación o los servicios básicos.

- **Sostenibilidad:**

Los miembros de la comunidad comparten el respeto por el medio ambiente mediante el manejo de prácticas agrícolas sostenibles, la gestión adecuada de los residuos, el uso de ecotecnologías. Se busca que los beneficios económicos obtenidos por los productores no solo sean rentables a corto plazo, sino que aseguren la viabilidad económica a largo plazo.

- **Democracia y participación:**

Las decisiones importantes en la comunidad se toman de forma democrática, con la participación activa de todos los miembros, quienes tienen voz y voto en los asuntos que afectan su comunidad, promoviendo un liderazgo participativo y transparente.

- **Justicia social:**

Se busca la inclusión de todos los miembros de la comunidad, independientemente de su género, edad, etnia o condición social, eliminando las desigualdades sociales y abriendo la oportunidad de que todos los miembros contribuyan en el desarrollo colectivo. Además, al distribuir los recursos equitativamente, se asegura que todos los miembros tengan las mismas oportunidades de prosperar.

Para el cumplimiento de estas premisas de economía solidaria, el modelo de emprendimiento social propuesto contribuye con los siguientes rasgos distintivos:

- **Identificación de elementos diferenciadores y marca:**

Los productores identifican de elementos diferenciadores de sus productos artesanales que los diferencian de la competencia, tanto en mercados locales como globales. La gestión de marcas representativas aumenta el valor agregado del producto, posicionándolo como un producto de calidad que puede captar la preferencia de consumidores interesados en productos autóctonos, artesanales y sostenibles.

- **Determinación de los costos de producción y precios de venta:**

Conocer los costos de producción y entender cómo fijar el precio de venta basado en los costos reales, permite a los productores tener un control financiero que favorece la sostenibilidad económica. El cálculo de la rentabilidad permite a los productores entender si su modelo de negocio es viable y sostenible.

- **Identificación de mercado y cartera de clientes:**

La identificación de nuevos mercados / clientes es crucial para que los productores orienten sus esfuerzos de venta a los segmentos adecuados, ya sea en zonas rurales o urbanas.

- **Rentabilidad y escalabilidad de los procesos:**

La rentabilidad permite al productor identificar áreas para reducir costos o aumentar márgenes. Complementariamente, la escalabilidad del proceso le ayuda a planificar el crecimiento, aumentando la productividad o mediante la diversificación de productos.

- **Centros de Acopio y Unidades de Procesamiento de Productos de Piloncillo:**

El establecimiento de centros de acopio o unidades de procesamiento es una estrategia fundamental para centralizar la producción de piloncillo, homologar la calidad del producto y garantizar la calidad constante del producto. Este tipo de unidades también contribuyen a optimizar costos, aumentar la eficiencia y promover la cooperación entre los productores locales.

- **Formalización y estructuras / organizaciones legales:**

La formalización de los negocios como cooperativas o sociedades de productores rurales ofrece ventajas como el acceso a financiamiento, subsidios y capacitación. Además, estas figuras empresariales tienen el potencial de proporcionar un apoyo mutuo, permitiendo que los productores enfrenten retos de manera colectiva, mejoren su poder de negociación y accedan a mayores oportunidades comerciales.

De esta forma, el modelo de emprendimiento social tiene el potencial de aumentar los ingresos de los productores. Si los beneficios se distribuyen equitativamente entre los productores

se fortalece la integración comunitaria, se mejoran las condiciones de vida de las familias y se favorece la sostenibilidad a largo plazo.

## 9.10. Impactos

El grupo de trabajo identifica que, en el desarrollo e implementación de un paquete tecnológico para la producción sostenible de biochar con aplicaciones agrícolas, acoplado a un esquema de emprendimiento social para comercializar directamente los productos en el mercado, algunos de los indicadores más relevantes deben ser los que se indican a continuación. Se hace notar que en esta etapa del paquete tecnológico aún no se realiza una encuesta de seguimiento y/o evaluación que permitan cuantificar detalladamente el nivel de cumplimiento de los indicadores propuestos.

- **Indicadores Cualitativos:**

Estos indicadores pueden reflejar el cambio social y la percepción de los actores involucrados. Se centran en aspectos intangibles como la mejora en la calidad de vida, el empoderamiento y el cambio cultural.

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
• <b>Satisfacción de los productores</b>	Percepción de los productores sobre las mejoras en sus condiciones de trabajo, calidad de vida y bienestar.
• <b>Autonomía y empoderamiento</b>	Medición del nivel de autonomía adquirido por los productores en la toma de decisiones y la gestión de sus negocios.
• <b>Cambio en la relación entre productores y comunidad</b>	Evaluación de la cooperación y solidaridad entre los productores y otros miembros de la comunidad.
• <b>Reconocimiento de la calidad de los productos</b>	Nivel de reconocimiento de alta calidad de los productos por parte de los consumidores y los mercados.
• <b>Percepción de la sostenibilidad</b>	Opiniones de los productores sobre la sostenibilidad del proceso / producto (aspectos tecnológicos, ambientales, energéticos, económicos y sociales)

- **Indicadores Cuantitativos:**

Estos indicadores miden el rendimiento y el impacto tangible del paquete.

