

2. SECADO SOLAR EN PROCESOS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA PROVENIENTE DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

SOLAR DRYING IN BIOMASS CONVERSION PROCESSES FROM AGRO-INDUSTRIAL WASTE.



AUTORES

Anahí Arreaga Cancino,
Mónica Patricia Camas-Náfate,
Belkis Sulbarán-Rangel

DOI: <https://doi.org/10.59730/rer.v12n55a4>

Palabras claves:
biomasa, residuos, secado
solar.

INTRODUCCIÓN

Las actividades agroindustriales en los últimos años se han incrementado y esto ha generado una gran cantidad de residuos los cuales son poco aprovechados. Según la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca en el año 2023, se generaron aproximadamente más de tres mil toneladas de residuos en el Estado de Chiapas [1], que en su mayoría son incinerados o vertidos a los cauces receptores. Estos residuos representan un gran potencial para ser convertidos en subproductos de gran valor económico, como materiales avanzados a partir de sus componentes poliméricos, entre ellos podemos destacar a la celulosa, nanocelulosa, la ligninas, nanolignina y a los materiales compuestos reforzados con fibras y nanofibras.

Además, estos residuos pueden aprovecharse para la generación de energía mediante procesos de digestión anaerobia o bien a la generación de energía, lo que contribuye a reducir la huella de carbono asociada a su manejo inadecuado o abandono. Sin embargo, una de las limitantes del uso de las biomásas en los procesos de conversión, es su alto contenido de humedad lo que dificulta su transporte y su transformación. Convencionalmente se han usado hornos eléctricos para reducir la humedad, pero estos generan un costo energético considerable en el proceso de conversión, y se ha utilizado el secado directo al sol, pero este es lento.

Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo mostrar cómo el secado solar, a través de dispositivos especialmente diseñados, puede reducir el contenido de humedad en distintos tipos de biomasa antes de ser sometida a un proceso de conversión. El uso de energía solar en dispositivos solares reduce los tiempos de exposición directa al sol y reduce el uso de hornos eléctricos, con ello se disminuyen los costos en los procesos de conversión logrando así economizar el proceso y valorizar la biomasa poco utilizada.

Las alternativas de aprovechamiento de los residuos agroindustriales representan una oportunidad para transformar un problema en una solución sostenible y aportar a la conservación del medio ambiente. En este contexto, el secado solar no solo destaca como una opción técnicamente viable para el pretratamiento de la biomasa, sino que también representa una estrategia accesible para el sector rural y agrícola al reducir costos energéticos y fomentar el uso de energías limpias. De esta manera, se promueve una gestión más eficiente de los residuos, se generan beneficios sociales al impulsar el desarrollo local y se contribuye activamente a la mitigación del cambio climático.

“... en el año 2023, se generaron aproximadamente más de tres mil toneladas de residuos en el Estado de Chiapas.”

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES IMPORTANTES EN MÉXICO

"Uno de los residuos agroindustriales más destacados en México es el bagazo de agave."

En México existen diversas fuentes de residuos provenientes de la biomasa con gran potencial para el aprovechamiento. Entre las más relevantes se encuentran los residuos agrícolas, forestales y agroindustriales, que pueden aprovecharse para la producción de biocombustibles, electricidad y otros subproductos útiles. Básicamente porque químicamente están constituidos por polímeros naturales como son la celulosa, la hemicelulosa que son carbohidratos ricos en azúcares y la lignina que es una sustancia con gran potencial energético y con propiedades que la hace única en la generación de subproductos.



**400,000
toneladas**



"La cascarilla de café genera aproximadamente 412 mil toneladas, lo que equivale al 39% del total de residuos de esta industria."



Uno de los residuos agroindustriales más destacados en México es el bagazo de agave, con una producción de aproximadamente 400,000 toneladas, lo que representa el 30% de los residuos derivados de esta planta [2]. Su aprovechamiento es crucial, sobre todo en la industria tequilera, donde se genera en grandes volúmenes. Además, el agave tequilana weber var. azul tiene una producción de 1.4 millones de toneladas, que va en aumento cada año [3]. El maíz es otro cultivo clave en el país, con una producción total de 27.5 millones de toneladas [1]. Dentro de sus residuos, el rastrojo de maíz es el más significativo, alcanzando 13.7 millones de toneladas, lo que representa el 50% del total de residuos agrícolas generados por este cultivo. Otro subproducto importante del maíz es la mazorca, con 4.6 millones de toneladas (17% del total de residuos agrícolas). Estos residuos tienen un alto potencial de aprovechamiento en la generación de biocombustibles y biomateriales. Otra biomasa de gran importancia en México es el bagazo de caña de azúcar, con una producción de 11.1 millones de toneladas, equivalente al 20% de los residuos derivados de la caña de azúcar. La caña de azúcar por sí sola alcanza una producción de 55.5 millones de toneladas, lo que la convierte en un recurso clave para la producción de bioenergía y etanol [1-3].

