

# EL PELLET ENERGÉTICO

Una alternativa para valorizar el residuo agrícola de cosecha de caña de los pequeños productores cañeros de la provincia de Tucumán.



ING. IND. MARÍA INÉS SOLÓRZANO

TRABAJO FINAL INTEGRADOR PARA OPTAR AL GRADO  
ACADÉMICO SUPERIOR DE ESPECIALISTA EN INGENIERÍA  
BIOENERGÉTICA.

DIRECTOR: ING. GERÓNIMO CÁRDENAS

## RESUMEN

El uso de la biomasa cañera para fines energéticos contribuye a la conservación del medio ambiente, ya que produce menos emisiones contaminantes que los combustibles fósiles debido a la renovabilidad del cultivo de caña de azúcar y su utilización podría contribuir al desarrollo local y rural beneficiando a la economía de la Región.

La producción de pellet energético a partir de la maloja de caña por pequeños productores de caña de azúcar, se presenta como una alternativa atractiva para maximizar el aprovechamiento agrícola de este cultivo pudiendo también incrementar los ingresos de los productores, disminuyendo además los efectos nocivos de la quema del residuo agrícola de cosecha. La energía de estos pellets puede reemplazar a la de otros combustibles no renovables de origen fósil con el consiguiente beneficio ambiental.



## ÍNDICE

OBJETIVOS .....	3
DESARROLLO .....	4
RESULTADOS .....	27
CONCLUSIONES .....	28
ANEXO .....	30
BIBLIOGRAFIA .....	32

### **OBJETIVO GENERAL**

Este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis descriptivo del pellet energético como una alternativa para valorizar el residuo agrícola de cosecha de caña (RAC) del pequeño productor de caña de azúcar de la provincia de Tucumán.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar el volumen de residuo agrícola de cosecha de los pequeños productores de la provincia de Tucumán.
- Calcular la tasa de retorno energético del pellet de RAC.
- Estimar el potencial energético de la biomasa residual de los pequeños productores cañeros.

## INTRODUCCIÓN

### **Los pequeños productores cañeros de la provincia de Tucumán.**

La producción azucarera en Tucumán comenzó en el siglo XVII con la radicación de los Jesuitas en la provincia, pero cobró importancia con la llegada del ferrocarril a finales del siglo XIX lo que permitió traer a la provincia maquinaria pesada importada y generando así un acceso más fluido a los mercados de la región pampeana.

Hasta mediados de 1960, la economía Tucumana se sostenía principalmente en el monocultivo de caña de azúcar pero a partir de la crisis socio económica y fundamentalmente por el cierre de 12 ingenios, la producción cañera pasó a concentrarse en manos de unos pocos y los pequeños cañeros comenzaron a desaparecer, pasando de unos 10.000 a 4.500 en la actualidad.

La desregularización de la actividad cañera de los años 90 dejó a los minifundistas en una situación de desventaja frente a los grandes productores ya que muchos de ellos tuvieron que arrendar o vender sus tierras, viéndose obligados a migrar a la ciudad. Esto llevó a los pequeños productores a organizarse en cooperativas, fortalecerse y posicionarse frente a la industria azucarera.

La estructura productiva de la provincia de Tucumán, a diferencia de los ingenios de Salta y Jujuy que procesan caña propia, depende de la caña entregada por los productores cañeros ya que el 50 % de las tierras plantadas con esta gramínea les pertenecen. Existe una amplia variedad de productores que va desde el pequeño minifundista hasta las grandes empresas agropecuarias, cada uno con situaciones económicas, sociales, productivas y tecnológicas muy diferentes.

Según el Censo Nacional Agropecuario del año 2002, existían 5.364 explotaciones agropecuarias primarias (EAPs). De ellas, el 90,9% tenía menos de 50 hectáreas y 3.419 EAPs, el 63,7% del total, ocupaban menos de 10 hectáreas. Ahora bien, de acuerdo a la inscripción en maquila, en Tucumán, existían 6.357 productores cañeros, de los cuales aproximadamente 4.800 tenían menos de 50 has. Por otra parte, se estima que los productores grandes concentraban el 25%

de la tierra y los ingenios un 50%. Durante el período 2011-2014 estos dos últimos segmentos han aumentado la superficie plantada con caña en 50.000 hectáreas. (Informes de cadenas de valor, año 1 - n° 3. 2016)

Tomando la tipología de productores cañeros descrita por Morandi *et al.* (2012), podemos definir a los pequeños productores como aquellos que poseen explotaciones agropecuarias de 0,1 a 50 ha de caña.

La categoría de los pequeños productores comprende aquellos minifundistas (hasta 10 ha de caña) que practican una agricultura de subsistencia, con bajo nivel tecnológico (no disponen de maquinarias ni capital de trabajo y no practican ningún tipo de gestión empresarial) utilizan fuerza de trabajo exclusivamente familiar, y complementan sus ingresos por venta de caña, con la autoproducción de alimentos (huerta, gallinas y/o cerdos) e ingresos extraprediales (trabajo eventual y/o planes sociales). También se consideran pequeños productores a aquellos productores familiares más o menos diversificados (de 10 a 50 ha), con niveles de capitalización bajos, nivel tecnológico bajo a medio (disponen de maquinarias antiguas y obsoletas y practican una gestión empresarial con bajo nivel de especialización) y con fuerza de trabajo familiar con contratación eventual de asalariados en ciertas etapas del ciclo productivo. El rendimiento cultural de estas fincas se encuentra en el orden de las 55 t de caña/ha y rendimiento fabril de alrededor del 8%. (Morandi *et al.*, 2012).



Figura 1: Casa de productores cañeros de la provincia de Tucumán.

Los principales problemas de los pequeños productores se relacionan con su situación financiera. La ausencia de financiamiento para las tareas de plantación, cultivo y cosecha genera un atraso tecnológico y una fuerte dependencia tanto de los ingenios como de los grandes productores para realizar las labores culturales del cultivo, quienes se llevan un porcentaje de los ingresos perjudicando el margen de ganancia del pequeño productor.

Otro de los problemas que aquejan a la actividad agrícola de la caña de azúcar y comprometen el medio ambiente, es la quema de caña. Esta práctica muy difundida en los pequeños productores, es uno de los problemas ambientales más complejo que tiene la provincia de Tucumán relacionado con la producción de azúcar; se registran por año alrededor de 500 incendios de cañaverales que ocasionan situaciones de peligro para los asentamientos rurales cercanos a los focos de incendio y ocasionan perjuicio a las líneas eléctricas de alta tensión cercanas a esos incendios, además de contaminar el ambiente con humos y material particulado.