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
• <b>Aumento en la productividad y calidad del producto</b>	Incremento en la cantidad de biochar producido por cada productor y en el cumplimiento de normas que regulan la calidad del producto.
• <b>Incremento en los ingresos familiares</b>	Medición del aumento de ingresos de los productores como resultado de la mejora en la productividad y la comercialización.
• <b>Accesibilidad al mercado</b>	Porcentaje de productores que logran acceder a mercados más amplios, tanto locales como nacionales o internacionales.
• <b>Reducción de costos de producción</b>	Disminución en los costos de producción como resultado de la implementación de tecnologías más eficientes / sostenibles.
• <b>Generación de empleo</b>	Número de empleos creados (directos e indirectos), tanto en la producción como en la comercialización.
• <b>Incremento en la venta de productos</b>	Aumento en el volumen de ventas de biochar, tanto en mercados locales como fuera de la comunidad.

- **Indicadores de Transferencia de Saberes:**

Estos indicadores miden el grado en que los conocimientos y habilidades relacionadas con la producción sostenible y la comercialización han sido compartidos y adoptados por los productores

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
• <b>Número de capacitaciones realizadas</b>	Número de sesiones de capacitación ofrecidas a los productores en campo
• <b>Nivel de adopción de nuevas prácticas</b>	Porcentaje de productores que adoptan y aplican las nuevas tecnologías o metodologías sugeridas.
• <b>Participación en redes de conocimiento</b>	Número de redes o grupos de intercambio de conocimiento establecidos

Indicador	Descripción
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Mejora en las habilidades empresariales</b></li></ul>	Evaluación del nivel de competencias empresariales adquiridas por los productores
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Sostenibilidad del modelo a largo plazo</b></li></ul>	Capacidad de los productores para mantener los conocimientos adquiridos y seguir sus prácticas productivas en el futuro sin asistencia externa.
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Indicadores de Acciones de Política Pública</b></li></ul>	

Estos indicadores miden el impacto de las acciones gubernamentales o de otras instituciones públicas para apoyar el proyecto.

Indicador	Descripción
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Participación en programas de apoyo</b></li></ul>	Número de programas públicos o privados en los que los productores han participado.
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Implementación de políticas públicas locales</b></li></ul>	Medición de la existencia e implementación de políticas públicas en favor de los productores de biochar.
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Acceso a financiamiento y créditos</b></li></ul>	Número de productores que tienen acceso a líneas de crédito o financiamiento oficial para mejorar sus procesos productivos.
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Mejoras en la infraestructura local</b></li></ul>	Iniciativas públicas que mejoran los servicios públicos / infraestructura rural asociados a las unidades productivas.
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Reconocimiento institucional</b></li></ul>	Grado en el cual el modelo ha sido reconocido por entidades gubernamentales como un modelo adecuado para promover el desarrollo de las unidades productivas.

- **Fortalecimiento de la Comunidad:**

Estos indicadores miden el impacto en la cohesión social, la cooperación y el desarrollo comunitario que genera el proyecto.

Indicador	Descripción
• <b>Formación de redes comunitarias</b>	Número de redes de colaboración entre productores, organizaciones locales o grupos comunitarios formados en el proyecto.
• <b>Participación en actividades colectivas</b>	Porcentaje de miembros de la comunidad que participan en las actividades relacionadas con la producción y comercialización de biochar.
• <b>Cooperación en la gestión empresarial</b>	Número de iniciativas conjuntas de los productores para gestionar los procesos productivos y comerciales.
• <b>Mejoras en la infraestructura comunitaria</b>	Progreso en la infraestructura local (como centros de acopio, caminos, servicios básicos) generados por un esfuerzo colectivo en el proyecto.
• <b>Participación de Mujeres y Jóvenes en Edad Productiva:</b>	
	Los indicadores en esta categoría miden el grado de participación y el empoderamiento de mujeres y jóvenes mayores de edad.

Indicador	Descripción
• <b>Número de mujeres y jóvenes mayores de edad participando</b>	Número de mujeres y jóvenes mayores de edad involucrados en la producción, comercialización y gestión del biochar.
• <b>Acceso a liderazgo y toma de decisiones</b>	Número de mujeres y jóvenes mayores de edad en posiciones de liderazgo o toma de decisiones en los grupos de productores.
• <b>Mejoras en los ingresos de mujeres y jóvenes mayores de edad</b>	Incremento de los ingresos obtenidos por mujeres y jóvenes mayores de edad a partir de su participación en las actividades del proyecto.
• <b>Desarrollo de habilidades y formación</b>	Número de capacitación y formación específica dirigida a mujeres y jóvenes mayores de edad en áreas como las técnicas de producción y comercialización.

- **Socialización de la Información:**

Los indicadores en esta categoría miden la difusión del conocimiento y la transferencia de saberes dentro de la comunidad.

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
• <b>Número de talleres y capacitaciones</b>	Número de talleres o sesiones educativas realizadas en la comunidad para transferir conocimientos.
• <b>Participación comunitaria en la socialización</b>	Número de productores o miembros de la comunidad que participan en las actividades de socialización de la información.
• <b>Acceso a plataformas de conocimiento</b>	Número de productores que tienen acceso a herramientas o plataformas de información sobre el negocio del biochar y temas relacionados
• <b>Colaboración con instituciones educativas</b>	Número de colaboraciones con instituciones educativas para la capacitación y el fortalecimiento de las capacidades locales.

