



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE TUCUMÁN



FACULTAD DE  
CIENCIAS ECONOMICAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL TUCUMAN

# **BASES TECNOLOGICAS PARA AVANCES EN LA AGRICULTURA TUCUMANA: CALCULOS DE OPORTUNIDADES Y RIESGOS**

Autor: Figueroa, Julio Alejandro

Director: Barboza, Eduardo

**2013**

Trabajo de Seminario: Licenciatura en Administración De Empresas

## PROLOGO

La cogeneración es una tecnología ampliamente desarrollada e introducida en el sector industrial. Una de las aplicaciones de la cogeneración es la combustión de un recurso natural que permita el movimiento de sistemas y mecanismos capaces de producir energía para ser aprovechada por el ser humano en la aplicación de trabajo, para lo cual se requiere pues de un elemento base de consumo llamado combustible, un proceso de extracción de energía del elemento, usualmente un proceso de combustión, un sistema de convertibilidad de esa energía que permita su aprovechamiento mecánico y luego todo un equilibrado sistema de distribución para el uso propiamente dicho. En un gran número de procesos o plantas existen al menos dos formas dominantes de energía, la térmica y la eléctrica. Comúnmente ellas se tratan en forma separada, es decir, la energía eléctrica se contrata con la distribuidora local y la térmica se produce en situaciones mediante calderas. La idea básica de la cogeneración es aumentar el rendimiento global integrando los dos sistemas energéticos. Como resultado, el sistema combinado entrega una mayor eficiencia y menores costos que realizando la operación de cada recurso energético separadamente.

El proyecto tiene como finalidad hacer un diseño para utilizar esta fuente renovable de energía (Maloja y Bagazo), que no contamina en gran escala al medio ambiente y generar una reducción en el consumo de gas natural.

Con vistas también a un futuro de su utilización para la generación de electricidad.

## INTRODUCCION

Los combustibles obtenidos a partir de la biomasa se pueden constituir en un factor de gran importancia para mitigar los efectos de los cambios climáticos en el futuro. Está demostrado que los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural contribuyen de manera acelerada al calentamiento del planeta y constituyen un riesgo múltiple para la agricultura y otras actividades humanas.

Según los expertos, las reservas de combustibles fósiles sólo durarán 50 años más, lo que nos lleva a reflexionar sobre la apremiante necesidad de crear nuevas fuentes energéticas que sustituyan eficientemente los recursos naturales que suministran nuestro consumo actual de energía. Las diferentes opciones tecnológicas de producir combustible a partir de la biomasa, ya sea por combustión, destilación, gasificación, fermentación y pirólisis, evidencian que no existe una única respuesta cuando hablamos de soluciones factibles para abordar la problemática del cambio climático y para fomentar el uso general de la biomasa. Este trabajo busca con todos sus temas dar una mirada a cómo desde el punto de vista climático, el uso racional de la maloja (RAC) y el bagazo como principal materia prima para la generación de vapor; y el reemplazo de la utilización del gas, con lo cual es fundamental generar proyectos a partir de esta biomasa, sus múltiples usos, beneficios y fomentar el uso general de la energía a partir de ella. Los actuales proyectos y avances de la industria azucarera del país se orientan hacia esos objetivos. Los ingenios tienen programas

ambientales y trabajos que muestran la rehabilitación de tierras degradadas con elementos sustitutivos y diversos programas que buscan el progreso de la región, y en especial, la Tucumán.

## ABSTRACT

Fuels derived from biomass can be a major factor in mitigating the effects of climate change in the future. It is demonstrated that fossil fuels like oil, coal and natural gas contribute to global warming accelerated and threaten multiple for agriculture and other human activities. According to experts, fossil fuel reserves will last only 50 years, which leads us to reflect on the urgent need for new energy sources to replace natural resources efficiently, supply our current energy consumption. Different technological options for producing fuel from biomass, either by combustion, distillation, gasification, fermentation and pirólisis, show that there is no single answer when it comes to workable solutions to address climate change issues and to encourage the use overall biomass. This paper seeks with all his subjects take a look at how, from the standpoint of climate, the rational use of maloja (RAC) and bagasse as the main raw material for steam generation, and replacement of gas utilization, which is essential to generate projects from these biomass, its many uses, benefits and promote overall energy use from it. Current projects and progress of the sugar industry in the country is geared towards these objectives. The mills have environmental programs and papers showing the rehabilitation of degraded land with replacement elements and various programs that seek progress in the region, and especially the Tucumán.

## **CAPITULO I**

### **ANÁLISIS DE LA COGENERACIÓN**

Sumario: 1.-Introducción 2.- Biomasa 3.- Composición de la caña 4.- El bagazo de la caña de azúcar 5.- Calor específico y capacidad calorífica

#### **1. Introducción**

La cogeneración es una tecnología ampliamente desarrollada e introducida en el sector industrial. Una de las aplicaciones de la cogeneración es la combustión de un recurso natural que permita el movimiento de sistemas y mecanismos capaces de producir energía para ser aprovechada por el ser humano en la aplicación de trabajo, para lo cual se requiere pues de un elemento base de consumo llamado combustible, un proceso de extracción de energía del elemento, usualmente un proceso de combustión, un sistema de convertibilidad de esa energía que permita su aprovechamiento mecánico y luego todo un equilibrado sistema de distribución para el uso propiamente dicho.

En un gran número de procesos o plantas existen al menos dos formas dominantes de energía, la térmica y la eléctrica. Comúnmente ellas se tratan en forma separada, es decir, la energía eléctrica se contrata con la distribuidora local y la

térmica se produce en situaciones mediante calderas. La idea básica de la cogeneración es aumentar el rendimiento global integrando los dos sistemas energéticos. Como resultado, el sistema combinado entrega una mayor eficiencia y menores costos que realizando la operación de cada recurso energético separadamente.

Una de las ventajas adicionales que tiene la cogeneración es la provisión de una reserva de energía eléctrica en los centros de producción. En efecto, si ocurre algún corte de suministro desde la distribuidora local, debido a fallas en la red o desabastecimiento, el proceso productivo dispone de un margen mínimo de energía eléctrica con el cual se pueden realizar labores críticas sin detener la línea de producción. Otra ventaja importante es la disminución de la contaminación atmosférica, ya que esta tecnología es menos contaminante que la de otros combustibles fósiles usados en la generación de energía eléctrica.

## **2. Biomasa**

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire y el agua del suelo, en carbohidratos para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen. De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena la energía solar. Entonces, se produce en forma sostenida, o sea, en el mismo nivel en que se consume, esa batería durará indefinidamente.

El cambio climático está muy íntimamente ligado a las pautas de utilización de la energía.

La primera forma de reducir el cambio climático es modificar las fuentes de energía que utilizamos y es aquí donde vienen al caso los energéticos renovables y la energía de biomasa en particular. Esta es la única fuente de energía por completo neutra en CO<sub>2</sub>, lo que quiere decir que no hace aumentar el dióxido de carbono en la

atmósfera. Los combustibles fósiles, el petróleo, el carbón y el gas, contribuyen de manera muy importante al calentamiento del planeta, que constituye un riesgo múltiple para la agricultura y otras actividades humanas.

Además, los expertos afirman que las reservas de combustibles fósiles sólo durarán otros 40 o 50 años. Estos dos hechos por sí solos hacen la investigación en materia de fuentes sustitutivas de energía más apremiante que nunca.

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas (ver Fig. 1), se usan generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles.

### **3. Composición de la caña.**

El tronco de la caña de azúcar está compuesto por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas.

Las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad (familia) de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc. Sin embargo, unos valores de referencia general pueden ser:

- Fibra (11-16%)
- Sacarosa (8-15%)
- Agua (73-76%)

La sacarosa del jugo es cristalizada en el proceso como azúcar y la fibra constituye el bagazo una vez molida la caña.

**Figura 1-. Fuentes de Abastecimiento y Tipos de Biocombustibles.-**

<b>Producción Oferta</b>	<b>Tipos de Biocombustibles</b>	<b>Usos, ejemplos de Biocombustibles</b>
<b>Dendrocombustibles Directos</b>		<b>Sólidos: leña, rollizos, chips, aserrín, carbón vegetal</b>
<b>Dendrocombustibles Indirectos</b>	<b>DENDROCOMBUSTIBLES</b>	<b>Líquidos: Licor negro, Etanol</b>
<b>Dendrocombustibles Recuperados</b>		<b>Gaseosos: Gas de pirolisis</b>
<b>Cultivos Energéticos</b>		<b>Sólidos: paja, tallos, cáscaras, bagazo, maloja</b>
<b>Subproductos Animales</b>	<b>AGROCOMBUSTIBLES</b>	<b>Líquidos: Etanol, Biodisel</b>
<b>Subproductos de la Agroindustria</b>		<b>Gaseosos: Gas de pirolisis</b>
		<b>Sólidos: residuos sólidos urbanos</b>
<b>CENTRO URBANOS</b>	<b>SUBPRODUCTOS MUNICIPALES</b>	<b>Líquidos: efluentes cloacales, bioaceite de pirolisis</b>
		<b>Gaseosos: biogas, Gas de pirolisis</b>

Otros constituyentes de la caña presentes en el jugo son:

- Glucosa (0,2-0,6%)
- Fructosa (0,2-0,6%)
- Sales (0,3-0,8%)
- Ácidos orgánicos (0,1-0,8%)
- Otros (0,3-0,8%)

Las hojas de la caña nacen en los entrenudos del tronco. A medida que crece la caña las hojas más bajas se secan, caen y son reemplazadas por las que aparecen en los entrenudos superiores. También nacen en los entrenudos las yemas que bajo ciertas condiciones pueden llegar a dar lugar al nacimiento de otra planta.

#### **4. El Bagazo de caña de azúcar. Composición**

El bagazo, fibra residual de la caña de azúcar después de la molienda, es un combustible natural para producir vapor en las fábricas azucareras. Es de tamaño uniforme con longitud promedio de 5-7.5 cm. y no excede de los 2 cm. de ancho. El rango de densidad varía entre 120-160 Kg. /m<sup>3</sup>. Este consiste de fibra, agua, sólidos solubles y cenizas pero es importante conocer su composición química que afecta su uso como combustible y el método por el cual puede ser quemado técnica y económicamente. El bagazo también contiene elementos considerados como materia extraña, clasificados como: materia extraña mineral y vegetal. La primera, está constituida por silicio, magnesio, calcio, sodio, potasio, óxidos de azufre, hierro, entre otros. La segunda, por residuos de cosecha como hojas secas o verdes, cogollos, chulquines, lalas y cepas.

##### Composición química

El bagazo es llamado sucesivamente, por bagazo del 1° terno, 2° terno, etc. El bagazo del último terno es llamado bagazo final o simplemente bagazo.

- Carbono (23%)
- Oxígeno (22%)
- Hidrógeno (3%)
- Cenizas (2%)
- Agua (50%)

##### Composición media

- Humedad (50%)
- Fibra (46%)
- Brix (sólidos solubles en agua 2%)
- Impurezas minerales (2%)

##### Composición de la fibra:

- Celulosa (48%)
- Hemicelulosa

- Lignina (mayor poder calorífico) 12%

## 5. Calor específico y capacidad calorífica.

El calor específico de combustión es la propiedad más importante de los combustibles y para el caso del bagazo, depende principalmente de la humedad, el contenido de azúcar, el contenido de cenizas y en cuarto grado, de la variedad de caña. El calor específico (s) de una sustancia es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado Celsius la temperatura de un gramo de la sustancia y la capacidad calorífica (C) de una sustancia es la cantidad de calor necesario para elevar un grado Celsius la temperatura de una cantidad determinada de sustancia.