Algunos productores todavía realizan la quema de caña en pie para reducir la cantidad de hojas y despunte de la caña que se envía al ingenio y así evitar ser castigados

por exceso de trash. Otros productores, suelen quemar los residuos que quedan en el lote luego de la cosecha para facilitar las labores posteriores o para evitar una cobertura que demora el secado del suelo en las zonas más húmedas. También existen los incendios accidentales e intencionales iniciados por terceros.

Esta práctica, además de la contaminación ambiental que produce, ocasiona problemas de salud en la población, posibles accidentes viales, cortes e interrupciones en el servicio eléctrico y propagación de dichos incendios en infraestructuras cercanas.

Esta problemática es abordada en la ley nº 7459 y su decreto reglamentario 795/03 MDP, la cual prohíbe la quema de todo tipo de vegetación enraizada, arraigada, aclimatada o seca, en el caso específico de quema de caña, establece la creación de un Registro para Productores Cañeros, quienes deben inscribirse para poder hacer uso de la quema como método de cosecha.



Figura 2: Quema de cañaverales.

El residuo agrícola de la caña de azúcar, que actualmente es considerado un problema ambiental a causa de la quema en el campo, tiene un excelente potencial como

fuentes bioenergéticas, y puede ser utilizado como un medio de diversificación para aumentar la rentabilidad de los pequeños productores cañeros.

### **Aprovechamiento del residuo agrícola de cosecha (RAC)**

La caña de azúcar es uno de los cultivos con mayor capacidad para convertir la energía del sol en biomasa. Si tomamos en cuenta sólo el bagazo y la maloja, en los cañaverales se almacena alrededor del equivalente a una tonelada de petróleo por cada tonelada de azúcar que pueda producirse. (Reyes Montiel *et al.*, 2013).

Una tonelada de RAC seco (10% de humedad) equivale energéticamente a 1,45 toneladas de bagazo, al 50% de Humedad relativa o también, a 223 Nm<sup>3</sup> de gas natural. El RAC seco disponible en Tucumán es de 1,2 millones de toneladas y equivale a 1,74 millones de toneladas de bagazo o 268 millones de Nm<sup>3</sup> de gas natural, superior al consumo bruto y neto de los ingenios (160 millones de Nm<sup>3</sup> y 80 millones de Nm<sup>3</sup> respectivamente), según Feijóo *et al.* (2008).

En numerosos países se emplea el RAC como fuente de energía alternativa. En nuestro país, los casos más conocidos de aprovechamiento de este material son en el Ingenio Ledesma, en la provincia de Jujuy, y algunos ingenios de la provincia de Tucumán que utilizan el RAC junto con el bagazo para ser quemados en calderas y así autoabastecerse de energía para toda la zafra.

YPF Energía Eléctrica SA presentó como idea proyecto ante la licitación nacional RENOVAR a fines del 2017, la instalación de una planta que utilice la maloja de la caña como combustible para la generación de energía eléctrica en la Central El Bracho. También se están realizando investigaciones en la planta piloto de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, que consiste en el aprovechamiento energético del RAC mediante empleo de la tecnología de gasificación.

La densificación de los residuos por compactación y enfardado es una alternativa para reducir el volumen de los mismos para su transporte donde pueda ser quemado, con el objeto de lograr el máximo aprovechamiento energético de la biomasa cañera.

Los pellets energéticos son un tipo de biocombustible fabricado a partir de residuos o sub productos de los aserraderos y procesos de segunda transformación de la madera o bien de los residuos agrícolas de cosechas. De esta forma, se aumenta la densidad de la biomasa entre 6 a 8 veces.

La utilización más común de los pellets reside en el sector doméstico, para calefacción y agua caliente en viviendas unifamiliares, hoteles, piletas y edificios. El pellet se quema en estufas o calderas especiales para este biocombustible, equipos fáciles de usar y estéticamente agradables.



Figura 3: Residuo agrícola de cosecha en campo.

Si bien no existe tecnología nacional para los equipos de utilización de pellets, si existen varias empresas que comercializan estufas y calderas para uso doméstico.

En el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Tucumán, se realizó el primer ensayo a escala industrial de elaboración de pellets con maquinarias disponibles en el mercado, que permitió reunir pautas técnico-económicas para el diseño en el corto plazo, un modelo de negocios rentable, apuntado al desarrollo de un nuevo biocombustible para aplicaciones industriales de alcance regional, que cumpla con los estándares mínimos de calidad para su uso en equipos de combustión. A su vez, el Proyecto y la Subsecretaría de Bioindustria, coordinaron con la Subsecretaría de Desarrollo Foresto – Industrial y el Centro de Energías Renovables del INTI la exhibición de un prototipo de estufa de pellets a partir de residuos agrícolas de cosecha de las actividades tradicionales de Argentina.

#### **Mercado mundial del pellet energético.**

La tecnología de la pelletización está muy desarrollada e implementada en países europeos, sobre todo en el norte de dicho continente. La Unión Europea es el principal mercado de pellets del mundo.