- **Aumento de la Calidad de Vida:**

Estos indicadores miden el mejoramiento de las condiciones socioeconómicas de los miembros de la comunidad

<b>Indicador</b>	<b>Descripción</b>
• <b>Aumento de ingresos familiares</b>	Incremento en el nivel de ingresos de las familias de los productores.
• <b>Mejoras en la infraestructura y servicios</b>	Nivel de mejoras en servicios públicos básicos en las unidades productivas
• <b>Acceso a servicios de salud y educación</b>	Número de beneficiarios del proyecto que tienen mejor acceso a servicios médicos y educativos gracias a los ingresos generados por la producción de biochar.

Indicador	Descripción
• <b>Condiciones laborales</b>	Mejora en las condiciones laborales de los productores, como jornadas laborales más justas, mejor acceso a recursos de producción y mayor seguridad en el trabajo.
• <b>Mejoras en la seguridad alimentaria</b>	Reducción de la inseguridad alimentaria en las familias de los productores gracias a la mejora en los ingresos.

### 9.11. Gestión para el desarrollo del paquete tecnológico

Se han realizado diversas acciones de gestión para promover los paquetes tecnológicos:

- Reuniones con las autoridades municipales locales para promover la difusión y solicitar recursos operativos para que los productores sean capacitados en los paquetes tecnológicos
- Gestiones con otros proyectos PRONACES para complementar la formación de productores locales como capacitadores en ecotecnologías asociadas a la generación y uso de energías renovables.
- Gestiones para complementar la formación de los productores como emprendedores a través de talleres impartidos en campo por especialistas en el tema.
- Gestiones para identificar socios estratégicos que pueden detonar la demanda de grandes cantidades de productos artesanales para venta en mercados internacionales.

### 9.12. Gestiones con presidentes municipales

Se han realizado diversas reuniones con los presidentes municipales de la zona de incidencia.

En el municipio de Tanlajás, S.L.P., los funcionarios con los que se realizaron gestiones hasta el 30 de septiembre de 2024 fueron:

- C. Genaro Ahumada Cedillo, Presidente Municipal
- Lic. Delfino Mauricio López, Síndico Municipal
- Lic. Flor Zulema Montes Rodríguez, Secretaria Municipal.

Las gestiones realizadas incluyeron las siguientes:

- Gestión de apoyos para la construcción de trapiches del modelo construidos por la UASLP.
- Presentación de una propuesta de emprendimiento para productores para la adecuación de trapiches comunes para grupos de 4 familias.

- Presentación de una propuesta de una Unidad de Procesamiento de Productos de Piloncillo; apoyos de obra civil para facilitar el acceso a la Unidad.
- Presentación de una propuesta de la creación de un Centro de Innovación para la Valorización Sostenible de Residuos y Energías Renovables (CIVASORER) en un espacio comunitario en Tanlajás.
- Gestión y firma de convenio de colaboración Universidad Autónoma Metropolitana – Municipio de Tanlajás, para la sesión de un espacio en comodato para implementar el CIVASORER.
- Apoyo logístico para la realización de ferias de socialización de los temas con instituciones educativas y con público en general.
- Apoyo para la reuniones con Jueces Auxiliares y Comisariados Ejidales.
- Apoyos logísticos para la limpieza, mobiliario y equipo de sonido en espacios públicos municipales para la capacitación técnica de productores.

En el municipio de Tanlajás, S.L.P, los funcionarios a partir del 1 de octubre de 2024 son:

- C. Humberto Lucero Magaña, Presidente Municipal
- Lic. Luis Enrique Reséndiz Martínez, Síndico Municipal
- Lic. Edgar Hernández Hernández, Secretario Municipal

También se delegó al Secretario de Desarrollo Rural, Ing Leonardo Ramos, para el seguimiento de las actividades con los productores.

Las gestiones realizadas a la fecha incluyen las siguientes:

- Presentación del proyecto PRONACES con el uso de infografías, para dar a conocer los objetivos, actividades en desarrollo y resultados a la fecha.
- Identificación de áreas de oportunidad acordes a la políticas y programas de apoyo que implementará la administración municipal.
- Gestión de un nuevo convenio de colaboración Universidad Autónoma Metropolitana – Municipio de Tanlajás, para validar el espacio en comodato que cedió en comodato la administración municipal anterior para implementar el CIVASORER
- Análisis de un programa de política pública para que el CIVASORER sea un centro de capacitación de productores en el los paquetes tecnológicos, promoviendo que los apoyos municipales se otorguen después que el productor tomo los cursos de capacitación en el CIVASORER.

- Informe de las actividades y avances del proyecto en sitio, sugiriendo ajustes de los espacios, la tecnología y pidiendo la operación del CIVASORER en enero de 2025
- Análisis de las alternativas para el financiamiento de la operación del CIVASORER.

En el municipio de Aquismón S.L.P, los funcionarios con quienes se han realizado gestiones son:

- C. Cuauhtémoc Balderas Yáñez, Presidente Municipal Constitucional
- Mtro. Emeterio Durán Suarez, Director de Desarrollo y Fomento del Café.

Las gestiones realizadas incluyeron las siguientes

- Informe de las actividades y avances del proyecto PRONACES
- Entrega de material promocional para la capacitación técnica y de emprendimiento para productores y para las acciones de socialización de los paquetes tecnológicos.
- Identificación de grupos de productores con la necesidad y el interés de optimizar sus procesos productivos con ecotecnologías y de comercialización directa de sus productos artesanales.
- Gestión de reuniones de diagnóstico comunitario con grupos de productores.
- Gestión de apoyos para la detonar los Paquetes tecnológicos en el municipio de Aquismón.