El calor específico es una propiedad intensiva (no depende de la cantidad de sustancia presente), en tanto que la capacidad calorífica es una propiedad extensiva (si depende de la cantidad de sustancia presente). La relación entre la capacidad calorífica y el calor específico de una sustancia es:

$$C = MS.$$

m = masa de la sustancia en gramos

De este modo se distinguen los poderes caloríficos como:

➤ **Poder Calorífico Superior (PCS):** Es el calor producido por la combustión completa de un kilogramo de combustible a 0 C° y a 760 Mm. de Hg. de presión, cuando todos los productos de la combustión se reducen a las mismas condiciones. En consecuencia, el agua presente en el combustible y la resultante de la combustión del hidrógeno, se condensa.

Según el Manual para Ingenieros Azucareros de Hugot<sup>1</sup>, el PCS del Bagazo Seco (PCSS) varía muy poco para las diversas variedades de caña y propone un *valor medio*:

---

<sup>1</sup> HUGOT, E., Manual para Ingenieros Azucareros, Segunda edición en español, Compañía Editorial continental S.A., (1984).

**Poder Calorífico Superior (PCS):**

$$\text{PCSS} = 4600 \text{ (Kcal. /Kg.)}$$

➤ **Poder Calorífico Inferior (PCI):** cuando el agua, formada durante la combustión se encuentra enteramente en estado de vapor.<sup>2</sup> propone la transformación del poder calorífico inferior, en poder calorífico útil (PCU), donde se considera la humedad del material. La ecuación de transformación sería la siguiente:

**Formula N° 1**

$$\text{PCU} = \text{PCI} \times \left[ \frac{100 - E}{100} \right] - 6 \times H$$

Donde:

PCU (Kcal. /Kg).

$E$  (%) = Humedad del material sobre la base del peso húmedo.

$H$  (%) = tenor de hidrógeno del material.

6 = factor de conversión referente a la energía de evaporación del agua en formación.

El bagazo tiene un alto poder calorífico para producir energía pues cada libra con un 50% de humedad.

Podemos afirmar que existe una cierta incertidumbre en cuanto al valor del Poder Calorífico Inferior del bagazo de caña de azúcar, que depende de la humedad, del contenido de cenizas y de su composición elemental.

Los dos últimos factores varían con el tipo de cosecha, variedad de caña y región.

---

<sup>2</sup> HAMILTON, Fernando Torrezan, Enleiramento e enfardamento prismático de palhico de cana de açúcar alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética, (Piracicaba, Brasil, 2003).

## **CAPITULO II**

### **VENTAJAS DEL APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO (RAC) PARA QUEMA Y PRODUCCIÓN DE VAPOR**

Sumario: 1.- Bioenergía y desarrollo. 2.- Dinámica de la descomposición del residuo de la cosecha en verde de la caña de azúcar (RAC). 3.- Utilización del rastrojo de caña. 4.- Ventajas y desventajas de la cobertura vegetal. 5.- Operaciones de hilado y enfiado.

#### **1. Bioenergía y desarrollo**

Posibilidades de la biomasa como fuente de energía y desarrollo. La situación imperante de crisis internacional, precios elevados de la energía, seguridad energética precaria y diversos problemas generados por el cambio climático, ha facilitado el impulso de políticas energéticas y ambientales favorables al desarrollo de las energías renovables, entre ellas la Bioenergía<sup>3</sup> (BE), como pocas veces se ha visto en el pasado.

---

<sup>3</sup> Bioenergía: Es el sector de la economía que enfatiza la utilización eficiente y sustentable de los procesos de producción y procesamiento de la biomasa para obtener alimentos, combustibles, compuestos químicos y materiales para la agricultura y la industria.

Esta circunstancia ha permitido a FAO<sup>4</sup> consolidar una serie de desarrollos que permiten poner en evidencia las distintas oportunidades, ventajas y beneficios que ofrece la bioenergía y que se considera necesario que los decisores políticos conozcan acabadamente. Estas oportunidades, ventajas y beneficios, van mucho más allá de la seguridad energética, del combate al cambio climático (CC) y del hecho que la bioenergía pueda constituir una fuente descentralizada de energía. Las ventajas más importantes tienen que ver con el desarrollo de la comunidad, de su territorio y de sus recursos naturales.

En efecto, la biomasa para uso energético no es solo una fuente energética disponible localmente y que si se maneja adecuadamente es renovable, sino que además es económica, ambiental y socialmente sostenible. Constituye un recurso energético que se puede generar y multiplicar, de acuerdo a lo necesario, mediante plantaciones, y con el cual se pueden producir combustibles (sólidos, líquidos, y gaseosos) que permiten generar energía térmica, mecánica y eléctrica, para uso en la industria, los servicios y la economía del mismo territorio, y cuyos excedentes pueden exportarse a comunidades vecinas, generando un sistema sinérgico de gran valor agregado para la comunidad involucrada.

De esta manera se puede reemplazar el consumo de combustibles derivados del petróleo, cada vez más conflictivo y oneroso, generando un ahorro considerable, reduciendo la dependencia externa y contribuyendo a la mitigación del (CC).

El uso de la bioenergía es una realidad en casi todos los países y regiones del mundo. Si bien aún hay muchas dificultades por resolver, sus múltiples beneficios son indiscutibles. Uno de esos beneficios es que la bioenergía es una oportunidad para

---

<sup>4</sup> FAO: Alcanzar la seguridad alimentaria para todos, y asegurar que las personas tengan acceso regular a alimentos de buena calidad que les permitan llevar una vida activa y saludable, es la esencia de las actividades de La FAO. El mandato de La FAO consiste en mejorar la nutrición, aumentar la productividad agrícola, elevar el nivel de vida de la población rural y contribuir al crecimiento de la economía mundial. FAO Technical Cooperation Department .Field Programme Activities. Operaciones en Argentina: Fomento de la acuicultura rural para la región central y norte del país, por medio de la producción de raciones de balanceados a menor costo, TCP/ARG/3202, 2010/11.-

promover el desarrollo rural. Por lo tanto, la FAO ha realizado una firme apuesta a favor del desarrollo de la bioenergía en sus países miembros.

## **2. Dinámica de la descomposición del residuo de la cosecha en verde de la caña de azúcar (RAC)**

La necesidad de implementar sistemas productivos de caña de azúcar más sustentables, de menor impacto ambiental y más amigable con las poblaciones vecinas a las áreas cultivadas, conduce a la eliminación de la quema como práctica asociada a la cosecha de la caña de azúcar.

En la cosecha de la caña sin empleo de la quema, queda sobre el campo una importante cantidad de residuos (hojas y despuntes) que, para las condiciones de Tucumán, ha sido estimada entre 7 t y 16 t de materia seca/ha<sup>5</sup>.

Este residuo de cosecha (RAC) puede quedar esparcido sobre el campo como cobertura (“mulching”), ser incorporado en los primeros centímetros del perfil o retirarse total o parcialmente del campo utilizando, por ejemplo, maquinas enfardadoras (Figuras 2 y 3).

**Figura 2-. Caña de azúcar cosechada en verde y cobertura de RAC sobre el suelo. Tucumán, República Argentina.-**



<sup>5</sup> ROMERO, E. R., SCANDALIARIS, J.; DIGONZELLI, P. A.; ALONSO, L. G.; LEGGIO, F.; GIARDINA, J. A.; CASEN, S. D.; TONATTO M. J. y FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI, J., Effect of variety and cane yield on sugar cane potential trash, en “Revista Industrial y Agricultura de Tucumán”, (2009), pág. 9-13.

**Figura 3-. Máquina enfardadora (a) y fardos de RAC en el campo (b). Tucumán, República Argentina.-**

Mantener la cobertura de RAC sobre el suelo en aquellas zonas del área cañera donde es técnicamente viable, resulta altamente recomendable con vistas a la sustentabilidad del sistema productivo.

La conservación del RAC sobre el suelo aporta una cantidad importante de materia orgánica, favorece la conservación de la humedad y disminuye la evaporación del agua del suelo, mejorando también la capacidad de infiltración del agua de lluvia o riego. Además, esta práctica incrementa la estabilidad estructural del suelo, reduce la erosión, disminuye la temperatura en los primeros centímetros del perfil, aumenta la población de microorganismos benéficos, disminuye la infestación de malezas y permite reducir las labores culturales.



Por otro lado, el residuo de la cosecha de la caña contiene cantidades considerables de nutrientes, especialmente nitrógeno. Así, existen trabajos que indican que cuando se conserva el RAC, se observan aumentos en la materia orgánica, el nitrógeno y el carbono total de los suelos<sup>6</sup>.



<sup>6</sup> ROBERTSON, F. A., Sugarcane trash management: consequences for soil carbon and nitrogen, en "Final report to the CRC for sustainable sugar production", (Townsville, Australia, 2003).

En Tucumán, aproximadamente el 80% de la cosecha se efectúa con maquinas integrales, y prácticamente la totalidad de esa cosecha se realiza en verde. Sin embargo, todavía es alto el porcentaje del área cosechada en verde en la cual se queman los residuos después de la cosecha.

En el presente trabajo, se comentan los resultados de un estudio sobre la dinámica de descomposición del RAC en la superficie del suelo. Esta información resulta útil para definir, para las condiciones de Tucumán, los beneficios del mantenimiento de la cobertura con RAC en las zonas del área cañera aptas para este manejo (áreas sin excesos hídricos ni problemas de drenaje).

- Descripción de la experiencia

La experiencia se realizó en macro parcelas establecidas en un lote comercial en la localidad de Albarracín (Departamento Cruz Alta), provincia de Tucumán, República Argentina. El lote estaba implantado con LCP 85-384 (la principal variedad cultivada en Tucumán) en edad de soca 2 y se cosecho con maquina integral, sin quemar previamente el cañaveral. El diseño experimental fue de parcelas divididas con tres repeticiones. Cada parcela experimental estuvo formada por cinco surcos de 30 metros. Los tratamientos evaluados fueron: a) manejo manteniendo la cobertura de residuos de la cosecha sobre el suelo (“mulching”) y b) manejo sin cobertura de residuos de la cosecha (residuo quemado inmediatamente después de la cosecha). Las evaluaciones se realizaron durante dos ciclos agrícolas: 2006/2007 y 2007/2008.

Posterior a la cosecha (octubre de 2006 y julio de 2007), se realizaron evaluaciones cada 20 - 35 días de: a) cantidad de residuo de la cosecha: se recolecto el RAC correspondiente a 1 m<sup>2</sup> de suelo y se determino el peso fresco, llevándose luego a estufa a 70°C hasta peso constante (peso seco); b) relación C/N del residuo y c) contenido de P y K del residuo.

El manejo agronómico del lote fue el convencional y el control de malezas se realizó con herbicidas de post-emergencia. Se efectuó una fertilización

nitrogenada (con urea) en forma manual, a razón de 115 Kg. de N/ha, aplicada a fines de noviembre de 2006 y a mediados de noviembre de 2007 y no se suministraron riegos.

### 3. Utilización del rastrojo de caña

Una vez analizado el potencial energético y definida la viabilidad del uso de rastrojo como combustible adicional en las calderas, vamos a ver cuales pueden ser las distintas alternativas de la recuperación de los residuos del campo para ser puestos en el ingenio.

En Brasil la recuperación de los residuos de cosecha de la caña puede seguir cuatro rutas alternativas mostradas en el esquema:<sup>7</sup>

A. Corte de caña entera; carga con cargadora; transporte de caña y maloja; limpieza en ingenio con recuperación de maloja. (Cosecha semimecanizada).