En el sector del café, los residuos también representan una fuente importante de biomasa. La cascarilla de café genera aproximadamente 412 mil toneladas, lo que equivale al 39% del total de residuos de esta industria. En paralelo, la producción total de café en México es de 1.05 millones de toneladas, lo que indica que una parte considerable de la cosecha se convierte en subproductos aprovechables [1]. El sorgo es otro cultivo importante en el país, con una producción total de 4.8 millones de toneladas. De este volumen, el rastrojo de sorgo genera 2.9 millones de toneladas, lo que representa el 61% de los residuos agrícolas de este cultivo. Este material puede ser utilizado en la producción de biogás o como insumo en la alimentación animal [1].

IMPORTANCIA DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Los residuos agroindustriales representan una fuente invaluable de materia prima para la generación de productos de alto valor agregado. Su aprovechamiento no solo contribuye a la mitigación del cambio climático, sino que también impulsa el desarrollo tecnológico y favorece un equilibrio entre la economía y la industria. Además, promueve la transición de materiales sintéticos a alternativas naturales y sustentables, fortaleciendo la economía circular y la conservación de los ecosistemas mediante el uso eficiente de los recursos.

Residuos como bagazos, rastrojos y cáscaras provenientes del sector agrícola e industrial pueden convertirse en productos rentables y multifuncionales (Figura 1). Su valorización ofrece ventajas económicas al reducir costos de gestión de desechos, generar nuevos insumos comerciales y prevenir la contaminación ambiental, disminuyendo riesgos sanitarios asociados a su manejo inadecuado. Estudios indican que el aprovechamiento de estos residuos puede reducir entre un 51% y un 84% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con los combustibles fósiles [4].

Los desechos agrícolas tienen un gran potencial al ser transformados y reutilizados, generando productos rentables, de alta calidad, comercializables y multifuncionales. Entre los productos obtenidos destacan materiales avanzados (nanofibras de celulosa, nanopartículas de ligninas, etc), bioenergía y suplementos para la alimentación animal y humana. Para su conversión en recursos útiles existen diversas tecnologías, como el secado solar, la combustión, la pirólisis, la gasificación, la fermentación, la transesterificación y la digestión anaerobia, todas alineadas con estrategias de desarrollo sustentable.



Representación de las formas de aprovechamiento de los residuos agroindustriales



INCONVENIENTES DEL USO DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

El aprovechamiento de los residuos agroindustriales como materia prima en procesos de conversión presenta varios desafíos. Uno de los principales inconvenientes es su alto contenido de humedad, que en muchos casos supera el 20%, el límite adecuado para su uso eficiente en diversas aplicaciones. El secado de estos productos requiere la evaporación del agua, lo que implica un gasto energético de 2.26 MJ por kg de agua evaporada, equivalente a 9 MJ o 2.5 kWh de energía por cada kilogramo de producto seco [4].

Además, la humedad excesiva no solo dificulta su transformación, sino que también favorece el crecimiento de bacterias y hongos, acelerando su degradación. Por ello, es fundamental implementar procesos de secado o estrategias de conservación para garantizar su viabilidad en aplicaciones futuras.

Para optimizar su manejo y rendimiento, es necesario reducir su tamaño original, lo que permite mejorar la eficiencia del almacenamiento, reducir los costos de transporte y aumentar la densidad energética del material. Una biomasa más compacta facilita su manipulación y procesamiento, disminuyendo el volumen requerido para su traslado y optimizando su conversión en productos de valor agregado. Sin embargo, estos residuos suelen encontrarse en zonas agrícolas alejadas de los centros urbanos e industriales, lo que convierte su transporte en un reto logístico y económico significativo.

Otro obstáculo significativo son los elevados gastos de conversión, originados por la tecnología necesaria para modificar estos materiales, así como la inversión en maquinaria para su recolección, secado, densificación, enfardado y transporte. Por esta razón, la creación de una infraestructura apropiada es fundamental para fortalecer y desarrollar los procesos de comercialización sostenible de la biomasa de segunda generación.