En el municipio de Tamuín, S.L.P, los funcionarios con quienes se han realizado gestiones a partir del 1 de junio como administración electa y del 1 de octubre de 2024 como administración constitucional:

- C. Marcelino Bautista Rincón, Presidente Municipal Constitucional
- C. Julián Bañuelos. Director de Desarrollo Rural
- C. Ángel Roberto Rosas, Gestor Municipal

Las gestiones realizadas incluyeron las siguientes.

- Presentación del proyecto PRONACES con el uso de infografías, para dar a conocer los objetivos, actividades en desarrollo y resultados a la fecha.
- Identificación de áreas de oportunidad acordes a la políticas y programas de apoyo que implementará la administración municipal.
- Reunión con el Rector de la Universidad Autónoma Metropolitana:
  - Acciones conjuntas en el marco del proyecto PRONACES
  - Búsqueda de financiamiento para desarrollo de los paquetes tecnológicos.

- Interés en el esquema del CIVASORER
  - Elaboración de plan de desarrollo municipal.
- Entrega de material promocional para la capacitación técnica y de emprendimiento para productores y para las acciones de socialización de los temas del proyecto.
- Identificación de grupos de productores con la necesidad y el interés de optimizar sus procesos productivos con ecotecnologías y de comercialización directa de sus productos artesanales.
- Reuniones con productores en la comunidad de los Huastecos para validar necesidades que demandan ecotecnologías en energía y discusión de las soluciones propuestas en el marco del proyecto PRONACES.
- Apoyos para las actividades de socialización en las instituciones educativas de comunidades vulnerables.

### 9.13. Directorio de interesados en paquetes tecnológicos

La gestión del desarrollo de los paquetes tecnológicos desarrollados en el proyecto se ha realizado preferentemente con los presidentes municipales. A la fecha, se indican las personas de contacto en los municipios que realmente han mostrado interés.

- Municipio de Tanlajás:  
Lic. Edgar Hernández Hernández, Secretario Municipal
- Municipio de Tamuín:  
C. Julián Bañuelos. Director de Desarrollo Rural
- Municipio de Aquismón:  
Mtro. Emeterio Durán Suarez, Director de Desarrollo y Fomento del Café.

Otras organizaciones que han mostrado interés y apoyo en las gestiones de los paquetes tecnológicos son las siguientes

- Fondos para la Paz:  
Ing. Ferdinando Armenta, Responsable en la Oficina de Tanlajás, S.L.P.
- Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos – San Luis Potosí  
Ing. Rodolfo Galván Contreras, Director de Desarrollo Rural.
- Escuela de Campo de Nuevo Cueytzén.  
Ing. José Antonio Dueñes, Capacitador en la Escuela de Campo, INIFAP.  
Del sector educativo
- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo:

Dr. Agustín Castro Montoya, Facultad de Ingeniería Química

- Universidad Autónoma Metropolitana:

Dr. José Antonio de los Reyes Heredia, Rector General

Aportación concurrente para el desarrollo de los paquetes tecnológicos.

Por otra parte, en el desarrollo de los paquetes tecnológicos se han designado a productores locales como contactos en la zona de incidencia para que identifiquen el interés por los paquetes tecnológicos. Alrededor de ellos se ha identificado un conjunto de miembros de las comunidades que han manifestado su interés en ser parte del equipo que detone proyectos locales para cada uno de los paquetes de los cuales se tiene resguardados sus datos de contacto.



## 10. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En el contexto del desarrollo del paquete tecnológico para la producción sostenible de biochar en una comunidad rural se incluyen a continuación una serie de ideas conclusivas, de recomendaciones y un llamado de acción a los productores y a la comunidad para aplicar la tecnología como mecanismo para potenciar su desarrollo económico, como premisa para lograr mejores condiciones de vida.

### 10.1. Ideas conclusivas

Entre múltiples ideas conclusivas, se destacan los siguientes.

- **Pertinencia del diagnóstico comunitario**

Este diagnóstico es crucial para identificar y validar las necesidades de las unidades productivas y de las viviendas en la comunidad. Es también un espacio para invitar al trabajo conjunto, a la generación de ideas creativas y viables localmente para resolver los retos y las oportunidades identificadas.

- **Uso de tecnología para mejorar productividad, calidad y sostenibilidad:**

El desarrollo / implementación de paquetes tecnológicos en el trapiche, sobre la base del respecto a la cultura y tradiciones de la comunidad y de incorporar el diálogo de saberes entre productores y académicos, da las pautas para el incremento en productividad, una mejora y uniformidad en la calidad de los productos y promueve acciones que en favor de la sostenibilidad.

- **Fortalecimiento del emprendimiento local:**

El impulso al emprendimiento social incluyendo la participación de productores, mujeres y jóvenes en edad productiva, ha promovido el empoderamiento de los miembros de la comunidad, aumentando su habilitación para administrar mejor sus procesos, para identificar nuevos canales de comercialización de sus productos y para gestionar los recursos necesarios para sus actividades económicas. Los aprendizajes en la gestión de una marca y de los requisitos y procedimientos para establecer una sociedad de productores rurales les da el potencial de posicionar los productos en el mercado de manera más formal y profesional.