Corte de caña entera. (a)

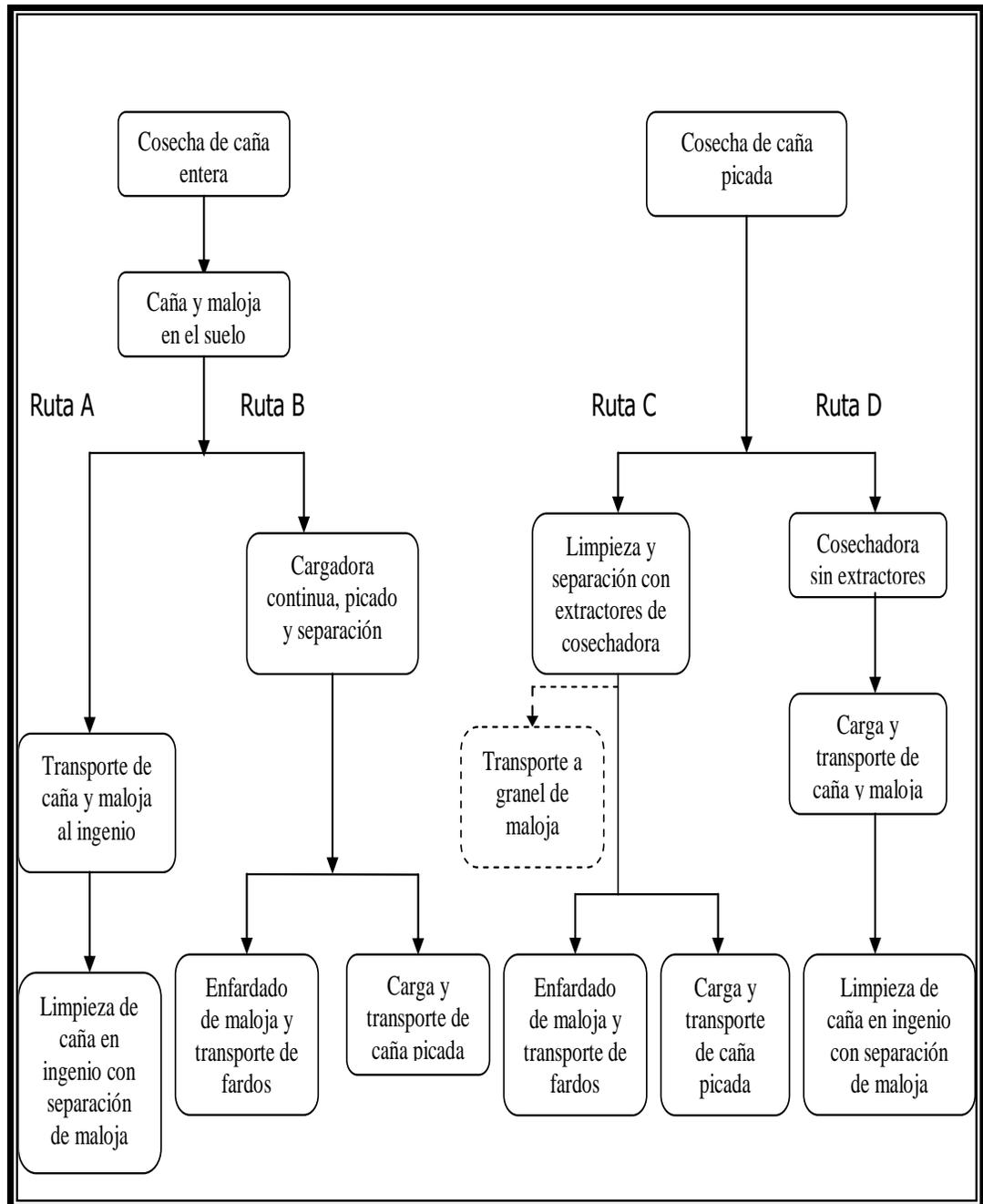


Carga y transporte de caña y maloja. (b)



---

<sup>7</sup> Ventajas del aprovechamiento del residuo para quema y producción de vapor, en Internet: [http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec\\_v13\\_no21\\_2009\\_p24-26.pdf](http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec_v13_no21_2009_p24-26.pdf), en “La Revista Tecnicaña”, Tomas Caetano Cannavam Ripoli y Marco Lorenzo Cunali Ripoli, (03/09/2012).

✓ **RUTAS I:**<sup>8</sup>

<sup>8</sup> ASCÁRATE, Sebastián, Tutor: Ing. MELIÁN, Jorge, Bases Tecnológicas para avances en la agricultura tucumana. Calculo de Oportunidades y Riesgos, cedido gentilmente por Prof. BARBOZA, Eduardo, (Tucumán, 05/09/2012).

B. Corte de caña entera; carga con cargadora continua; transporte de caña limpia; enfardado de maloja y transporte de fardos al ingenio.



(Cosecha semimecanizada). (a)



(Cargadora continua con cargadora continua). (b)

C. Corte de caña; picado; limpieza y separación por medio del extractor de la cosechadora; transporte de caña limpia cargada durante el corte; enfardado de maloja y transporte de fardos al ingenio (cosecha integral tradicional).



(Cosecha integral tradicional). (a)

D. Corte de caña, picado, sin limpieza y separación (cosechadora sin extractores), caña y maloja cargada durante el corte; transporte de caña y maloja; limpieza y recuperación de maloja en ingenio.



(a) Levantado, picado y cargado de rastrojo de caña de azúcar con levanta picadora.

Aparece en el esquema anterior una opción de transporte a granel de maloja en la ruta C, la cual consiste en hilerar y levantar el rastrojo del campo con una levanta picadora, maquinaria muy utilizada en la construcción de silos para forrajes.

Levantado, picado y cargado de rastrojo de caña de azúcar con levanta picadora. El rastrojo que llega al ingenio en forma de fardos o como material suelto debe ser procesado antes para permitir una operación de combustión adecuada y eficiente. Una estación de picado y limpieza del rastrojo, consiste básicamente en un molino triturador que acondiciona la maloja hasta lograr una granulometría semejante a la del bagazo.

Para poder utilizar las rutas A y D es necesario instalar una estación de limpieza en el ingenio que separe los residuos de cosecha de los tallos molibles.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas para un prototipo de estación de limpieza de caña en seco.

**Tabla 1-. Eficiencia de limpieza calculada para un prototipo de estación.-**

<b>Materia Prima</b>	<b>Impurezas(%)1</b>	<b>Eficiencia(%)2</b>	<b>Pérdidas de Sacarosa 3</b>
<b>Caña Entera quemada</b>	<b>2,8</b>	<b>73,5</b>	<b>0,21</b>
<b>Caña Entera verde</b>	<b>10,2</b>	<b>79,4</b>	<b>0,15</b>
<b>Caña picada limpia verde</b>	<b>8,1</b>	<b>56,6</b>	<b>0,36</b>
<b>Caña picada sin limpiar verde</b>	<b>12,3</b>	<b>60,4</b>	<b>0,92</b>

1. Impurezas totales (mineral y vegetal) en base húmeda.
2. Eficiencia de limpieza % en base seca.
3. Sacarosa en maloja no contabilizada.

Vale la pena mencionar que la alternativa de la Ruta D, donde se cosecha la caña sin quemar eliminándose el uso del despuntador y los extractores de la cosechadora integral, viene siendo estudiada en distintos ingenios. La caña es transportada hasta la fábrica junto con los restos vegetales donde se separan los tallos móviles del resto del material. Este es destinado a ser quemado en las calderas para la obtención de energía.

Debido a la infraestructura actual con la que cuenta la fábrica, los sistemas de cosecha utilizados, la ruta de mayor viabilidad sería la ruta C. Recordemos que en ella se cosecha la caña sin quemar, es limpiada por los extractores de la cosechadora y los residuos que quedan en el campo, se enfardan para ser transportados de esta manera al ingenio.

#### **4. Ventajas y desventajas de la cobertura vegetal**

**Una de las características del sistema de la cosecha en verde**, es la gran cantidad de restos vegetales (maloja o rastrojo), constituidos por hojas secas, hojas verdes y despuntes, que permanecen sobre el suelo después de la cosecha.

Mantener esta cobertura vegetal sobre el suelo presenta beneficios tales como:

- ✓ Protección de la superficie del suelo contra la acción erosiva de las lluvias y vientos.
- ✓ Reducción de la amplitud térmica del suelo por evitar las pérdidas de calor.
- ✓ Aumento de la actividad biológica del suelo.
- ✓ Aumento de las tasas de infiltración del agua en el suelo.
- ✓ Mayor disponibilidad de agua para el cultivo por reducirse las pérdidas de evaporación.
- ✓ Control de malezas, dando la posibilidad de reducir o eliminar el uso de herbicidas y por ende evitar los riesgos de contaminación ambiental.
- ✓ Reducción de la emisión de gases y partículas sólidas a la atmósfera (con eliminación de la quema).
- ✓ Posibilidad de utilización de parte de la materia vegetal para la generación de energía.

**En cuanto a los problemas generados por la cobertura del suelo debido a los restos de cosecha en verde tenemos:**

- ✓ Riesgos de incendios de la maloja durante y después de la cosecha.
- ✓ Dificultad para realizar las operaciones de cultivo mecánico o la fertilización.
- ✓ Retraso o fallas en la brotación y reducción de la productividad sobre todo en regiones de baja temperatura.
- ✓ Aumento de las poblaciones de plagas que se encuentran y multiplican sobre la maloja en ausencia de la quema.

Dentro de los factores que se modifican en el cultivo de lotes de caña cosechados en verde vamos a hacer una breve descripción sobre dos efectos significativos:

- El Control de las Malezas:

La cobertura vegetal resultante de la cosecha en verde, realiza un control significativo en la proliferación de malezas. La cantidad de rastrojo y su distribución influyen sobre la población final de las mismas en el cañaveral. Es importante determinar la cantidad de rastrojo que realice controles eficientes sobre las malezas con el fin de destinar el resto a ser quemado en las calderas.

- El Reciclaje de los Nutrientes:

La materia vegetal correspondiente a hojas y despuntes, cumple un rol importante a la hora de aportar nutrientes al suelo. Los microorganismos desempeñan una función destacada en la descomposición del material vegetal, dejando así los nutrientes en las formas en que pueden ser fácilmente asimilados por las raíces.

## **5. Operaciones de hilerado y enfardado**

Una vez definida la ruta por la cual se recogerán los restos de cosecha, vamos a describir y analizar las diferentes tareas a realizar para lograr una buena recuperación del rastrojo.

Luego de cosechada la caña de azúcar y transportada al ingenio, los restos de cosecha quedan esparcidos en el campo. Surge aquí la alternativa de utilizar o no rastrillos hileradores.

Distintos modelos de rastrillos hileradores utilizados en caña de azúcar.

**Figura 4.-*****Rastrillo R2300 Twin Rake.-***

Consigue gran calidad pacas de forma rápida y sencilla. Todo comienza con el Vermeer R2800 rastrillo doble, que produce en forma de caja hileras. Construido para durar, la R2800 permite ajustar el ancho de las hileras



para que coincida con su empacadora. Controla el ancho, ascensor canasta y sistemas de plegado / desplegado desde la cabina del tractor.<sup>9</sup>

**Figura 5.-*****Rastrillo 5980.-***

Su excepcional ancho de trabajo -9,35 metros- permitirá juntar 4 hileras en 1 para anchos de corte de hasta 3,00 metros y 3 hileras en 1 para anchos de cortes mayores.



Así, se obtienen importantes ventajas operativas y económicas: Mejor aprovechamiento de las horas disponibles para el hilerado.