RESECADO SOLAR DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Una alternativa para la implementación del proceso de secado de los residuos agroindustriales y que podría disminuir los costos energéticos es el secado utilizando deshidratadores solares. Estos son sistemas térmicos que tienen como fuente de calor la radiación solar determinada por la región en la cual sea instalado. Su objetivo principal es la reducción la humedad en el alimento o sustrato. El deshidratado se realiza con base al área de captación, la radiación disponible del lugar, así como también una transferencia de energía ocurrida en el captador y el aire (el cual es usado como fluido caloportador). Este fluido lleva la energía del área de captación al alimento, e interactúa con el transfiriendo esa energía hacia el agua en el interior de los alimentos o sustratos. Eleva su temperatura y realiza un proceso de evaporación del agua a nivel molecular.

Todos los dispositivos solares para el deshidratado deben contar con: área de captación, un monitoreo de temperatura y humedad interna, y algunos pueden contar con un control del flujo de aire (en este caso se les determina de circulación forzada). Mientras que también hay un tipo de deshidratador sin un control de temperatura y humedad interna, y aprovechan el flujo natural del aire en el interior. La diferencia puede deberse a costos, tipo de producto, cantidad de producto y disponibilidad de recurso solar. A continuación, se presentan dos prototipos que podrían ser utilizados para secar biomasa agroindustrial:

1

Secador solar tipo Invernadero:

son dispositivos de deshidratado solar donde la radiación incide directamente sobre el sustrato a secar, combina características, como el control de humedad y de temperatura de un invernadero, y que este control ayuda a una mejora en la calidad del secado. Puede ser hibridado con paneles fotovoltaicos para disminuir el tiempo de deshidratado. En la Figura 2 se muestra un deshidratador solar tipo invernadero, que opera por convección natural. Este diseño fue elegido debido a las características del sustrato utilizado (biomasa agroindustrial), el cual requiere un proceso de deshidratación lento, ya que un flujo constante y elevado de calor, podría provocar alteraciones en su composición química.

En el dispositivo tipo invernadero se alcanzan temperaturas máximas de 80° C, teniendo un horario de funcionamiento de 8:00 horas a 17:00 durante un 1 día, del mes de mayo. Para este dispositivo se le colocó una bandeja diseñada para una carga de hasta 5kg de sustrato. Los sustratos que se podrían utilizar son: Bagazo de agave, bagazo de caña, astillas de madera, rastrojo de maíz entre otros.

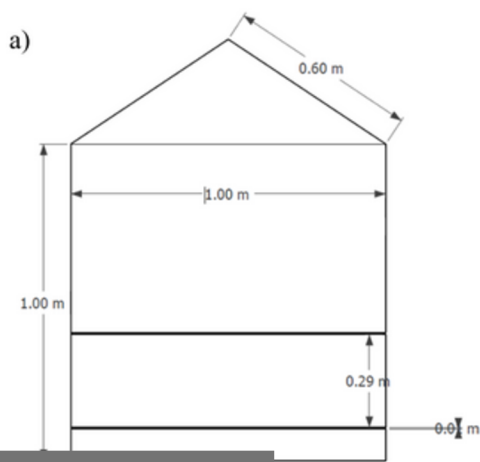
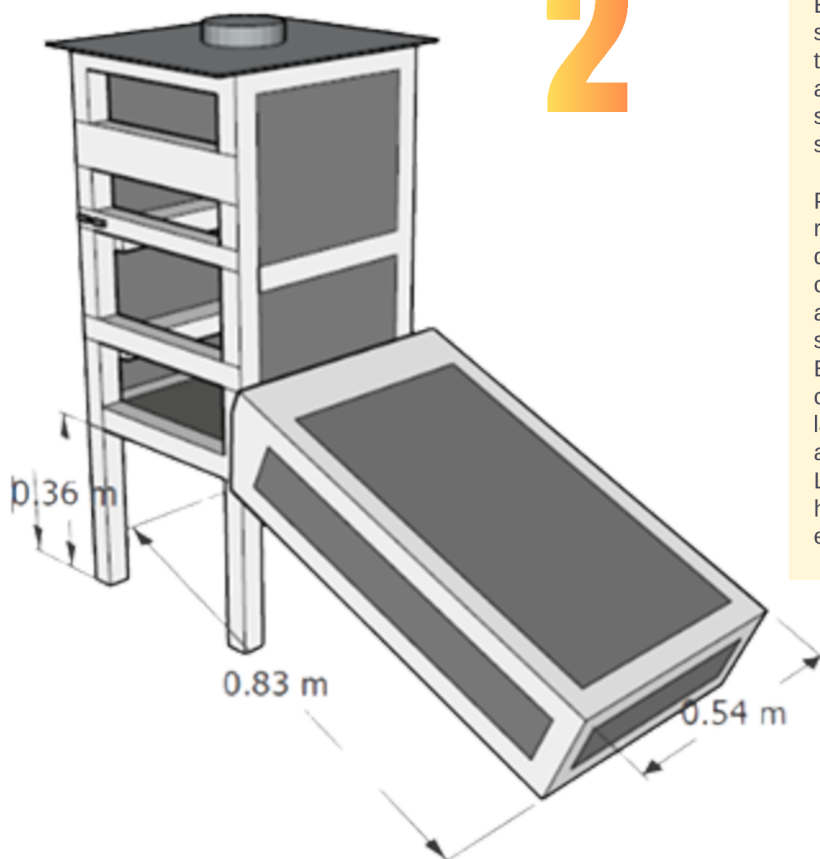