- **Mejoras en infraestructura**

- ***Trapiche modelo de una micro-birrefinería***

La adecuación de varios paquetes tecnológicos en un mismo trapiche, con un enfoque orientado en la sostenibilidad, soportado con un modelo de emprendimiento y con un programa de operación concertado para operar los paquetes en función de las condiciones de su entorno y del mercado, valida el potencial de los trapiches locales para generar diversos productos de calidad y potencial de comercialización, estableciendo las bases para el desarrollo futuro de una micro-biorrefinería rural.

- ***Unidad de procesamiento de productos de piloncillo (UP3)***

La adecuación de la UP3 permite que un grupos de productores(as) y emprendedores(as) tenga un espacio adecuado para la optimización de la producción de productos de calidad derivados del piloncillo, el almacenaje de productos y el centro para su adecuada distribución en diferentes mercados. Estas acciones abren nuevas oportunidades de comercialización para los productores.

- ***Centro de Innovación para Valoración Sostenible de Residuos y Energías Renovables (CIVASORER)***

El CIVASORER es un espacio para promover esquemas circulares que valoricen los residuos de las unidades productivas en productos de valor agregado, haciendo uso de ciencia y tecnología y promoviendo el uso de ecotecnologías en la gestión de los servicios que demandan los procesos productivos. Las acciones de socialización, capacitación, entrenamiento práctico, potencial certificación de competencias de los productores, la divulgación de temas técnicos y la promoción del empoderamiento social, son elementos muy importantes para consolidar a futuro el uso de los paquetes desarrollados y para generar nuevas alternativas de atención a los problemáticas locales.

- **Gestión colaborativa**

La gestión ante autoridades municipales y organismos públicos ha permitido a los productores tener la confianza y la habilitación para solicitar los espacios, la infraestructura, los servicios y los recursos necesarios para tener un entorno más favorable para el desarrollo de sus actividades productivas y comerciales, así como para aspirar a mejores condiciones de vida en sus viviendas.

## 10.2. Recomendaciones a Corto y Mediano Plazo:

Algunas recomendaciones a corto plazo son las siguientes.

- **Fortalecer la capacitación continua:**

Para los productores es fundamental mantenerse actualizado en aspectos técnicos y de emprendimiento, de tal forma que puedan seguir optimizando sus procesos productivos y mejorando la comercialización de sus productos.

- **Monitorear y evaluar impacto:**

Es necesario monitorear el desempeño, rendimiento e impacto las nuevas tecnologías implementadas en el trapiche, así como evaluar los beneficios económicos para los productores, y ajustar los métodos o procesos que no estén generando los resultados esperados.

- **Promover alianzas con otras comunidades:**

Establecer alianzas con otras comunidades productoras de piloncillo o productos agrícolas puede ser clave para ampliar la red de comercialización y lograr economías de escala, especialmente para productos derivados del piloncillo.

Algunas recomendaciones a mediano plazo son las siguientes.

- **Ampliar la capacidad de procesamiento:**

Con el incremento de la demanda de producto y la mejora del proceso productivo se debe considerar el aumento de la productividad, el uso y la ampliación de los centros de acopio y de procesamiento de productos de piloncillo.

- **Uso de tecnología para asegurar la calidad:**

Con el respecto adecuado a la cultura y tradiciones, se debe seguir sensibilizando a los productores para que incorporen tecnología que faciliten el control y la uniformidad de los productos.

- **Establecer un sistema de distribución eficiente:**

Este aspecto es crítico. Es imperativo desarrollar estrategias logísticas y de distribución para que el piloncillo y sus derivados puedan llegar a mercados más grandes y diversificados, tanto nacionales como internacionales.

- **Micro-biorrefinería rural: Diversificación de cartera de productos del trapiche:**

Se deben inducir la implementación de diversos paquetes tecnológicos en una misma trapiche o unidad productiva. Así mismo, se debe seguir el enfoque de valorizar los residuos del proceso de producción, como bagazo, cachaza, plásticos, para generar energía alternativa o para crear productos o materiales que generen valor agregado y diversifiquen las fuentes de ingreso.

- **Fortalecer esquemas de economía solidaria:**

Se debe seguir promoviendo la asociación u organización de productores para trabajen cooperativa y solidariamente en la generación y, sobre todo, en la comercialización de los productos artesanales, con enfoques en sintonía con la sostenibilidad y con estrategias que aseguren la equidad, la justicia y la democracia en todos los procesos de toma de decisiones y en todos los beneficios derivados de sus iniciativas colegiadas de emprendimiento.

### **10.3. Invitación a la acción para las comunidades rurales:**

- **Fortalecer el compromiso con la sostenibilidad:**

Asegurar que se escala el uso de ecotecnologías en la producción sostenible de biochar, incluyendo prácticas adecuadas del manejo de recursos naturales, de la valorización de reducción de residuos y de la preservación del medio ambiente.

- **Unirse en una visión de desarrollo comunitario:**

Es fundamental que todos los miembros de la comunidad rural comprendan el valor de la cooperación y la solidaridad para lograr el desarrollo sostenible. Por esto se invita a los productores a asociarse en cooperativas o en sociedad de productores rurales para aprovechar las ventajas de la economía solidaria para mejorar las condiciones de vida de toda la comunidad.