Mayor capacidad operativa de la retroenfardadora.

Menor costo de mano de

obra y maquinarias. Posibilidad de realizar mayor cantidad de fardos por campaña.

<sup>9</sup> VERMEER, en Internet: <http://www2.vermeer.com/vermeer/>, (20/10/2012).

**Figura 6.-Rastrillo 5940 MAINERO.-**

Este rastrillo necesita para su funcionamiento un tractor de 40 CV con una salida hidráulica simple efecto, para subir las ruedas recolectoras. Posee 8 ruedas de barrido de 1520 Mm. de diámetro, con 40 púas cada una de 8 Mm. de diámetro. Estas ruedas de barrido tienen flotación independiente. Utiliza dos neumáticos 6.00 x 16 - tipo agrícola puede trabajar hasta una velocidad de 15 Km. /h logrando así mayor cantidad de

hectáreas por día, dejando el pasto acondicionado para luego hacer la reserva seleccionada.<sup>10</sup>

**Figura 7.-****Rastrillo 5980.-**

El rastrillo es un implemento de arrastre que contiene una serie de ruedas de barrido y sirve para hiliar, remover o airear los restos de cosecha. Es muy utilizado en cultivos forrajeros. La operación de rastrillado

consiste en realizar sucesivas pasadas en el lote con el fin de apilar el rastrojo en una línea para luego ser recogido por la enfardadora o levanta picadora.

Una de las ventajas del rastrillado es que al movilizar y acumular de 1 a 3 surcos, se favorece el secado del rastrojo y se evita la propagación de incendios accidentales.

En caña de azúcar se realizaron una serie de ensayos con el fin de evaluar el trabajo de la maquinaria y su adaptación en el cultivo.

<sup>10</sup> MAINERO, en Internet: <http://www.mainero.com.ar/Rastrillo-5980-ID-7.html>, (20/10/2012).

Una vez hilerado el rastrojo, se pasa con la enfardadora por encima de las hileras para confeccionar los fardos. Para este mismo estudio de hilerado se realizaron evaluaciones con una maquina enfardadora prismática New Holland BB940.

**Figura 8.- Enfardadora prismática grande New Holland BB940.-**



(a)

Al ofrecer unas características que garantizan unas pacas de forma y densidad perfecta, New Holland responde a todas las necesidades de trabajo específicas de los agricultores y maquileros.

New Holland y en el rendimiento que tienen sus empacadoras gigantes en el campo.

La introducción de características nuevas sólo puede aumentar la productividad y fiabilidad de los modelos BB-A. Anchura de trabajo de hasta 2,40 m, dependiendo del modelo



**Figura 9.- Modelos BB-A.-**



**Enfardadora prismática New Holland bb9070.-**

Este novedoso equipo, recientemente llegado a nuestro país, permite crear los fardos prismáticos más grandes del mercado, de 1,20 m de ancho, 70 cm. de altura y 2,60 m de largo, alcanzando un volumen de 2,18 m<sup>3</sup> por fardo. Este tipo de fardos posibilitan una mayor productividad debido a su tamaño y un mejor aprovechamiento del espacio de transporte por su formato<sup>11</sup>.



**Figura 10.- Modelos BB-A.-** Cuenta con un sistema exclusivo de atado con seis hilos y utiliza doble nudo, lo que garantiza una excelente confiabilidad en el amarrado de los fardos. Los ventiladores vienen de serie y los nuevos compartimentos, de formato redondeado, aumentan

significativamente el flujo de aire, contribuyendo a una excelente limpieza. Los resultados obtenidos en las evaluaciones de enfardado se muestran en la tabla 2:

---

<sup>11</sup> NEW HOLLAND, en Internet: <http://agriculture.newholland.com/AR/es/Pages/homepage.aspx>, (20/10/2012).

**Tabla 2 -. Resultados operativos y eficiencia energética.-**

Variables	Enfardado(valores medios)			
	Unidades	Hilerado Simple	Hilerado Doble	Hilerado Triple
Tamaño de los fardos	m	2,15 x 0,80 x 0,90	2,15 x 0,80 x 0,90	2,15 x 0,80 x 0,90
Peso de los fardos	Kg.	317,16	326,32	349,11
Densidad fardo	kg/m <sup>3</sup>	206,7 c	207,3 bc	221,1 a
Capacidad efectiva	Tn/h	10,78 c	19,26 bc	20,29 ab
Capacidad efectiva	Ha/h	1,45 c	1,99 bc	2,91 a
Consumo horario combustible	Lts/h	13,39 c	23,65 b	30,35 a
Consumo combustible	Lts/Tn	1,37 a	1,49 a	1,40 a
Peso estimado rastrojo enfardado	Tn/ha	7,19 a	8,85 a	7,24 a
Peso estimado rastrojo remanente	Tn/ha	19,81 a	18,16 a	19,77 a
Eficiencia Energética	%	99,61 bc	99,71 ab	99,60 c

**Hamilton 2003.**<sup>12</sup>

Las letras pequeñas muestran las diferencias obtenidas entre tratamientos con la aplicación del Test de Tukey al 5%. Teniendo en cuenta la capacidad de la enfardadora, los valores determinados en este ensayo indican que el tratamiento de hilerado triple proporciona una mayor capacidad efectiva en las operaciones tanto en las toneladas enfardadas como en la superficie.

Definimos a la eficiencia energética como la relación existente entre la cantidad de energía, en la forma de combustible consumido por las máquinas utilizadas en las operaciones de recuperación del rastrojo y la cantidad de energía disponible en el fardo. Ripoli (1991) determinó la siguiente ecuación para su cálculo:

<sup>12</sup> HAMILTON, F.T., Enleiramento e enfardamento prismático de palhico de cana de açúcar alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética, (Piracicaba, Brasil, 2003).

**Formula N° 2**

$$BE = \left[ 1 - \frac{CC}{PER} \right] \times 100$$

Donde:

BE (%) = Eficiencia energética;

CC (MJ/Kg.) = Consumo Equivalente del Combustible;

PER (MJ/kg.) = Potencial Energético del Rastrojo

Teniendo en cuenta los consumos de combustible, la eficiencia energética positiva más alta para los ensayos de hilerado y enfardado conjuntamente, la presentó el tratamiento de hilerado doble. Es deseable que la eficiencia energética sea positiva y lo mas alta pos positiva y lo mas alta posible para que el recogimiento del rastrojo sea técnicamente viable.

En 1991 Copersucar<sup>13</sup> inició estudios para evaluar la viabilidad de recoger el rastrojo dejado en el campo después de la cosecha de la caña en verde. La idea fue evaluar algunas enfardadoras y determinar su desempeño.

La tabla 3 presenta un resumen de los tests de enfardado del rastrojo (hojas verdes, hojas secas y despuntes) realizados por las siguientes enfardadoras: Sode JS-90, de fardos cilíndricos; Semeato Rol-1518, de fardos cilíndricos; New Holland NH-570 Fardos rectangulares pequeños. Los tests de enfardado se llevaron acabo dos y tres días después de la cosecha.

---

<sup>13</sup> COPERSUCAR, Geração de energia por biomasa bagaço da canha de açúcar e resíduos, proyecto bra/96/g31, (Brasil, Abril 1998).

**Tabla 3-. Evaluación de parámetros operativos de distintas enfardadoras.-**

<b>Maquina</b>	<b>Hilerado</b>	<b>Producción Tn/h</b>	<b>Peso medio del fardo en Kg.</b>	<b>Densidad media Kg./m3</b>	<b>Cantidad de tierra %</b>
<b>Sode JS- 90</b>	<b>Con</b>	<b>1.8</b>	<b>105.8</b>	<b>118.0</b>	<b>5.6</b>
	<b>Sin</b>	<b>2.0</b>	<b>119.3</b>	<b>129.3</b>	<b>2.8</b>
<b>Semeato ROL- 1518</b>	<b>Con</b>	<b>2.7</b>	<b>285.4</b>	<b>94.7</b>	<b>6.2</b>
	<b>Sin</b>	<b>1.0</b>	<b>260</b>	<b>107.5</b>	<b>2.3</b>
<b>New Holland</b>	<b>Con</b>	<b>9.0</b>	<b>150</b>	<b>112.0</b>	<b>-</b>
<b>NH-570</b>	<b>Sin</b>	<b>3.0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Copersucar (1998).<sup>14</sup>

Los resultados de los ensayos y los problemas operativos indican que el sistema de enfardadoras prismáticas es el más indicado para la tarea. Primero porque presentan mayor capacidad operativa, mejor capacidad para trabajar con rastrojo y pedazos de caña y por ultimo la mejor distribución de los fardos en el vehículo de transporte. Sin embargo, debido a la cantidad de fardos pequeños que se generan en el campo y a que deben ser apilados y cargados, es aconsejable el uso de fardos grandes.

La operación con las hileradoras, permitió mejorar la capacidad de enfardado y reducir los daños en el sistema recogedor.

Con el objetivo de evaluar el funcionamiento de una enfardadora prismática grande otro trabajo fue realizado por Copersucar en Abril de 1999.

En este caso la operación de hilerado consistió en apilar los restos de cosecha depositados en 1 o 2 surcos sucesivos, sobre el siguiente surco y para el enfardado se utilizo una enfardadora prismática grande. En la evaluación de los parámetros de caracterización de los fardos se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación:

---

<sup>14</sup> **Ibidem**, pág. 30.

**Tabla 4-. Evaluación de los fardos obtenidos con la enfardadora Case 8575.-**

<b>Parámetros de los Fardos</b>	<b>Hilerado de 1 surco</b>	<b>Hilerado de 2 surcos</b>	<b>Sin Hilarar</b>
<b>DIMENSION (m)</b>	<b>0.8x0.87x1.9</b>	<b>0.8x0.87x1.9</b>	<b>0.8x0.87x1.9</b>
<b>PESO MEDIO (Kg.)</b>	<b>242,4</b>	<b>305,8</b>	<b>295,3</b>
<b>DENSIDAD (Kg./m3)</b>	<b>183,3</b>	<b>231,2</b>	<b>223,3</b>
<b>HUMEDAD MEDIA (%)</b>	<b>12,0</b>	<b>15,3</b>	<b>13,1</b>
<b>TIERRA (%)</b>	<b>3,5</b>	<b>4,7</b>	<b>3,3</b>
<b>RATROJO SECO (Kg.)</b>	<b>185,4</b>	<b>215,5</b>	<b>230,7</b>
<b>DENSIDAD SECA (Kg./m3)</b>	<b>140,2</b>	<b>163,0</b>	<b>174,5</b>

COPERSUCAR 1999.

- Rastrojo seco: masa de rastrojo limpia y seca contenida en el fardo.
- Densidad seca: densidad aparente del fardo, considerando el volumen y el peso del rastrojo limpio y seco.

Si tenemos en cuenta la calidad, los fardos sin hilarar contuvieron una menor cantidad de tierra y presentan un nivel de compactación mayor.

En la evaluación de Parámetros Operativos se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5:

**Tabla 5-. Evaluación de parámetros operativos.-**

<b>PARÁMETROS OPERATIVOS DEL ENFARDADO DE RASTROJO LIMPIO Y SECO</b>			
	<b>Hilerado de 1 surco</b>	<b>Hilerado de 2 surcos</b>	<b>Sin Hilarar</b>
<b>Tn enfardadas/h + maniobras</b>	<b>6,5</b>	<b>9,1</b>	<b>9,8</b>
<b>Toneladas enfardadas/h total</b>	<b>3,9</b>	<b>5,5</b>	<b>8,5</b>
<b>Consumo diesel (Lt./Tn de rastrojo)</b>	<b>2,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>
<b>Eficiencia de recogimiento (%)</b>	<b>56</b>	<b>84</b>	<b>73</b>

COPERSUCAR 1999

En este caso la eficiencia indica el porcentaje de rastrojo recogido con relación al disponible en el campo.