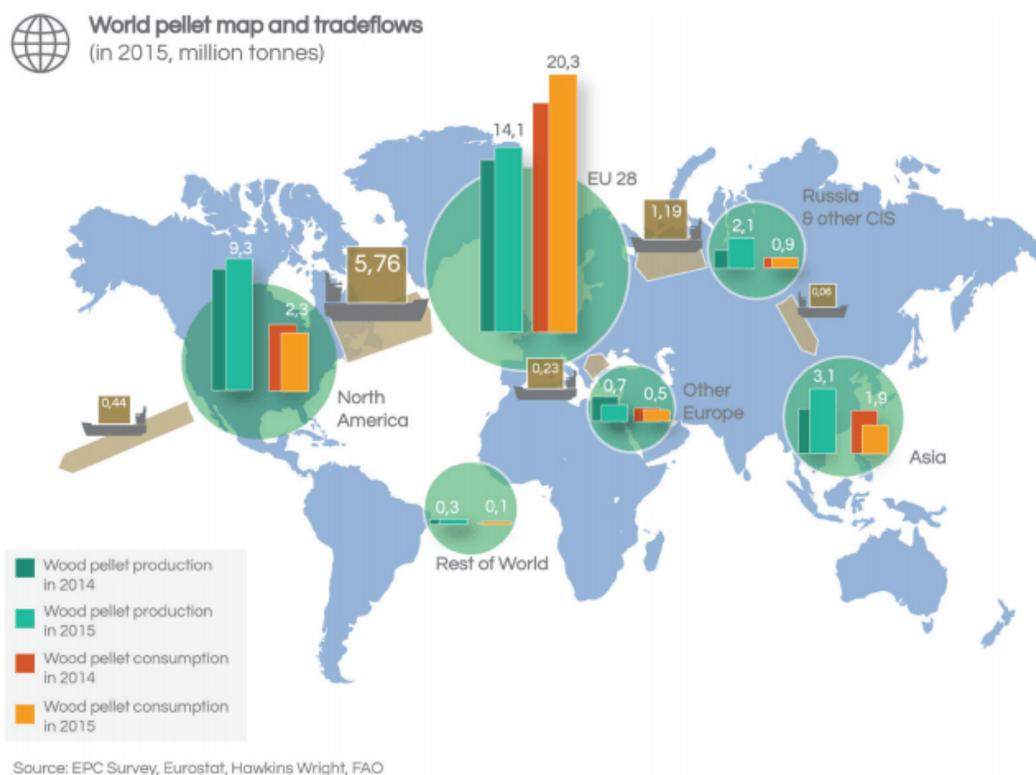


Figura 4: Mapa mundial y flujos comerciales del pellet. (AEBIOM, 2017).

Según el informe de la Asociación Europea de Biomasa (AEBIOM) (AEBIOM, 2017), en 2015 el consumo de pellets de madera en los 28 países que conforman la Unión Europea (UE-28) alcanzó los 20,3 millones de toneladas, lo que representó el 6 % del total de la biomasa sólida utilizada en Europa. En contraste con otras partes del mundo donde el consumo de pellets se ha estancado o disminuido, en este caso aumentó en la UE-28 ya que produjo 14,1 millones de toneladas de pellets que cubren el 70 % de su demanda.

La mayoría de la demanda de pellets de madera en la UE-28 es abastecida por su propia producción nacional, el resto de los pellets que utilizan provienen principalmente de América del Norte.

Otras regiones, como Rusia y los países de la Comunidad de los Estados Independientes (CEI), completan el suministro de pellets a la UE.

La producción de pellets de madera en la UE-28 sigue una tendencia al alza, creciendo un 4,7 % entre 2014 y 2015 . Las zonas de producción de pellets de madera se extienden por todos los estados miembros.

Podemos decir entonces que el sector de los pellets de madera contribuye a las economías rurales y regionales gracias al modo en que se emplea y el valor que genera., además, contribuye a la movilización y desarrollo de recursos locales, disminuyendo así la dependencia energética de la UE-28.

Podemos destacar que Alemania es el mayor productor de pellets de madera, produce 2 millones de toneladas, seguido de Suecia, Letonia, Estonia y Austria.

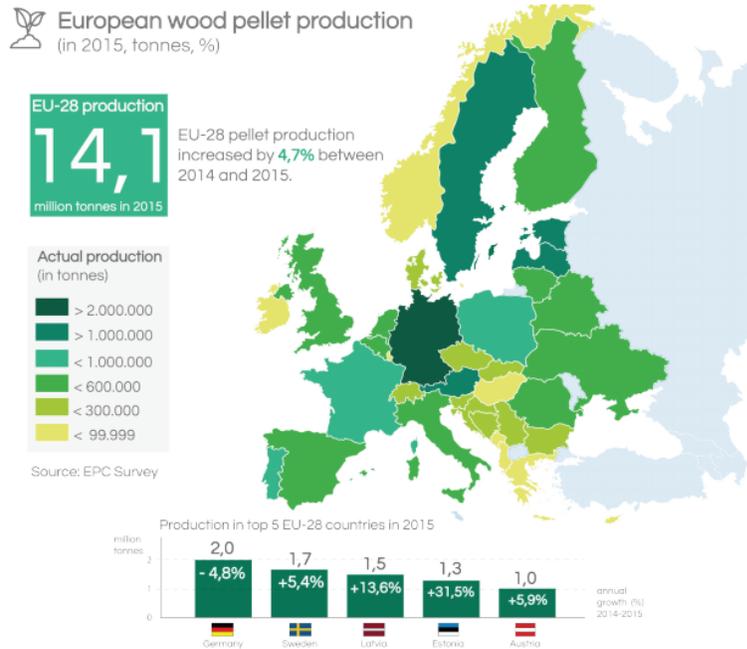


Figura 5: Producción europea del pellet de madera. (AEBIOM, 2017).

En la UE-28 se consumieron 20,3 millones de toneladas de pellets de madera en 2015, la mayor parte del consumo se destinó a la producción de calor que representó el 63,9 %.

El consumo de pellets para calor se puede dividir en tres mercados: calefacción residencial (42,2 %), calefacción comercial (15,7 %) y calor generado a partir de CHP (6 %).

El 36,1 % restante de los pellets de madera se utilizaron para la producción de energía. Cabe señalar que las tecnologías para producir energía a partir de pellets para calor, electricidad o ambos, están ampliamente desarrolladas ofreciendo procesos eficientes y confiables.

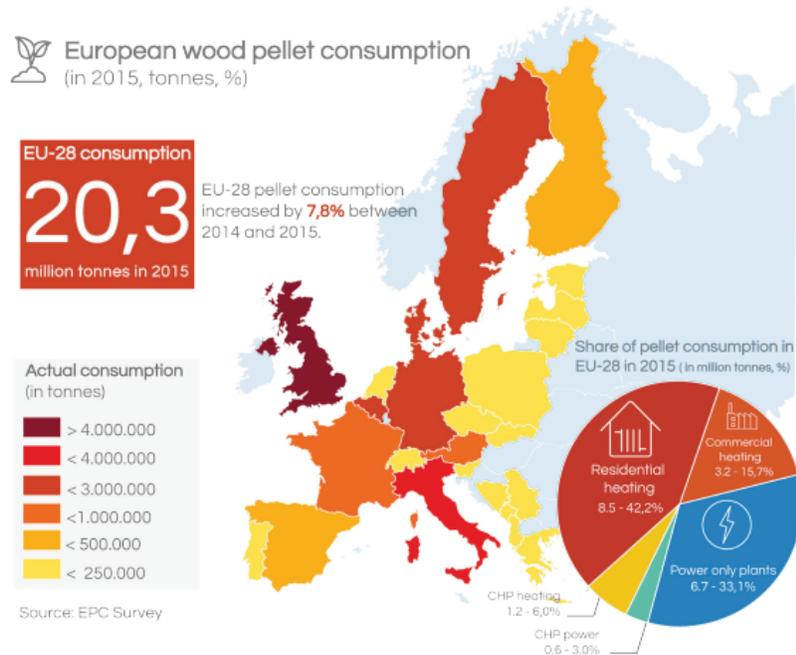


Figura 6: Consumo europeo del pellet de madera. (AEBIOM, 2017).