- **Aprovechar nuevas oportunidades de comercialización:**

Se invita a los productores a capacitarse para diversificar los canales de venta de sus productos (como la venta en línea, la participación en ferias de productos artesanales, o la certificación de productos como orgánicos o sostenibles), que les nuevos mercados y mejora la competitividad.

- **Incrementar la eficiencia en la gestión de recursos**

Se deben mejorar las estrategias para conseguir apoyos ante las autoridades municipales, estatales y nacionales, para fortalecer los servicios públicos en las unidades productivas, así como la infraestructura, los procesos de capacitación y el acceso a financiamiento realmente accesibles para los productores.

- **Empoderar a las mujeres y jóvenes:**

Se invitar a las mujeres y a los jóvenes a seguir participando activamente en los procesos productivos y comerciales, promoviendo su participación en las decisiones económicas de la comunidad y creando espacios de liderazgo para que puedan desarrollar sus capacidades.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- Apaza González, B., León Ramírez, Y. H., & Loyola Calderón, A. (2021). Manual para la elaboración de Biochar y microorganismos eficientes IHPLUS R BF. ResearchGate.
- Appropedia. (s.f.). Horno Kon Tiki. Recuperado el 01/07/2024, de [https://www.appropedia.org/Kon\\_Tiki\\_Kiln/es](https://www.appropedia.org/Kon_Tiki_Kiln/es)
- Armendáriz, N. M. C., Reyes-Agüero, J. A., Ruiz-Sanchez, E., Martínez, J. F., & Armendáriz, F. M. (2022). Geographical and ecological distribution of native bamboo species in San Luis Potosí, Mexico. *Phytotaxa*, 543(3). <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.543.3.1>
- Atomic Force Microscopy: Understanding Basic Modes and Advanced Applications" por George Schitter y Georg Schitter.
- Castro, R. S., Pérez, L. M., & Hernández, J. G. (2021). Manual para la elaboración de Biochar y microorganismos eficientes IH+PLUS RBF. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/356835765\\_Manual\\_para\\_la\\_elaboracion\\_de\\_Biochar\\_y\\_microorganismos\\_eficientes\\_IHPLUSRBF](https://www.researchgate.net/publication/356835765_Manual_para_la_elaboracion_de_Biochar_y_microorganismos_eficientes_IHPLUSRBF)
- Cely, P. Evaluación del uso de residuos orgánicos para la producción de Biochar y su aplicación como enmienda orgánica. Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 189 p., 2016.
- Cross, A., & Sohi, S. P. (2011). The priming potential of Biochar products in relation to labile carbon contents and soil organic matter status. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 2127-2134. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.06.016>
- Deng, F., Dou, R., Sun, J., Li, J., Dang, Z., 2021. Phenanthrene degradation in soil using Biochar hybrid modified bio-microcapsules: determining the mechanism of action via comparative metagenomic analysis. *Sci. Total Environ.* 775, 145798.
- Díaz-Solares, Maykelis et al. Efecto del IHPLUS @ sobre el proceso de germinación de Sorghum bicolor L. (Moench). *Pastos y Forrajes*. 42 (1):30-38, 2019.
- El-Naggar, A., El-Naggar, A.H., Shaheen, S.M., Sarkar, B., Chang, S.X., Tsang, D.C.W., Rinklebe, J., Ok, Y.S., 2019. Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: a review. *J. Environ. Manag.* 241, 458–467.
- Esri. (n.d.). Use of Portable Field Kilns to Process Biomass into Biochar. StoryMaps. Recuperado el 28 de junio de 2024, de <https://storymaps.arcgis.com/stories/ae684ea97b8245a885e1d7bea0557a5e>
- FAO (2021). Sugar cane: Post-harvest operations. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- George Schitter, "Atomic Force Microscopy: Understanding Basic Modes and Advanced Applications"
- Ghezzehei, T. A. et al. Biochar can be used to capture essential nutrients from dairy wastewater and improve soil physico-chemical properties. *Solid Earth*, 5:953-962, 2014. <http://www.solid-earth.net/5/953/2014/> DOI: 10.5194/se-5-953-2014.