En el desempeño operativo la maquina se comportó mejor cuando no se hilero el rastrojo. Sin embargo la operación con las hileradoras, permite mejorar la capacidad de enfardado y reducir los daños en el sistema recogedor de las enfardadoras.

**Figura 11.- Semiremolque.-**

Sin embargo, si partimos de supuestos de que el volumen ocupado por cada fardo es de  $1,55\text{m}^3$ ; la densidad de fardos es de  $349\text{kg}/\text{m}^3$  y el acoplado de transporte es un semiremolque con una capacidad de carga de  $78\text{m}^3$  y si además tomamos los valores de los tiempos de carga en 60 minutos y descarga en 30



los

los

minutos; la distancia promedio recorrida en 20 Km. y se define un n° de 10 viajes por día, a menos de 6 Km. por día y 9 viajes a distancias

menores a 30 Km. podemos estimar el valor del flete en \$112 por Tn.



En las fotos siguientes se observa la carga y distribución de los fardos grandes en el acoplado del camión. El uso de fardos prismáticos es altamente ventajoso en el momento de aprovechar el espacio en el transporte.

**Figura 12.- Carga y distribución.-**

### **CAPITULO III**

#### **BAGAZO COMO FUENTE DE ENERGIA**

Sumario: 1.- Bagazo como fuente de energía. 2.- Producción de energía y rentabilidad con el uso del bagazo y el residuo en la cogeneración de electricidad. 3.- Posibilidades de la biomasa en la industria de la caña de azúcar.

##### **1. Bagazo como fuente de energía.**

El bagazo está constituido básicamente por fibras de celulosa, lignina y pentosanas, además de contener un elevado porcentaje de humedad (promedio del 50%), materia extraña (promedio del 0.5%) y azúcares (promedio de 2%). Dependiendo de muchas variables tales como el número del corte, edad, cantidad de materia extraña vegetal, tipo de extracción, etc., se puede obtener alrededor de 250 Kg. de bagazo por tonelada de caña de azúcar molida. Ese material se utilizó siempre como fuente de energía para mover las fábricas azucareras y las destilerías de alcohol debido a su poder calorífico, convirtiendo tales unidades como autosuficientes para la generación de vapor (Cuadro 1) en comparación con otras fuentes de biomasa (Cuadro 2). El potencial de energía que se puede obtener de una hectárea de caña de

azúcar<sup>15</sup> está cerca de 67.080 Mcal. en equivalente energético, distribuidos así: 20.9% como alcohol absoluto, 40.03% como bagazo y 39.88% como material remanente (cuando se cosecha en verde) o desperdiciado (cuando se cosecha caña quemada).

**Cuadro 1-. Poder calorífico (Kcal. /Kg.) Del bagazo de caña de azúcar.-**

PCS	PCI	PCU	Autores
4324			HESSEY(1937)
4607			HUGOT(1964)
4445	4665		ATCHISON(1977)
	2552	1800	MARANHAO(1983)
		1854	PAYNE (1989)
4378	4055	2054	RIPOLI (1991)

Fuente: Los autores citados en la cuarta columna fueron citados por Ripoli (1991).

PCS = Poder Calorífico Superior,

PCI = Poder Calorífico Inferior,

PCU = Poder Calorífico Útil

**Cuadro 2-.Poder calorífico superior (PCS) de diferentes fuentes de biomasa Kcal. /kg.-**

Fuente de Biomasa	PCS	Fuente de Biomasa	PCS
Panizo	4178	Cáscara de Pescan	4345
Tallo Sorgo	4273	Naranja	4464
Hojas Sorgo	4631	Fruto Pinus spp	4870
Capin Napiert	4369	Residuo Pinus spp	5348
Pinus Spp	4249	Melocotón	4608
Pasto Bermudas	4584	Pecan	4536

Fuente: Datos obtenidos por Sumner et al (1983) y citados por Ripoli y Ripoli (2005)<sup>16</sup>.

<sup>15</sup>RIPOLI, T. C.; MOLINA JUNIOR, W. F., Cultura canavieira: un desperdicio energético, Maquinaria Agrícola, (São Paulo, Enero 1991).

O sea que se desperdicia alrededor del 40% de la biomasa producida, además de contribuir a la contaminación ambiental, definen la biomasa remanente como residuo con las siguientes características: material remanente de la cosecha que queda en la superficie de la suerte, principalmente en la mecanizada, constituido por hojas verdes y secas, cogollos y pedazos de tallos (sean molibles o no), a veces porciones de raíces y partículas de tierra adheridas a estos elementos<sup>17</sup>. Esta materia prima comienza a ser utilizada conjuntamente con el bagazo en la cogeneración de energía eléctrica en los ingenios y destilerías o también para la obtención de alcohol.

En consecuencia, es erróneo llamar simplemente ese material como residuo. La pregunta que se hace acerca de las ventajas del aprovechamiento del residuo es cómo debe prepararse y ofrecerse a la fábrica para la quema y producción de vapor. La Ruta 2 presenta varias posibilidades disponibles en los estudios efectuados en La Cosan-Costa Pinto<sup>18</sup> evidenciaron la importancia de la cosecha mecanizada integral, o sea, apagando o reduciendo las rotaciones de los ventiladores y/o extractores de las cosechadoras. El resumen de los resultados obtenidos se presenta en La Figura 13.

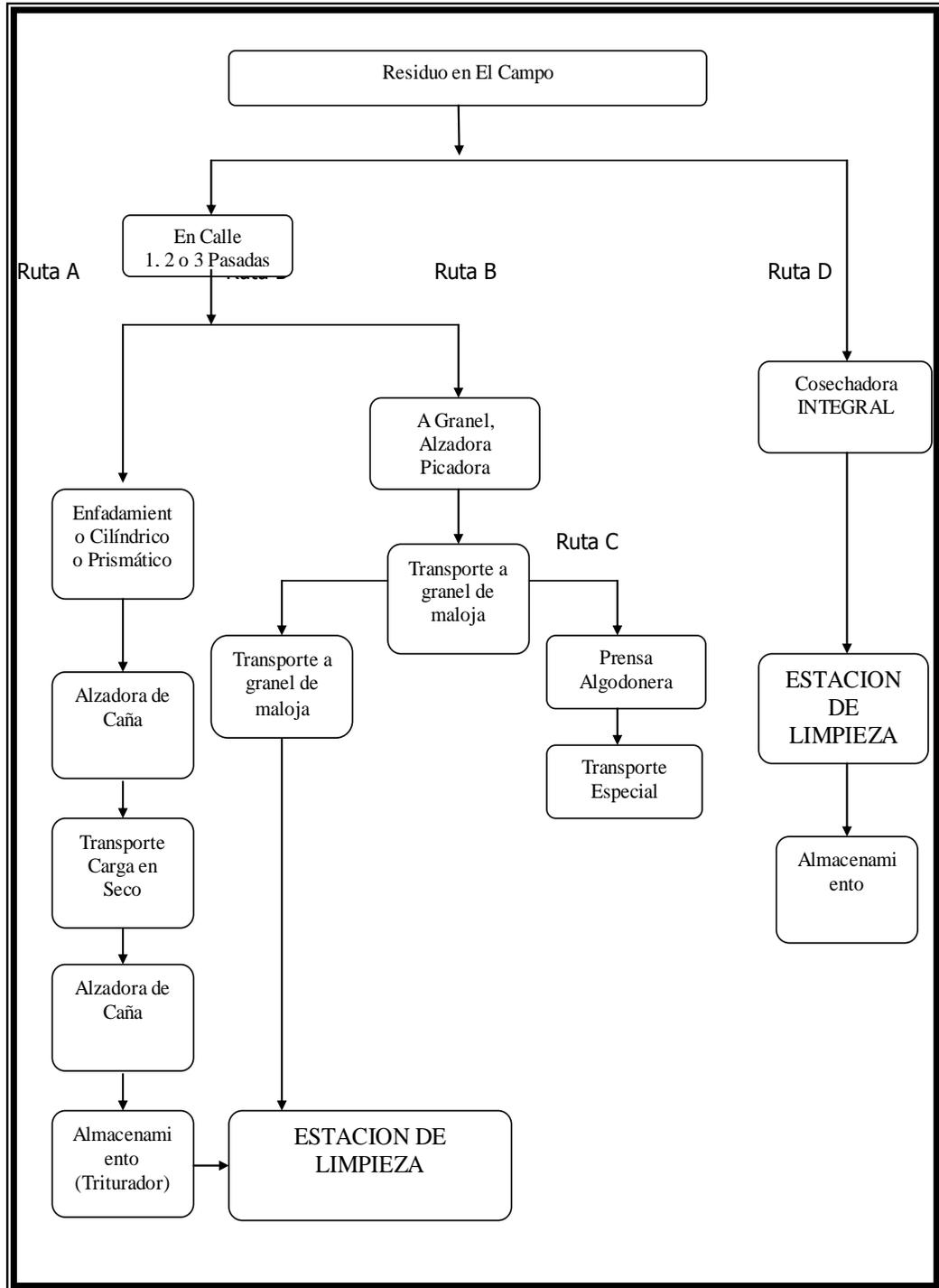
---

<sup>16</sup> SUMNER, H. R.; SUMNER, P. E.; HAMMOND, W.C.; MONROE, G. E., Indirect fire biomass furnace and bomb calorimeter determinations, Trad. por ASAE, St. Joseph, Volumen 15, (Sacramento, California, USA, 2001), pág. 280-285.

<sup>17</sup> RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C.; VILLA NOVA, N. A., Sugar cane crop residue and bagasse for cogeneration in Brazil, Kohn Kaen, Faculty of Engineering, Kohn Kaen University, (Thailand, 2007).

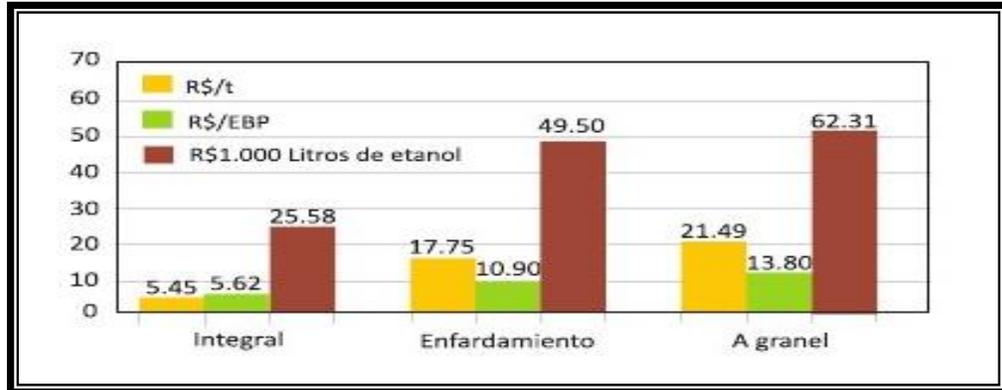
<sup>18</sup> RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C., Biomassa de cana de açúcar colheita, energia e ambiente, 2° Edición, (Brasil, Piracicaba, 2005), pág. 302.

***RUTA 2-. Flujograma de las opciones de aprovechamiento del residuo de caña cosechada mecánicamente en verde.-<sup>19</sup>***



<sup>19</sup> RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI. M. L., **op. cit.**, pág. 36.