En Argentina, el 70% de las actividades forestales se encuentran en las regiones nororientales de Misiones, Corrientes y Entre Ríos. En 2015, esta región produjo 11.000 t de pellets de madera de los cuales aproximadamente la mitad se exporta (FAO, 2016).

Con un costo estimado de producción de alrededor de 13 € / t, los pellets argentinos son competitivos con pellets de otros países. A pesar del gran potencial para la producción de madera se han desarrollado pocas plantas de pellets en Argentina, en parte esto tiene su fundamento en un mercado nacional débil para pellets de madera debido a la competencia con el gas natural barato, asimismo, la logística para transportar la biomasa residual a las plantas de granulación todavía son desafiantes y costosas. Los productores se ven afectados por las políticas monetarias de Argentina que empeoran su posición en los mercados internacionales. (IEA, 2017).

## Estimación de la producción de residuos de caña de azúcar de los pequeños productores cañeros.

Considerando que la provincia de Tucumán, para la zafra 2018, tuvo un total de 273.460 ha de caña de azúcar cultivadas (Reporte Agroindustrial EEAOC, 2018) de las cuales, según el registro cañero, el 30% pertenece a productores cañeros con menos de 50 ha, tenemos un total de 82.038 ha de caña cultivada perteneciente a pequeños productores cañeros.

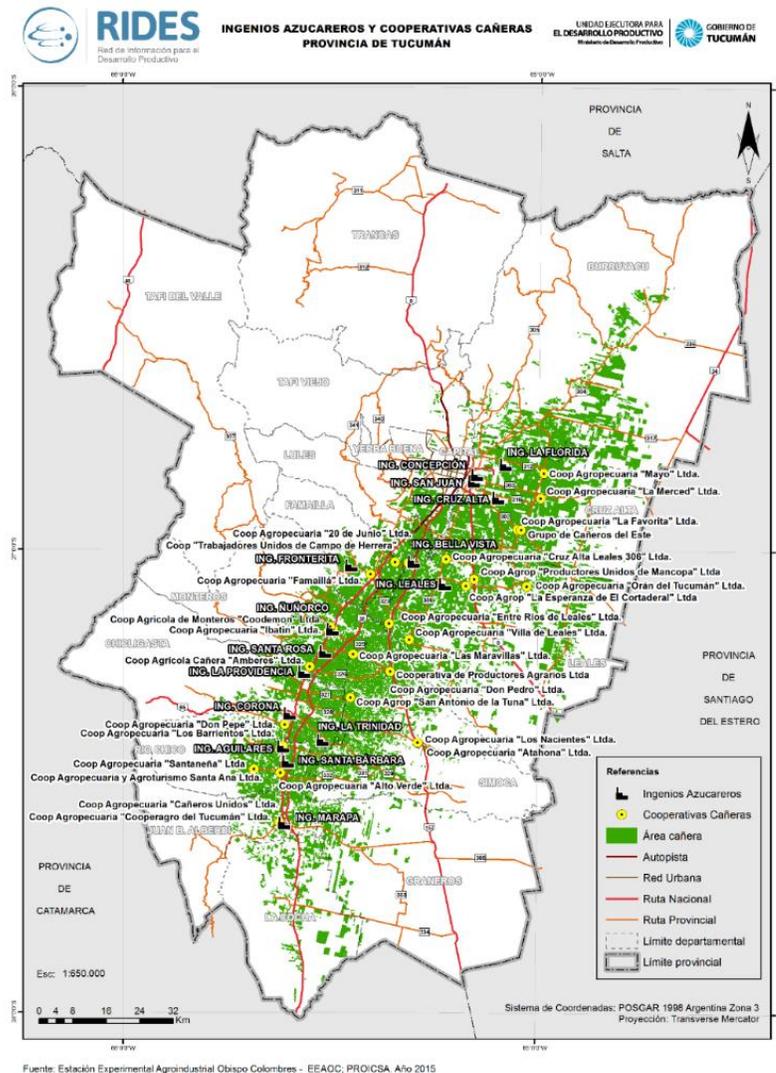


Figura 7: Ingenios azucareros y cooperativas cañeras.

El residuo agrícola que queda en campo luego de efectuarse la cosecha en verde es un 18% (Golato *et al.*, 2017) de la caña cosechada, por lo tanto, habría una disponibilidad total de 812.000 t de RAC perteneciente a los pequeños productores de la provincia de Tucumán.

Según informes de la EEAOC, es recomendable retirar del campo entre un 30-70 % de RAC según las necesidades agronómicas del suelo, dando un promedio provincial de 55%. Caro.( 2015).

Es decir que en la provincia existe aproximadamente 446.697 t de residuo proveniente de los pequeños productores cañeros, disponibles para ser aprovechados.

Tabla 1: Toneladas de residuo de cosecha de caña de los pequeños productores cañeros.

Superficie total de caña a cosechar de pequeños productores cañeros. Zafra 2018	<b>82.038</b>	<b>Ha</b>
Rendimiento cultural promedio	55	t/ha
Rac potencial (18% de la caña cosechada)	812.176	t
RAC recolectable (55% del Rac potencial)	446.697	t

Fuente: Elaboración propia con datos de la EEAOC.

El análisis espacial del balance energético derivado de biomasa, realizado por la FAO en el año 2016, dio como resultado que la demanda de biomasa seca para energía en la provincia, está compuesta en el 98% por los ingenios azucareros y el 1,82% restante por usuarios residenciales, escuelas, ladrilleras y adoberas.

Los ingenios consumen todo el volumen de biomasa ofertado, por lo que la biomasa generada por esta industria ya no estaría disponible. El 2% restante corresponde a un total de 69.969,3 t/año de biomasa seca que en parte podría ser cubierta por el pellet energético.

Como se dijo anteriormente, la oferta de biomasa seca perteneciente a los pequeños productores está calculada en unas 446.697 t anuales. Una de sus alternativas de aprovechamiento es la producción de pellets, los cuales pueden ser utilizados por usuarios residenciales de zonas rurales para producir energía calórica tanto para calefacción y cocina, como para agua caliente, cubriendo parte de la demanda existente en la provincia.

Actualmente en Tucumán existen 22 cooperativas cañeras y un consorcio que nuclea a varias de ellas. Es desde esta estructura colectiva, que los pequeños productores pueden organizarse para la recolección y almacenamiento de la materia prima, para ser entregada a las potenciales empresas pelletizadoras, o constituir ellos mismos una nueva unidad de negocio dentro de sus cooperativas.



Figura 8: Campo con caña cosechado.