- Guo, F., Bao, L., Wang, H., Larson, S.L., Ballard, J.H., Knotek-Smith, H.M., Zhang, Q., Su, Y., Wang, X., Han, F., 2020a. A simple method for the synthesis of Biochar nanodots using hydrothermal reactor. *MethodsX* 7, 101022.
- Guo, M; Yufang, S & He, Z. Poultry litter-based Biochar: preparation, characterization and utilization. In: *Applied research of animal manure*. p. 169-202, 2012.
- Guo, K., Zhao, Y., Liu, Y., Chen, J., Wu, Q., Ruan, Y., Li, S., Shi, J., Zhao, L., Sun, X., Liang, C., Xu, Q., Qin, H., 2020b. Pyrolysis temperature of Biochar affects ecoenzymatic stoichiometry and microbial nutrient-use efficiency in a bamboo forest soil. *Geoderma* 363, 114162.
- Haldar, S., Ghosh, A., 2020. Microbial and plant-assisted heavy metal remediation in aquatic ecosystems: a comprehensive review. *3 Biotech* 10 (5), 1–13.
- Herrera, J. (2014). Piloncillo production: techniques and traditional practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(22), 5085-5092.
- International Biochar Initiative. (n.d.). Biochar Production Technologies. Recuperado el 28 de junio de 2024, de <https://biochar-international.org/about-biochar/how-to-make-biochar/biochar-production-technologies/>
- Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of Biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 175-187.
- John, M. J., & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71(3), 343-364.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Routledge.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angewandte Chemie International Edition*, 44(22), 3358-3393.
- Lehmann, J., 2009. Biochar for environmental management: an introduction. *Bio char Environ. Manage. Sci. Technol.* 25, 15801e15811.
- Libretexts. (s.f.). Análisis de Carbono Total. Recuperado el 2 de julio de 2024, de [https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica\\_Anal%C3%ADtica/M%C3%A9todos\\_F%C3%ADsicos\\_en\\_Qu%C3%ADmica\\_y\\_Nano\\_Ciencia\\_\(Barron\)/01%3A\\_An%C3%A1lisis\\_Elemental/1.10%3A\\_An%C3%A1lisis\\_de\\_Carbono\\_Total](https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Anal%C3%ADtica/M%C3%A9todos_F%C3%ADsicos_en_Qu%C3%ADmica_y_Nano_Ciencia_(Barron)/01%3A_An%C3%A1lisis_Elemental/1.10%3A_An%C3%A1lisis_de_Carbono_Total)
- Lin, C.W., Tsai, S.L., Lai, C.Y., Liu, S.H., Wu, C.H., 2019. Biodegradation kinetics and microbial dynamics of toluene removal in a two-stage cell-Biochar-filled biotrickling filter. *J Cleaner Produc* 238, 117940.
- Liu, S.H., Lin, H.H., Lai, C.Y., Lin, C.W., Chang, S.H., Yau, J.T., 2019. Microbial community in a pilot-scale biotrickling filter with cell-immobilized Biochar beads and its performance in treating toluene-contaminated waste gases. *Int BiodeterBiodeg* 144, 104743.
- Lou, L., Huang, Q., Lou, Y., Lu, J., Hu, B., Lin, Q., 2019. Adsorption and degradation in the removal of nonylphenol from water by cells immobilized on Biochar. *Chemosphere* 228, 676–684.

- Melo, L.C.A., Puga, A.P., Coscione, A.R. et al. Sorption and desorption of cadmium and zinc in two tropical soils amended with sugarcane-straw-derived Biochar. *J Soils Sediments* 16, 226–234 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1199-y>
- Mohan, D.; Pittman, C. & Steele, Ph. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil. A critical review. *Energ. Fuels*. 20 (3):848-889, 2006.
- Molienda SlideShare. Recuperado de <https://es.slideshare.net/slideshow/molienda-24994633/24994633>
- Mukherjee, S., Sarkar, B., Aralappanavar, V. K., Mukhopadhyay, R., Basak, B., Srivastava, P., Marchut-Mikołajczyk, O., Bhatnagar, A., Semple, K. T., & Bolan, N. (2022). Biochar-microorganism interactions for organic pollutant remediation: Challenges and perspectives. *Environmental Pollution*, 308, 119609. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119609>
- Muszynska, E.; Hanus-Fajerska, E. Why are heavy metal hyperaccumulating plants so amazing? *BioTechnol. J. Biotechnol. Comput. Biol. Bionanotechnol.* 2015, 96, 265–271.
- O'Donnell, J. (2022, October 5). Biochar: The black gold for soils that is getting big bets in offset markets. Reuters. <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/Biochar-black-gold-soils-that-is-getting-big-bets-offset-markets-2022-10-05/>
- Ojuederie, O.B., Babalola, O.O., 2017. Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments: a review. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 14 (12), 1504.
- Orozco-Gutiérrez, G., de Lira-Fuentes, R.C. (2020). Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos provenientes de las podas de bambú (*Guadua angustifolia*). *Revista Mexicana de Análisis Económico e Investigación Tecnológica y de Vanguardia*, 1(1), 1-9. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/41/34>
- Palaniveloo, K., Amran, M.A., Norhashim, N.A., Mohamad-Fauzi, N., Peng-Hui, F., Hui- Wen, L., Kai-Lin, Y., Jiale, L., Chian-Yee, M.G., Jing-Yi, L., Gunasekaran, B., 2020. Food waste composting and microbial community structure profiling. *Processing* 8 (6), 723.
- Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., & Soccol, V. T. (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: Sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 74(1), 69-80.
- Pennsylvania State University. (n.d.). **\*\*Pyrolysis and torrefaction\*\***. EGEE 439: Alternative Fuels from Biomass Sources. Retrieved from <https://www.e-education.psu.edu/egee439/node/537>
- Pentón-Fernández, Gertrudis; Martín-Martín, G. J.; Brea-Maure, Odelín; Brun- et-Zulueta, J.; Hernández-Santovenia, Orilda & Schmidt, H.-P. Efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos clones de *Manihot esculenta* Crantz. *Pastos y Forrajes*. 43 (2):159-168. 2020.
- Pentón Fernández, G., Schmidt, H. P., Milera Rodríguez, M. C., Martín Martín, G. J., Brea Maure, O., & Brunet Zulueta, J. (2024). Empleo de fertilizantes orgánicos basados en Biochar, producidos a partir de residuos agropecuarios. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior, Central España, Matanzas, Cuba.