**Figura 13-. Comparación de tres sistemas de aprovechamiento de residuos en plantaciones de caña de azúcar.-**



**Observaciones.** Se presentan los costos de tres variables: R\$: Reales por masa; Por EBP (equivalente de barril de petróleo) y por equivalente a 1000L de etanol, considerando el material puesto en la fábrica. Fuente: Sumner (1983)<sup>20</sup>.

## **2. Producción de energía y rentabilidad con el uso del bagazo y el residuo en la cogeneración de electricidad**

En los resultados se consideraron todos los costos involucrados en la manipulación de los residuos en el campo: alce, transporte y descargue en el patio de fábrica. Obviamente, en la opción de cosecha integral será necesaria una estación de limpieza en seco, junto al ingenio o destilería que hoy, dependiendo de la capacidad de molienda, tendría un costo variable entre 2 y 10 millones de pesos (precio tentativo). Se estima que el costo se amortiza en una o dos zafras con la cogeneración con base en el uso del residuo mezclado con el bagazo.

El uso del sistema de enfardamiento es una opción para los ingenios que no poseen o no pretenden instalar una estación de pre-limpieza en seco. Las estimativas de rentabilidad con el uso del bagazo y del residuo para ahorro de gas o la

<sup>20</sup> SUMNER, H. R., SUMNER, P. E.; HAMMOND, W.C.; MONROE, G. E, **op. cit.**, pág. 36.

cogeneración de electricidad se presentan en el (Cuadro 3)<sup>21</sup>. Por medio de ecuaciones matemáticas y estimándose un mínimo y un máximo de uso de biomasa de caña de azúcar se obtiene el potencial para cogeneración considerándose una cantidad de caña molida del orden de 385 x 106 toneladas en una zafra.

**Cuadro 3-. Estimativas de producción de energía y rentabilidad con el uso del bagazo y el residuo en la cogeneración de electricidad.-**

Biomasa	Potencial	Energía	Generada	Rentabilidad
	MW	MWHx106		U\$S x106
Bagazo	4363	20.94		892.56
Residuos Mínimos	1508	7.24		308.57
Residuos Máximos	5871	20.52		874.56
Bagazo y Residuos Mínimos	4276	28.18		1201.3
Bagazo y Residuos Máximos	8638	41.46		1767.02

Fuente: Ripoli et al (2007).

### **3. Posibilidades de la biomasa en la industria de la caña de azúcar**

La potencialidad de la biomasa en la industria de la caña de azúcar permite disminuir los costos de producción actual del azúcar y los derivados, si se emplea racionalmente toda la biomasa creada por la energía solar durante el cultivo de la caña, considerando el bagazo y los RAC, lo cual representa más de 50% de la materia prima que llega a la industria. Los residuos agrícolas de la caña (RAC) representan un potencial de biomasa equivalente a 30% de toda la materia seca aprovechable en la cosecha de la caña, con un valor calórico que fluctúa entre 1700-4500 Kcal. /Kg., en dependencia del contenido de humedad. De esto se deriva que, en

<sup>21</sup> RIPOLI, T. C. C., RIPOLI. M. L., **op. cit.**, pág. 36.

términos energéticos, por cada **mil toneladas de RAC**, en los estudios para la evaluación de energía potencial de la biomasa que no puede ser industrializada de los cañaverales, Molina (1995)<sup>22</sup> encontró para el rastrojo de cosecha de la variedad SP70-6163, de segundo y tercer corte el poder calorífico inferior en el orden de 3.982,57 Kcal. /kg. lo que confiere a una hectárea de cañaveral energía equivalente de 19.202,52 litros de etanol o 7.926,53 litros de gas oil, o 67 Tn. de madera o 37,64 Tn. de bagazo.

El poder calorífico del gas natural es de 8.900 Kcal. /m<sup>3</sup>. Suponiendo que con 4 Kg. de rastrojo obtenemos ese valor y que una ha produce 15.000Kg del mismo, tendríamos un potencial energético equivalente a **3.750 m<sup>3</sup> de gas** por cada ha que cosechemos en verde. Los resultados son aún mayores cuando se consideran también la alimentación animal, los fertilizantes y los beneficios del medio ambiente.

Esto ofrece oportunidades al desarrollo de tecnologías rentables que permiten disminuir los costos de producción en el sector de la industria azucarera y en otros de la economía nacional. En la Tabla 6 se muestra cómo estos resultados se incrementan también en el tiempo, según el escenario internacional de los precios de los combustibles.

**Tabla 6-. Valor de la producción de RAC.-**

Humedad, %	50,0	45,0	35,0	25,0
RAC, t/h	70,0	63,6	53,8	46,7
Valor calórico, Kcal./Kg.	1 737	1 980	2 465	2 950
Relación, fuel oil/RAC	5,76	5,05	4,06	3,39
Precio del fuel oil, \$/t	538,23	-	-	-
Precio de RAC, \$/t	93,44	106,58	132,57	158,77
Valor pro/zafra, \$/t	850 328	881 205	927 187	963 892

<sup>22</sup> MOLINA, A., Identificación de las variedades de caña de azúcar con mayor valor forrajero para los ganaderos, en Revista "ACPA", (1995), pág. 58.

Estos resultados pueden ser consolidados, con el aprovechamiento de todos los recursos naturales durante la cosecha en un sistema mecanizado, con peculiaridades muy favorables, como el corte mecanizado de la caña verde y el empleo de instalaciones estáticas para la limpieza en seco y el trasbordo de la caña (Fig. 14), lo cual facilita la recolección, la preparación y la incorporación de los RAC a la industria como combustible y(o) materia prima en la producción de los derivados.

**Figura 14.- Instalación de limpieza con tres expansores.-**



Por ejemplo, en una zafra de 6 MMt de azúcar con rendimientos industriales y agrícolas de 11% y 80 t/ha, respectivamente, en la que es necesario cortar 687500 ha de caña (55MMt de caña), los RAC producidos pueden ser utilizados racionalmente como aparece en la tabla 7.

**Tabla 7.- Distribución de los RAC en el sistema de cosecha.-**

Esquemas de cosecha	Total de RAC producido		Cobertura del terreno		Materia prima y combustible			
	MMt	%	MMt	%	Inst. de limpieza		Bagazo en la industria	
	MMt	%	MMt	%	MMt	%	MMt	%
Mecanizado	9,625	70	5,101	53	2,503	26	2,021	21
Manual	4,125	30	1,733	42	1,485	36	0,866	21
MAQUINAS INTEGRALES	13,75	100	6,834	50	3,988	29	2,887	21

Como se puede observar en la tabla 7, con la aplicación de este sistema de cosecha, 50% de los RAC quedan distribuidos en el campo como cobertura del terreno para evitar la proliferación de malas hierbas, mantener la humedad del terreno, evitar la corrosión y mantener la flora microbiana, con afectaciones mínimas en las labores de cultivo, ya que tienen tamaño de partículas entre 200-400 Mm. cuando el corte es mecanizado. El 21% de los RAC es transportado hasta la industria junto con la caña, formando parte posteriormente de la masa de bagazo a la salida del tándem de molinos, la que es utilizada generalmente como combustible en la generación de energía.

Mientras que 29% de los RAC (3 988 MMt) se separan y concentran en las instalaciones de limpieza ubicadas en puntos intermedios entre el campo y la industria, que resultan fáciles de preparar para su utilización como combustible o materia prima en la producción de energía eléctrica, alimento animal, fertilizantes, etc., en el proceso de diversificación industrial, con beneficios ambientales y económicos.

## **CAPITULO IV**

### **ESTACION DE LIMPIEZA EN SECO**

Sumario: 1.- Requerimientos de los RAC separados. 2.- Protección ambiental (efecto). 3.- Manipulación. 4.- Preparación o reducción del tamaño de las partículas. 5.- Densificación.

#### **1. Requerimientos de los RAC separados**

La incorporación de los RAC procedentes del campo e instalaciones de limpieza de la caña al proceso industrial, requiere de previa preparación debido a su heterogeneidad, baja densidad de bulto (20-30 Kg./m), tamaño de partículas (200-700 Mm.), alto contenido de humedad (40-60%) y la gran cantidad de tierra que incorporan las operaciones de recolección, cuando no son bien elegidas.

Esta preparación depende de la aplicación previamente conocida y de las exigencias del proceso. Si se trata de un combustible y su combustión, es por el método con frente de llama; es necesario pulverizar los RAC y alcanzar humedades cercanas a la de equilibrio del material. Cuando el método de combustión es en pila o en semisuspensión, como es el caso de la combustión del bagazo, generalmente en la

industria azucarera, los requerimientos de los RAC para el proceso pueden ser los siguientes:

Tamaño de partículas: <50 Mm. (clase 11,6 Mm.).

Contenido de humedad: 30  $\pm$ 5%.

Contenido de ceniza: 8  $\pm$ 2%.

Densidad aparente: 100  $\pm$ 20%.

Valor calórico neto: 2 284 Kcal. /kg.

Relación fuel oil/RAC: 4,38.

Experiencias del uso directo de los RAC con estas características en la alimentación animal, muestran resultados satisfactorios<sup>23</sup>. Tecnología de preparación de los RAC acorde con las características del sistema de cosecha existente en la preparación o potenciación de los RAC con alta eficiencia, se consideran las operaciones siguientes:

Captación y concentración o separación de los RAC.

Manipulación (recolección y transporte).

Reducción del tamaño de las partículas.

Transporte hasta la industria.

Almacenamiento.

## **2. Protección ambiental (efecto)**

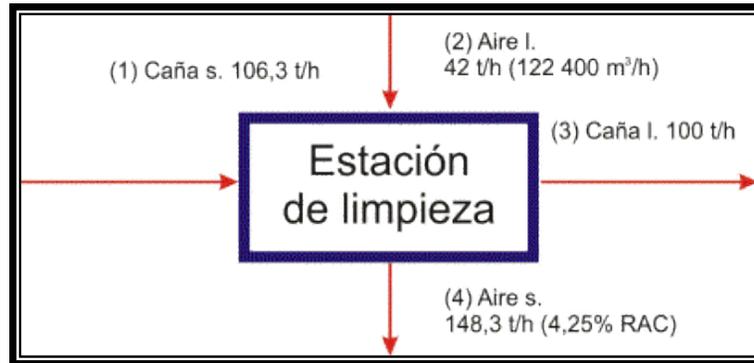
Para lograr el máximo aprovechamiento de las capacidades instaladas, la tecnología de potenciación de los RAC está asociada a las instalaciones de limpieza de la caña. Una instalación de limpieza puede ser representada como un sistema en el cual intervienen cuatro corrientes, dos de entrada (caña sucia y aire limpio) y dos de salida (caña limpia y aire sucio), como subproductos de un procedimiento de

---

<sup>23</sup> AGUILAR, A. y ARANGO, J., Implementación de tecnología de alta eficiencia en la preparación de los RAC, Informe final Proyecto de investigación, MINAZ, ICINAZ, (2006).

separación neumática, el cual se efectúa en varias etapas consecutivas en cámaras abiertas, denominadas expansores.