La cadena de valor de pellet de RAC generaría puestos de trabajo y la creación de nuevas empresas intervinientes en las diferentes etapas de la cadena como se muestra a continuación en la Figura 9.

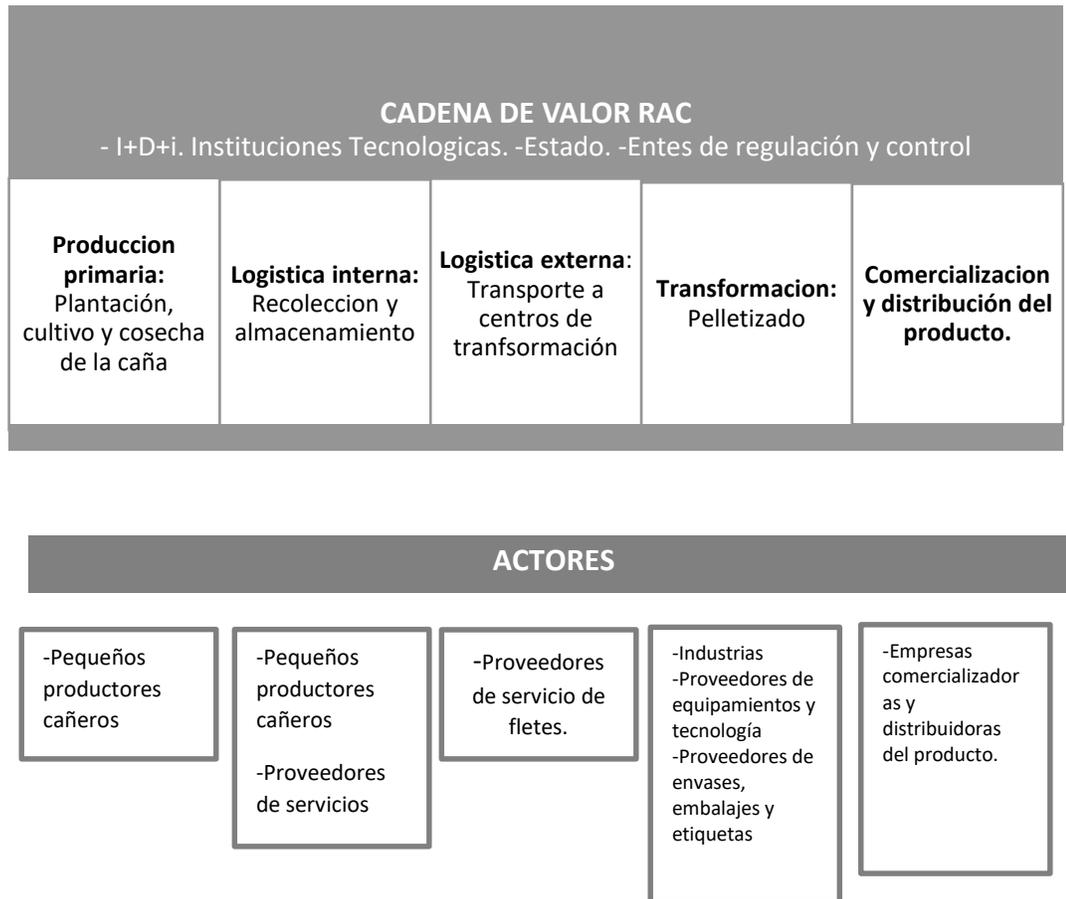


Figura 9: Cadena de valor del pellet de RAC de caña de azúcar  
 Fuente: Elaboración propia.

Es indispensable el trabajo en conjunto entre las instituciones de investigación y desarrollo, el estado, los proveedores de servicios y los proveedores de materia prima.

El uso domiciliario de pellet de RAC, debe analizarse en su factibilidad tanto técnica como económica. Si se logra valorizar este residuo, el aprovechamiento del RAC traería no solo beneficios económicos y sociales para este sector tan vulnerable de la provincia, sino

que también generaría más trabajo y reduciría los costos de energía para muchas familias, diversificando la matriz energética de la provincia.

### Esquema productivo del pellet de residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar.

Para el análisis de la tasa de retorno energético del pellet de RAC, partimos del diagrama de flujo del proceso productivo desde el secado en campo hasta el embolsado y dividimos el sistema en dos subsistemas, el primero corresponde a la logística de recolección que incluye las tareas de enfardado, recolección y transporte de la biomasa desde el lote donde se lo produjo, hasta la planta de producción de pellets y el segundo corresponde a la transformación de la materia prima que comprende las operaciones para llevar a cabo la conversión de la biomasa en pellets.

#### PROCESO DE ELABORACION DEL PELLETT

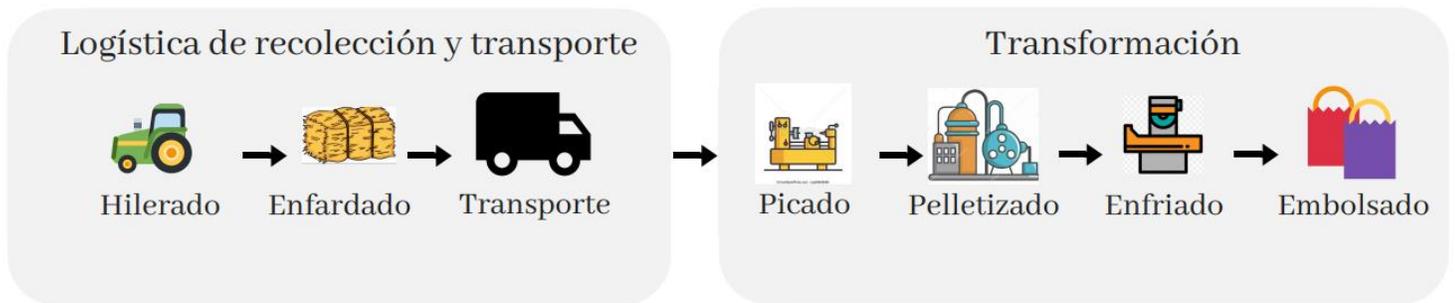


Figura 10: Proceso de elaboración del pellet.

#### ***Subsistema 1: Logística de recolección.***

El frente de recolección de RAC está conformado por un rastrillo hilerador, una enfardadora prismática, un tractor, un brazo cargador y un camión con acoplado.