- Qian, K., Kumar, A., Zhang, H., Bellmer, D., & Huhnke, R. (2015). Recent advances in utilization of Biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1055–1064. doi:10.1016/j.rser.2014.10.074
- Ramírez, I. & Blanco, D. Estudio de la inclusión de microorganismos benéficos en el control de las emisiones de amoníaco presentes en las excretas avícolas en la Granja San Vicente de la provincia El Oro. Ecuador. *Memorias de Congreso Agro-ciencia 2009*. Universidad Agraria de La Habana. San José de las Lajas, Cuba, 2009.
- Reddy, R. L., Reddy, V. S., & Gupta, G. A. (2013). Study of bio-plastics as green and sustainable alternative to plastics. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(5), 82-89.
- Rocha, G. J. M., Gonçalves, A. R., Oliveira, B. R., Olivares, E. G., & Rossell, C. E. V. (2012). Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification of sugarcane bagasse for bioethanol production. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 274-282.
- Saleem, S., Mushtaq, N.U., Shah, W.H., Rasool, A., Rehman, R.U., 2021. Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments. In: *Heavy Metal Toxicity in Plants. Physiological and Molecular Adaptations* CRC Press, pp. 139–156.
- Santos, F., & Rossetto, R. (2006). Sugarcane: agricultural production, bioenergy and ethanol. *Bioresource Technology*, 97(8), 1409-1417
- Schmidt, H. P.; Pandit, B. H.; Cornelissen, G. & Kammann, C. I. Biochar-based fertilization with liquid nutrient enrichment: 21 field trials covering 13 crop species in Nepal. *L. Degrad. Dev.* 28, 2017.
- Schmidt, H. P. & Taylor, P. Kon-Tiki - the democratization of Biochar production. *Biochar J.*, 2014.
- Schmidt, H. P. & Taylor P. Kon-Tiki flame curtain pyrolysis for the democratization of Biochar production. *Biochar J.* 1:14-24, 2014.
- Scott, H. L.; Ponsonby, D. & Atkinson, C. J. Biochar: an improver of nutrient and soil water availability - what is the evidence? *CAB Reviews*. No. 019, 2014. DOI: 10.1079/PAVSNNR20149019
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos. (s.f.). San Luis Potosí, primer lugar nacional en producción de piloncillo. Recuperado el 18 de junio de 2024, de <https://slp.gob.mx/sedarh/Paginas/SAN-LUIS-POTOS%C3%8D,-PRIMER-LUGAR-NACIONAL-EN-PRODUCCI%C3%93N-DE-PILONCILLO.aspx>
- Singh, J., & Singh, S. (2011). Sustainable development of sugar industry in India. *Sugar Tech*, 13(3), 247-258.
- Socol, C. R., & Vandenberghe, L. P. S. (2003). Overview of applied solid-state fermentation in Brazil. *Biochemical Engineering Journal*, 13(2-3), 205-218.
- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, 83(1), 1-11.
- Trujillo Aranda, E. N. (2017). Producción y caracterización de Biochar a partir de residuos orgánicos avícolas. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM.

- Van der Ent, A.; Baker, A.J.; Reeves, R.D.; Pollard, A.J.; Schat, H. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction. *Plant Soil* 2013, 362, 319–334.
- Van Zwieten, L. et al. Effects of Biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil*. 327:235-246, 2010.
- Volterra Ecosystems. (s.f.). Guía para producir Biochar. Recuperado de <https://volterra.bio/upload/file/guias-de-buenas-practicas-esp/guia-para-producir-Biochar.pdf>
- Wang, J., & Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of Biochar: a review. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>
- Wang, J., Liao, Z., Iftikhar, J., Shi, L., Du, Y., Zhu, J., Xi, S., Chen, Z., & Chen, Z. (2017). Treatment of refractory contaminants by sludge-derived Biochar/persulfate system via both adsorption and advanced oxidation process. *Chemosphere*, 185, 754-763. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.084>
- Weber, K., & Quicker, P. (2018). Properties of Biochar. *Fuel*, 217, 240–261. doi:10.1016/j.fuel.2017.12.054
- Xiao, R., Wang, J.J., Gaston, L.A., Zhou, B., Park, J.-H., Li, R., Dodla, S.K., Zhang, Z., 2018. Biochar produced from mineral salt-impregnated chicken manure: fertility properties and potential for carbon sequestration. *Waste Manage. (Tucson, Ariz.)* 78, 802–810.
- XSMH156. (s.f.). Pirólisis a baja temperatura del bagazo de caña de azúcar para la producción de combustibles líquidos. Recuperado de: XSMH156PIRÓLISIS A BAJA TEMPERATURA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA LA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS.pdf (repositorioinstitucional.mx)
- Yang, X., Liu, J., McGrouther, K. et al. Effect of Biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. *Environ Sci Pollut Res* 23, 974–984 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4233-0>
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M., & Zimmerman, A. R. (2012). Effect of Biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, 89(11), 1467-1471. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.06.002>
- Zhuang, H., Han, H., Xu, P., Hou, B., Jia, S., Wang, D., Li, K., 2015. Biodegradation of quinoline by *Streptomyces* sp. N01 immobilized on bamboo carbon supported Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Biochem. Eng. J.* 99, 44–47.
- MercadoLibre. (s.f.). Biochar. Recuperado el 11 de junio de 2024, de <https://listado.mercadolibre.com.mx/Biochar>