**Figura 15.- Balance de materiales en una estación de limpieza.-**



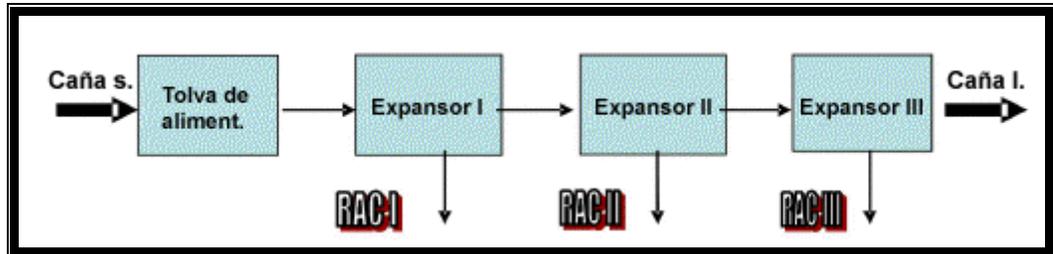
En la figura 15 se expone un esquema con el balance de materiales de una estación de limpieza convencional, cuya capacidad es 106,3 t/h. Como se observa en la corriente (2), el volumen de aire empleado en la limpieza de la caña representa 42% de la caña limpia, equivalente a 122 400 m<sup>3</sup>/h, comparable con la cantidad de gases que se extraen de un generador de vapor con capacidad de alrededor de 35 t/h.

La corriente (4), de mayor interés para la nueva tecnología, está compuesta por la corriente (2), más los RAC separados en la limpieza de la caña, que representan sólo 4,25% de la corriente (4), lo que le infiere un carácter neumático a la nueva tecnología. Cuando se relacionan estos valores, se obtiene que el potencial de RAC en esta estación de limpieza sea equivalente a 6,3 t/h, cuya recuperación representa el objetivo fundamental de la nueva tecnología.

Esto requiere, previamente, de la captación total de la corriente (4) y de la separación de los RAC, en aras de evitar que caigan al suelo, y la incorporación de materiales indeseables, como tierra, piedra, etc., como ocurre en muchos casos en instalaciones recuperativas cuando los RAC son lanzados al suelo y manipulados sobre el piso de tierra.

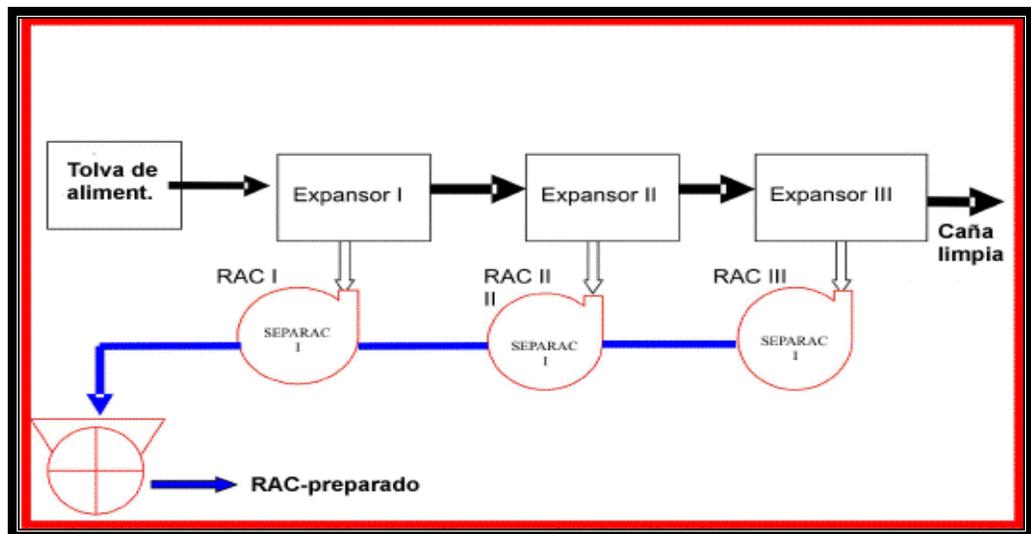
Como la limpieza de la caña se efectúa en varias etapas consecutivas, en cámaras abiertas denominadas expansores, el diagrama de flujo de esta instalación puede ser representado como muestra la figura 16.

**Figura 16-. Diagrama de flujo. Instalación de limpieza con tres expansores.-**



Finalmente, en cumplimiento de unas de las premisas fundamentales para lograr el mayor aprovechamiento de las capacidades instaladas, la nueva tecnología asociada a este sistema ofrece un modelo de instalación de limpieza, de nuevo tipo, cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura 17.

**Figura 17-. Diagrama de flujo. Instalación de limpieza de nuevo tipo.-**



La estación de limpieza de nuevo tipo, con la incorporación de instalaciones para la recuperación de los RAC, entrega como beneficios, además de la

caña limpia para la producción de azúcar, los RAC preparados como fuente de combustible y de materia prima renovable, para la sustitución de la utilización de gas, producción de energía eléctrica, alimento animal y otros derivados.

Concentración o separación de los RAC de la corriente de aire para esta operación se ha previsto un ciclón de forma cilíndrico-cónica denominado SEPARAC. Diseñado especialmente para operar acoplado a los expansores de acuerdo con las exigencias de una instalación recuperativa, difiere de los ciclones ordinarios por su alta capacidad y baja caída de presión con relación a sus dimensiones. La alimentación es tangencial e inclinada hacia abajo con un ángulo de 7-10° en la parte cilíndrica del equipo.

### **3. Manipulación**

La manipulación de los RAC en esta instalación se realiza mediante transportadores típicos empleados convencionalmente para el trasiego de bagazo en la industria azucarera. Para la recolección de los RAC debajo de la batería de SEPARAC, se emplea un conductor de banda acanalado que a la vez alimenta al equipo preparador de RAC; mientras que los RAC preparados pueden ser entregados directamente a los medios de transporte o a otras instalaciones para ulterior orientación o preparación.

### **4. Preparación o reducción del tamaño de las partículas**

Es un proceso de gran importancia, debido a la alta eficiencia que se requiere alcanzar para obtener el tamaño de partículas requerido con relación al tamaño de entrada, hasta en el mejor de los casos. Para esta operación se han realizado experiencias con varios equipos, como aparecen en la tabla 8.

**Tabla 8-. Tecnologías utilizadas en la preparación de los RAC.-**

Tecnologías	Parámetros de operación		
	Tamaño de partículas Clase 11,64 Mm., %	Consumo energía, Kwh./t	de Capacidad , t/h
1 juego de cuchillas y			10-20
1 molino de 3 mazas	64	16,5	
2 juegos de cuchillas y			4-6
1 molino de 2 mazas	73	13,5	
			50-60
Basculador y tándem	100	78	
Molino desmenuzador	87	20,4	4-6

El resto de las operaciones se realiza en medios y operaciones convencionales de la industria azucarera; mientras que la protección del medio ambiente se manifiesta como efecto esperado del uso racional de los RAC como fuente de energía, alimento animal, etc., con la aplicación de esta tecnología.

El modelo de tecnología descrito es único en su tipo, al operar asociado a las instalaciones de limpieza de la caña. En la medida en que los RAC van siendo separados de la caña y entran a un módulo neumático, pasando por los equipos de corte, seleccionados, según los requerimientos del tamaño de las partículas. Los residuos preparados pueden ser entregados directamente a los medios de transporte, a una empacadora para su mayor densificación, o a otra operación subsiguiente. Este modelo de tecnología es totalmente mecanizado, fácil de automatizar, lo que simplifica la mano de obra y el uso de equipos adicionales en la preparación y el trasiego de los RAC en las instalaciones de limpieza. Facilita también la obtención de los RAC con mayor concentración (sin la incorporación de materiales extraños, como tierra, piedra, etc.); la transportación con mayor densidad y mayor eficiencia con el uso de los medios de transporte.

Todo esto, lógicamente, se debe a una mayor aplicación del desarrollo científico y de las capacidades instaladas, lo cual redundará en una mayor rentabilidad de la inversión.

## 5. Densificación

La densidad es una característica de gran importancia en los materiales, por su influencia en el uso del transporte, el almacenamiento y en las operaciones industriales, con la consiguiente reducción del tamaño de las partículas, lo cual también se incrementa, como aparece en la tabla 8.

En la tabla 9 se puede observar que la densidad de los RAC naturales es 19,7 Kg./m<sup>3</sup>; mientras que la densidad de los RAC después de preparados alcanzan el valor de 99,9 Kg./m<sup>3</sup>, cinco veces mayor y cerca a la densidad de la caña limpia, 118,4 Kg./m<sup>3</sup>, como se puede apreciar en la misma tabla.

**Tabla 9.- Densidad sobre los medios de transporte (Kg. /m<sup>3</sup>).**

Indicadores estadísticos	Caña	RAC	
	Troceada	Preparado	Natural
Media	118,372	99,91126	19,71295
Desviación media	4,345092	21,26624	3,607258
Error, %	3,670709	21,28513	18,29892
n	22	15	31

Según experiencias de transportación en carros de ferrocarril de los RAC sin preparar y de caña limpia, ambos procedentes de la propia estación de limpieza.

## **CAPITULO V**

### **LA CAÑA DE AZÚCAR**

**Sumario:** 1.- Características y Eco-fisiología 2.- Variedades de caña. 3.- Caña semilla de alta calidad.-

#### **1. Características y Eco-fisiología**

La caña de azúcar constituye el cultivo sacarífero más importante del mundo, responsable del 70% de la producción total de azúcar. Este cultivo se extiende a lo largo de los trópicos y subtropicos, entre los 36,5° latitud Norte (España) hasta los 31° latitud Sur (Uruguay, Australia). Su capacidad productiva varía, entre las zonas cañeras tropicales y subtropicales, de 40 a 150 t/ha de caña y de 3,5 a 15 t/ha de azúcar.

La producción de caña de azúcar en la Argentina se concentra en tres zonas: Tucumán, el Norte (Salta y Jujuy) y el Litoral. Actualmente funcionan 23 ingenios azucareros, de los cuales 15 están concentrados en Tucumán, tres en Jujuy, dos en Salta y tres en el Litoral (dos en Santa Fé y uno en Misiones). Tucumán es la región más importante con una participación del 60-65% en la producción nacional de azúcar, el Norte aporta un 35% y el Litoral un 1%.

En el área cañera de Tucumán se cultivan alrededor de 217.000 ha, pero con una superficie potencial de 300.000 ha. La producción de azúcar de Tucumán ha venido creciendo hasta alcanzar un máximo de 1.524.000 t en el 2006.

Las innovaciones tecnológicas adoptadas por el sector, las mejoras en el manejo de los cañaverales, la incorporación de variedades, el uso de madurativos y de semilla saneada entre otras, generaron incrementos importantes en la productividad, lo que se revela al comparar el rendimiento cultural promedio, en el período 1990-2008. En 1990 el rendimiento cultural promedio era de 26,80 toneladas de caña por ha con una producción de 2.445 Kg. de azúcar por ha. En el 2008 se cosecharon 219.130 ha y el promedio fue 64,52 toneladas de caña por ha. El cultivo de la caña de azúcar se extiende por distintas regiones agroecológicas de la provincia de Tucumán. Cada una de ellas posee características fisiográficas, climáticas y edáficas particulares, lo que genera diferentes condiciones y aptitudes para el cultivo.

En este capítulo prestamos especial atención a los suelos y a otros factores estrechamente relacionados como el relieve y la condición climática.

Las distintas características y cualidades del recurso edáfico pueden ser determinantes de potenciales productivos diferenciales, pueden afectar de distintas maneras los costos de producción, ordenamiento y conservación, a través de las distintas exigencias de manejo que ellas plantean.

De allí la importancia para los técnicos y productores cañeros de tomarlas en consideración para decidir la adopción de la tecnología de manejo más apropiada para cada situación particular.