Figura 2. Secador solar tipo Invernadero:
a) Diseño con medidas y
b) Fotografía del dispositivo construido.
Fuente: Elaboración Propia

2

**Secador solar mixto:**

En este caso el sustrato recibe la radiación solar por uno de los captadores, pero también tiene un captador extra que se encarga de agregar más energía al aire de la cámara de secado y así mejorar el tiempo de secado como se observa en la Figura 3.

Para el caso de sustratos agroindustriales, se recibe la radiación solar en las caras laterales que componen la cámara de secado, y el captador principal tiene una angulación adecuada para el aprovechamiento del recurso solar disponible en la latitud del lugar usada. Este dispositivo tiene un flujo forzado, por las condiciones ambientales, así como el diseño de la doble captación de energía, permite tener un aire caliente con bajo contenido de humedad. Lo cual permite un secado mejor controlado, haciendo el secado más rápido comparado con el dispositivo anterior.

Figura 3. Secador solar mixto:
a) Diseño con medidas y
b) Fotografía del dispositivo
construido.

Fuente: Elaboración Propia.

De la Figura 3 se puede apreciar la cámara de secado (parte vertical) en donde se contiene bandejas donde se colocan la biomasa a secar. Permite una mejor distribución del aire caliente, asegurando un secado uniforme. La cubierta inclinada (transparente): Permite la entrada de la radiación solar, atrapando el calor dentro de la cámara inclinada y acelerando el proceso de secado. La salida de aire se encuentra en la parte superior de la cámara vertical y permite la expulsión del aire húmedo, evitando la condensación dentro del sistema. Los soportes y estructura mantienen la estabilidad del secador y aseguran una circulación eficiente del aire.



CONCLUSIONES

El secado solar se presenta como una alternativa viable y sostenible para reducir la humedad de la biomasa proveniente de residuos agroindustriales, facilitando así su utilización en procesos de conversión. La implementación de esta tecnología contribuye a la reducción de la huella de carbono al minimizar la dependencia de fuentes de energía convencionales y promover el uso eficiente de recursos renovables como el sol y de aprovechamiento de residuos. Esto no solo hace más rentable el proceso de conversión de biomasa, sino que también promueve la valorización de residuos que de otra manera se desperdiciarían o generarían impactos negativos al medio ambiente.

En este sentido, su implementación no solo representa un beneficio ambiental y económico, sino que también podría tener un impacto social positivo al fomentar el desarrollo de comunidades rurales y agroindustriales, generando empleos en el sector de energías renovables y promoviendo la autonomía energética en zonas con acceso limitado a fuentes convencionales. De esta manera, el secado solar se posiciona como una solución integral que impulsa la sostenibilidad desde múltiples dimensiones, consolidándose como una herramienta clave en la economía circular y la lucha contra el cambio climático.



El secado solar herramienta clave en la economía circular y la lucha contra el cambio climático

REFERENCIAS

1. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Anuario Estadístico de Producción Agrícola. 2023. <https://www.conapesca.gob.mx/>. 28/02/2025.
2. Serrano, M.R., H.S. Barquín, and A.R.J.G.-c. Serrano, Del agave a la arquitectura en tierra.: Aprovechamiento de fibras naturales de los desechos de la agroindustria en la fabricación del adobe biocompuesto. Ge-conservación, 2024. 25(25): p. 44-52.
3. Tena-Meza, M.P., et al., Caracterización agroclimática del cultivo de Agave tequilana Weber en la barranca del Río Santiago. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 2023. 14(3): p. 375-387.
4. Sarah, M., et al., Solar powered dryers in agricultural produce processing for sustainable rural development worldwide: A case study from Nayarit-Mexico. Cleaner and Circular Bioeconomy, 2022. 3: p. 100027.