El enfardado del residuo agrícola de cosecha de la caña de azúcar es más eficiente utilizando una enfardadora prismática, ya que tiene un mejor comportamiento operativo que una rotoenfardadora, teniendo en cuenta el volumen recolectado por superficie (cabezal recolector amplio con menor pérdida de RAC). A su vez, la obtención de fardos compactos, de mayor tamaño y calidad facilita la colocación de éstos en el camión de carga (con una mayor cantidad de RAC transportado), lo que influye directamente en la reducción de los costos de transporte del campo a la planta procesadora por kilogramo de RAC (Casen *et al.*, 2012)..

Un modelo de enfardadora prismática existente en el mercado, elabora fardos de 90cm de alto 120 de ancho y 210 de largo, con un peso de 470 kg. La productividad de la enfardadora es de 40 fardos/h, es decir, un poco más de lo que puede cargar un camión (36 fardos).

El fardo se carga en el camión mediante un brazo cargador, y el traslado de la biomasa enfardada se efectúa a través de un flete en camión que puede cargar hasta 36 fardos.



Figura 11: Enfardadora prismática.

### ***Subsistema 2: Transformación.***

El proceso de transformación es un proceso de granulación mediante extrusión; el principio operativo se basa en la presión ejercida por una serie de rodillos sobre el material, situados sobre una matriz metálica dotada de orificios de calibre variable. La materia prima atraviesa la matriz al mismo tiempo que se comprime, obteniéndose a la salida un diámetro característico a la matriz empleada. A la salida de la matriz, un dispositivo compuesto de cuchillas, corta los cilindros aún blandos, a la medida de la longitud deseada.

El flujo de proceso anterior implica las siguientes máquinas principales:

- 1) Máquina de cizallamiento: Corta y astilla la maloja en trozos más pequeños antes de la granulación.
- 2) Prensa de pellet de anillo de matriz.
- 3) Enfriador: Enfria pellets.
- 4) Máquina de embolsado: Empaca los pellets terminados en bolsas.

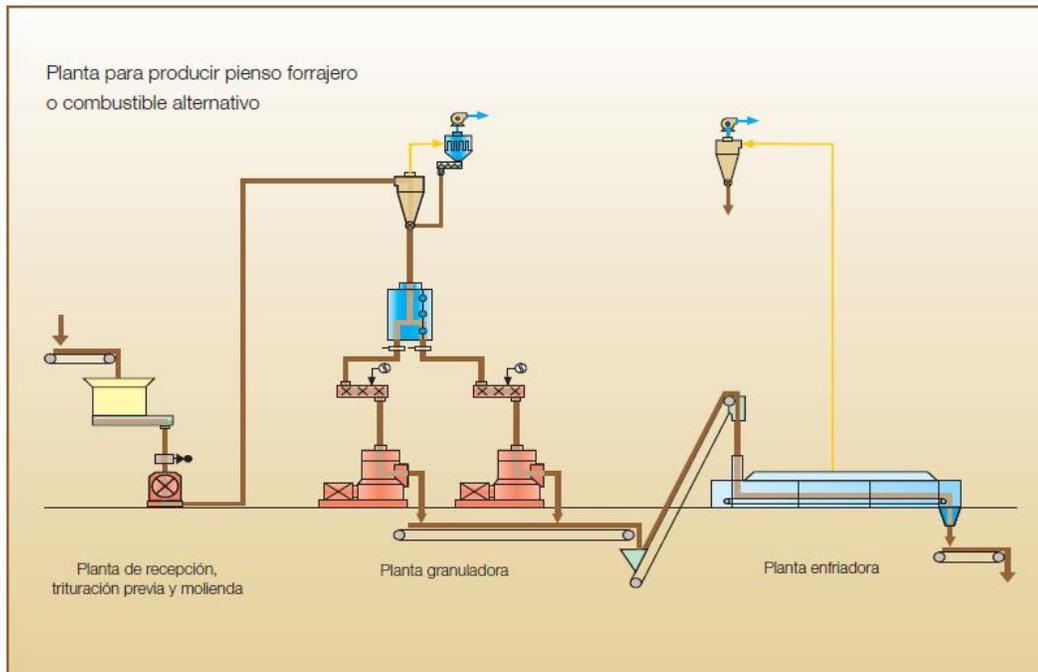


Figura 12: Subsistema 2: Transformación.

En el ensayo de pelletizado de RAC realizado por por Cantos y Perea (2015) se obtuvieron los siguientes datos:

En la Tabla 2 se observa la comparación de las características energéticas entre Bagazo, RAC a granel y Pellet de RAC.

Tabla 2: Características energéticas del bagazo, RAC y pellet de RAC.

Tipo de combustible	Ceniza (%)	PC <sub>SUP</sub> (Kcal/Kg)	Humedad (%)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
Bagazo	5,5	4.600	55	60-80
RAC	11,2	3.550	15,0	15
Pellet de RAC	8,5	4.030,3	8,5	600

### Cálculo de la Tasa de retorno energético

La Tasa de Retorno Energético (TRE) es la relación entre la energía entregada por un proceso (E obtenida) y la energía utilizada directamente e indirectamente para llevar a cabo ese proceso (E invertida) según se expresa en la ecuación 1. La TRE pretende comparar la cantidad de energía entregada a la sociedad (E neta) por una tecnología, con la energía total requerida (E invertida) para procesar esa energía a una forma útil (ecuación 2).

$$TRE = \frac{E \text{ obtenida}}{E \text{ invertida}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$E \text{ neta} = E \text{ obtenida} - E \text{ invertida} \quad \text{Ecuación 2}$$

a) Cálculo de la cantidad de energía invertida para procesar una tonelada de RAC.

En este trabajo se considero como energía invertida unicamente a la energía consumida en los procesos directos de producción.

Tabla 3: Energía consumida para obtener 1 t de pellet de RAC.

Procesos	Gasoil (l/tRAC)	Kwh/t	Kcal/tRAC	KJ/t RAC
Hilerado	1,22 <sup>1</sup>		10.515	44.059
Enfardado	2,621		22.582	94.618

Transporte	0,67 <sup>1</sup>	5.775	24.196
Picado		31 <sup>2</sup>	111.600
Pelletizado		44 <sup>2</sup>	158.400
Enfriado		2 <sup>2</sup>	7.200
Embolsado		0,22 <sup>2</sup>	792
<b>TOTAL</b>			<b>440.864</b>

$PCI_{\text{Gasoil}} = 8.619 \text{ Kcal/l}; 1 \text{ Kcal}=4,19 \text{ Kj}; 1\text{Kwh}=3.600 \text{ Kj}$

<sup>1</sup> Analisis de diferentes opciones logísticas para el uso de los residuos agrícolas de la caña de azúcar con fines energéticos en la Provincia de Tucumán, Ing. Ind. Enrique Feijóo.

<sup>2</sup> Especificaciones técnicas equipos. (Anexo)

b) Poder calorífico del pellet de RAC (estimado por Cantos y Perea (2015)).

Tabla 4: Poder calorífico superior del pellet de RAC.

PCsup (Kcal/kg)	PCsup (KJ/Kg)
4.030,3	16.886,957

El poder calorífico inferior (PCI) es función de la humedad relativa que presenta el pellet y puede ser calculado según la siguiente fórmula simplificada (Hugot, 1986):

$$PCI_{\text{Pellet RAC}} = 16.886,957 - 203 \times W \text{ [KJ / Kg]}$$

Donde:

W = porcentaje de humedad del pellet de RAC

Considerando  $W = 8,5\%$ , se obtiene  $PCI_{\text{Pellet RAC}} = 15.161,46 \text{ kJ/kg}$ .

c) Cálculo de la cantidad de energía obtenida de una tonelada de RAC pelletizada.

Suponiendo que la eficiencia del proceso de pelletización es del 80%, de 1 t de RAC se obtiene 0,8 t de pellets, por lo que la energía obtenida de una tonelada de RAC pelletizada estaría dada por:

$$E \text{ obtenida} = \text{eficiencia de pelletización} \times PCI \text{ Pellet RAC}$$

$$E \text{ obtenida} = 0,8 \times 15.161,46 \text{ Kj/Kg}$$

E obtenida = 12.129,16 Kj/Kg

d) Cálculo de la Tasa de Retorno Energético del pellet de RAC empleando la ecuación 1.

$$TRE = \frac{E \text{ obtenida [Kj/t]}}{E \text{ invertida en el proceso [KJ/t]}}$$

$$TRE = \frac{12.129,16 \text{ Kj/kg}}{440,86 \text{ Kj/Kg}}$$

**TRE=27,5**

Tabla 5: resumen del proceso de transformación del RAC recolectado en pellet y su aprovechamiento térmico para generación de electricidad.

RAC recolectable (T)	<b>446.697</b>
Eficiencia del pelletizado	80%
Pellet totales (T)	357.358
PCI <sub>Pellet Rac</sub> (KJ/T)	15.161,46
Energía Total KJ	5.418.062.958
Energía Total GWh <sub>(térmicos)/anuales</sub>	1,5

1 KJ = 2,77 e<sup>-10</sup> GWh

### Beneficio ambiental

Las emisiones producidas por el fuego no incluyen solamente CO<sub>2</sub>, sino también otros gases de efecto invernadero o precursores de éstos que se originan de la combustión incompleta del combustible. Entre estos se incluyen el monóxido de carbono (CO), el metano (CH<sub>4</sub>), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) y especies de nitrógeno (p. ej. N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>) (Levine, 1994).

Según el estudio realizado por Jorge Chalco Vera et.al, la fertilización sintética con nitrógeno como la urea y la quema de maloja aumenta las emisiones de  $N_2O$ , por lo tanto la valorización de la maloja podría ser una medida para mitigar estas emisiones en el sistema de suelos de caña de azúcar en Tucumán, evitando la quema, su impacto en la salud y el ambiente y promoviendo un desarrollo sostenible.

### **Beneficio socio económico**

Tucumán cuenta actualmente con 273.737 Ha cultivadas con caña de azúcar y un total de 15 ingenios distribuidos en toda el área cañera de la provincia, siendo el azúcar blanco directo el principal producto obtenido luego del proceso de industrialización y único rédito percibido por el agricultor, el cual en la mayoría de los casos es comprado por el mismo industrial para comercializarlo.

Actualmente la unidad económica del cultivo de caña de azúcar es de 250 ha por lo que todos los productores que cuentan con superficies inferiores no disponen de los ingresos suficientes para cubrir sus necesidades familiares. Bajo el sistema de comercialización de la caña de azúcar utilizado en la provincia de Tucumán (maquila) una Ha utilizada para este cultivo presenta una rentabilidad mensual de USD 31,5.

El productor podría recolectar de 1 ha de caña de azúcar 5.445 kg de residuos aproximadamente, aumentando su contribución marginal en un 40 %.

Según la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) el desarrollo de la cadena de valor enfocada en el productor, puede ayudar a la población rural a salir de la agricultura de subsistencia y a obtener las ganancias más lucrativas.

Actualmente las relaciones entre los actores de la cadena de valor del azúcar son sumamente asimétricas, esto da lugar a una considerable dependencia de los pequeños productores de los ingenios.

El desarrollo de la cadena de valor del pellet, basada en las relaciones de negocios más estrechas entre agricultores, procesadores, comerciantes y minoristas, ofrece un

potencial significativo para mejorar y aumentar el empleo y los beneficios económicos de los productores rurales.

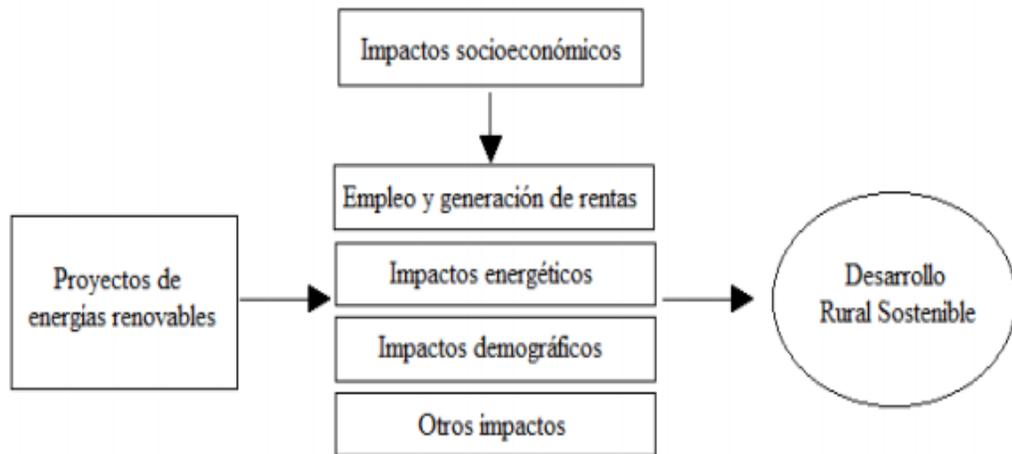


Figura 13: Impacto de la implementación de las energías renovables en el desarrollo sostenible rural. (Organización internacional del trabajo (OIT))

## RESULTADOS

-Suponiendo una eficiencia del proceso de pelletizado del 80%, de un 1 t de RAC se podría obtener 0,8 t de pellet, lo que implicaría un total provincial posible de 357.358 t de pellet por zafra.

-La tasa de retorno energético del pellet de RAC, considerando únicamente la energía de los procesos directos de producción del pellet es positiva, entregando 27 veces mas la energía utilizada en la producción del combustible.

-En el caso de estudio se logra estimar que el potencial energético de la biomasa residual de los pequeños productores cañeros es de 1,5 GWh<sub>(térmicos)</sub>/año.

-El 2 % de la demanda insatisfecha de biomasa seca que existe en la provincia podría ser cubierta por el pellet energético y el excedente ser vendido en el mercado externo, generando desarrollo y crecimiento al generar nuevos ingresos.



Figura 14: Lote de la Cooperativa Barrientos cosechado.

## CONCLUSIONES

La valorización del RAC de los pequeños productores tiene potencial para mitigar los gases de efecto invernadero, evitando las consecuencias ambientales, los problemas de salud y los cortes de energía ocasionados por la quema y a su vez será una contribución a la diversificación de la matriz energética de la provincia de Tucumán utilizando sus recursos renovables.

Esta alternativa de aprovechamiento de la maloja de la caña puede ser aprovechada en favor del desarrollo de la población local, generalmente la más vulnerable, fomentando un nuevo estilo de vida que tenga como prioridad el uso de los residuos con los que cuentan, lo cual genera un nuevo enfoque de auto-sostenimiento que puede aprovecharse y resultar en estrategias innovadoras.

Si bien actualmente existen investigaciones y desarrollo tecnológico por parte de diferentes instituciones, universidades y empresas, y es considerada un núcleo estratégico en el Plan Argentina Innovadora 20-20; es necesario también el fomento de políticas públicas y planes estratégicos que desarrollen la cadena de valor y el mercado del pellet para que la maloja de la caña pase de ser un residuo a ser considerado un producto energético.

Técnicamente hay que aunar esfuerzos para seguir investigando y solucionar problemas de logística en la recolección y almacenamiento, y encontrar una tecnología óptima para generar un pellet energético que cumpla con estándares de calidad requerida por los aparatos de calefacción.

En el país hay empresas que se dedican a la venta de estufas y calderas importadas, por lo que sería necesario conceder incentivos para la producción de equipos nacionales.

Desde el punto de vista del mercado, hay que detectar la demanda del sector y pensar estrategias para desarrollar el mercado del pellet energético en la provincia, invirtiendo en la utilización de estrategias de comunicación para sensibilizar a la población

de los beneficios del uso del pellet y realizar un análisis de las ventajas competitivas para exportar.

Por último, el estado debe seguir promocionando las investigaciones de esta alternativa, destinando recursos a tales fines y generar incentivos económicos para las posibles potenciales empresas involucradas en la cadena de valor del RAC y brindado exenciones impositivas a los hoteles, establecimientos públicos y usuarios residenciales que utilicen esta combustible.

Es imprescindible, por lo tanto, realizar un estudio de factibilidad de este tipo de proyecto, para asegurar su sostenibilidad y los beneficios desde el punto de vista ambiental, social, y económico; que genere nuevos puestos de trabajo, minimice las consecuencias de quema de caña y aumente los ingresos de las familias cañeras.

## ANEXO

### Equipos marca HS - Machinery



#### Maquina de fresado

- Materiales disponibles: Fibra de palma, hierba y paja, etc.
- Modelo: HS-FS60, HS-FS80
- Energía principal: 30kw, 45kw
- Capacidad: 0.8-1.5 toneladas / hora

#### Prensa de pellet de horizontal

- Materiales Disponibles: Residuos de madera, EFB (fibra de palma), paja, cáscara de arroz, bambú, bagazo de caña de azúcar, etc.  
Modelo: HS-PM420, HS-PM508, HS-PM510, HS-PM850
- Energía principal: 90kw, 110kw, 132kw
- Capacidad: 1-3 toneladas/hora
- Aplicación: Producción de pellets de mediano a gran escala



### Enfriador



- Materiales disponibles: Pellets de madera y demás pellets de biomasa
- Modelo: HS-C1.5, HS-C3, HS-C4, HS-C6, HS-C8
- Energía principal: 0.75kw, 1.1kw, 1.5kw
- Capacidad: 1-16 toneladas/hora
- Aplicación: Producción pequeña a gran escala de pellets.

### Maquina de embalaje de pellets

- Materiales disponibles: Pellets de madera y demás pellets de biomasa
- Modelo: HS-L15
- Energía principal: 0.75kw+0.35kw+1kw
- Capacidad: 2-5 toneladas/hora
- Aplicación: Producción de ensacado de pellets de pequeña a mediana escala.

## BIBLOGRAFÍA

- Roque Fernando Caro. Estudio de Potencial de Mitigación. Estudio de Caso de Caña de Azúcar. (2015).
- Informe: Erradicación de la quema de caña de azúcar y residuos de cosecha en la Provincia de Tucumán: creación y acciones de la MESA DE GESTION AMBIENTAL DE CRUZ ALTA. (2014)
- Reyes Montiel, J. L et al. Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental.
- Feijoo et al. (2008) Aprovechamiento del RAC de la caña de azúcar como combustible en calderas; Jornadas SATCA, Tucumán
- Casen et al. Manejo de los residuos agrícolas de la cosecha de caña de azúcar: disponibilidad potencial y alternativas de enfardado.
- IEA Bioenergy. Global Wood Pellet Industry and Trade Study (2017).
- AEBIOM. Statical report 2017.
- Feijoó Enrique. Analisis de diferentes opciones logísticas para el uso de los residuos agrícolas de la caña de azúcar con fines energéticos en la Provincia de Tucumán. (2018)
- Cantos Benjamín Esteban, Cristian Leonardo Perea. Diseño de una máquina Pelletizadora para la preparación del RAC como combustible.(2015)
- Ministerio de Hacienda y Finanzas públicas. Informes de cadenas de valor año 1 - n° 3. (Julio 2016)
- Ministerio de desarrollo productivo, gobierno de Tucumán. Revista polo de inversión productivo. 2015-2016
- FAO.Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología Wisdom. Provincia de Tucumán. (2016)



- M.Pulido, Risso,Rearte, Sado Abdelhamid. Pelletizado de residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar en argentina. INTI Tucumán.(2016)
- Morandi, Rios y Perez. Analisis productivo y económico del cultivo de la caña de azúcar. Ediciones INTA. (2012)
- Programa para incrementar la competitividad del sector azucarero. ([www.proicsa.gov.ar](http://www.proicsa.gov.ar))
- Organización Internacional del Trabajo. ([www.ilo.org](http://www.ilo.org))