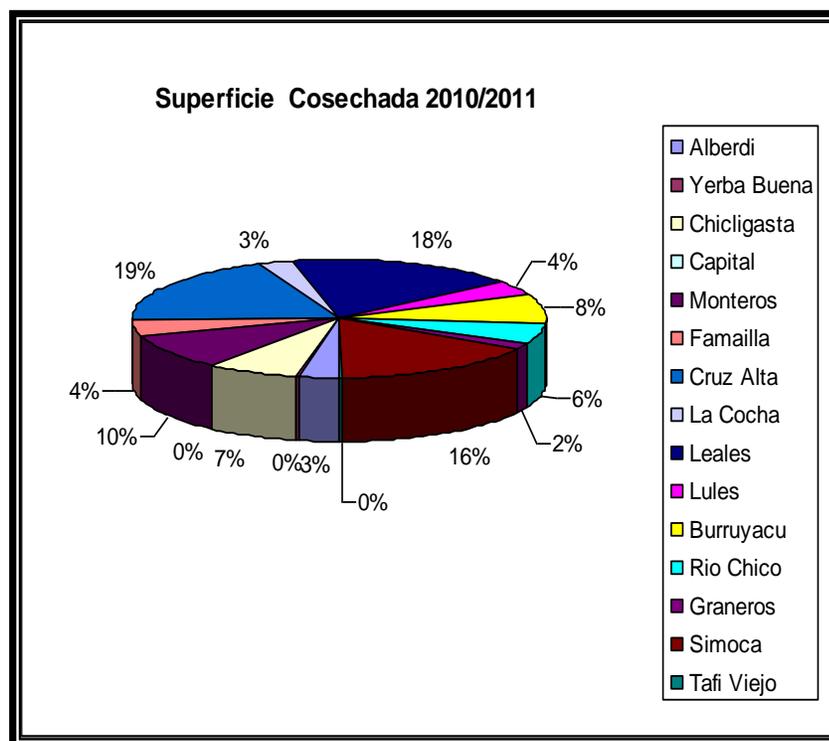
A tal fin se describirán las características más importantes de los suelos de cada región agroecológica ocupada por el cultivo de la caña de azúcar y se brindarán una serie de recomendaciones de manejo de los suelos que se consideran apropiadas para las características fisiográficas y edafoclimáticas de cada región.

Tomando como información de base el Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán de Zuccardi y Fadda, más del 90% del área cañera de Tucumán se extiende en las Regiones del Pedemonte, la Llanura Deprimida y la Llanura Chaco-pampeana.

**Tabla 10-. Superficie neta cosechada con caña de azúcar estimada en 2011 y superficie encuestada para cada departamento en Tucumán, en 2010/2011<sup>24</sup>.-**

Superficie neta			
Departamento	cosechable con caña de azúcar (ha)	Superficie Encuestada (ha)	Superficie Encuestada (%)
Alberdi	7740	5213	67,35%
Yerba Buena	260	260	100,00%
Chicligasta	17770	7434	41,83%
Capital	120	42	35,00%
Monteros	23390	8761	37,46%
Famaillá	10650	4746	44,56%
Cruz Alta	46420	31706	68,30%
La Cocha	6430	4751	73,89%
Leales	43960	17143	39,00%
Lules	9400	6266	66,66%
Burruyacú	18950	11642	61,44%
Río Chico	14270	9195	64,44%
Graneros	4050	2109	52,07%
Simoca	39270	8094	20,61%
Tafí Viejo	910	398	43,74%
<b>Total General</b>	<b>243590</b>	<b>117760</b>	<b>48,34%</b>

<sup>24</sup> FANDOS, C; SCARDALIARIS, J.; SORIA F.; CARRERAS BALDES, Área ocupada con caña de azúcar y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2011 en Tucumán, Reporte Industrial, Boletín N° 58; disponible en: <http://www.eaac.org.ar/upload/publicaciones/archivos/212/20120419184700000000.pdf>, (20/11/2012).

**Figura18-. Distribución porcentual por Departamento.-**

Fuente. Tabla 10.-

## **2.- Distribución de las principales variedades en Tucumán (campaña 2010/11)**

Entre marzo y abril de 2010 se realizó una encuesta sobre variedades de caña de azúcar implantadas en Tucumán, en la cual se relevaron 102.009 ha, que significan el 46,6% de la superficie total cultivada en la provincia. En la Figura 19 se muestra la distribución porcentual de las principales variedades implantadas en el área cañera tucumana, obtenida a partir de la encuesta mencionada. Se observa que el cultivar predominante es LCP 85-384 con un 65,18% de la superficie encuestada, siguiendo en orden decreciente TUCCP 7742, RA 87-3 y CP 65-357 con un 17,17%; 7,95% y 5,79%, respectivamente.

**Tabla 11.- Distribución porcentual de variedades según departamentos de Tucumán. Campaña 2010/2011.-**

Departamento	LCP 85-384	TUCCP 77-42	RA 37-3	CP 65-357	Otras
Alberdi	88,55	5,34	3,56	1,6	0,95
Yerba Buena	100	0	0	0	0
Chicligasta	48,07	37,94	8,84	1,88	3,27
Capital	100	0	0	0	0
Monteros	53,69	36,9	4,38	2,47	2,56
Famaillá	79,9	9,87	2,7	3,23	4,3
Cruz Alta	87,67	6,02	3,13	1,28	1,9
La Cocha	89,28	2,4	8,04	0,09	0,19
Leales	82,44	9	6,66	0,69	1,21
Lules	82,04	7,2	5,32	2,44	3
Burruyacú	90,45	4,55	4,08	0,48	0,44
Río Chico	77,21	18,26	2,17	1,9	0,46
Graneros	51,64	13,41	34,57	0	0,38
Simoca	33,2	51,23	10,56	1,9	3,11
Tafí Viejo	100	0	0	0	0

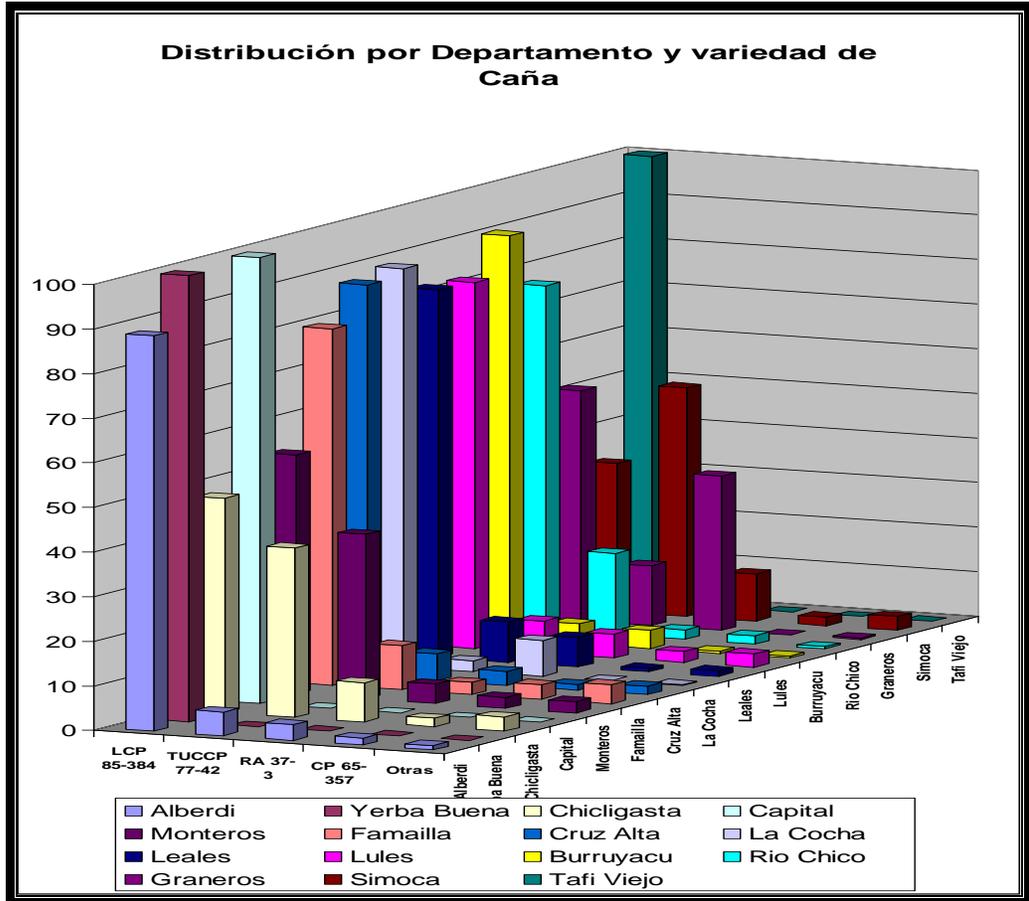
### **3. Caña semilla de alta calidad**

Mediante el Proyecto Vitroplantas, la EEAOC<sup>25</sup> produce caña semilla de alta calidad de las principales variedades cultivadas en la provincia y de las recientemente liberadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar-EEAOC. Esta semilla se caracteriza por su sanidad (nula o baja incidencia de enfermedades sistémicas), identidad genética (responde exactamente a las

<sup>25</sup> La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres es un ente autárquico del área del Ministerio de Desarrollo Productivo del Gobierno de Tucumán, cuya misión ha sido, desde su creación en 1909, apuntalar tecnológicamente el temprano liderazgo agro productivo de la provincia.

características de la variedad) y vigor fisiológico (elevada capacidad de brotación y crecimiento).

**Figura 19.- Distribución Porcentual y por departamento de variedades de caña.-**



La caña semilla se obtiene en laboratorio por las técnicas de cultivo de meristemas y micropropagación y luego se multiplica en campo mediante un esquema de semilleros: Básico, Registrados y Certificados.

El empleo de este tipo de semilla es un insumo indispensable para favorecer el aumento de la productividad de los cañaverales, permitiendo incrementos de rendimiento cultural entre 10-20%.

TUC 95-10 fue liberada comercialmente por la EEAOC en el año 2011 originándose del cruzamiento entre CP 72-370 y CP 57-614, realizado en 1995.

Esta nueva variedad presentó un elevado rendimiento de caña y azúcar por hectárea, superando en promedio a LCP 85-384 en 13 % en toneladas de caña/ha y aproximadamente 10 % en toneladas de azúcar/ha.

TUC 95-10 presenta maduración temprana y muy buena calidad industrial, por lo tanto, puede ser cosechada desde inicio de zafra. Su contenido de fibra promedio es de 12,2 %.

Presenta muy buena sanidad, con alta resistencia a las enfermedades de mosaico, carbón, estría roja y Pokkah boeng y moderada resistencia a roya marrón.

En condiciones experimentales, TUC 95-10 presentó muy buena respuesta a madurativos y demostró tolerancia a los herbicidas comúnmente usados.

TUC 95-37 fue liberada comercialmente por la EEAOC en el año 2009, originándose del cruzamiento entre CP 65-357 x TUC 87-1756, realizado en la EEAOC en 1995. Presenta un muy buen rendimiento de caña/ha en ambientes favorables, mostrando un buen comportamiento en ambientes con limitantes, alcanzando un valor de producción similar a LCP 85-384.

TUC 95-37 presenta una maduración temprana y puede ser cosechada desde inicio de zafra. Su contenido de fibra es de alrededor de 13%. Respecto a su comportamiento fitosanitario, TUC 95-37 es resistente a escaldadura de la hoja y es moderadamente resistente al carbón y a la roya marrón. En condiciones experimentales, TUC 95-37 presentó una muy buena respuesta a madurativos y demostró tolerancia a herbicidas.

TUC 97-8 fue liberada comercialmente por la EEAOC en el año 2009, originándose del cruzamiento entre TUC 87-21 y TUCCP 77-42, realizado en nuestras instalaciones en 1997.

Presenta un muy buen rendimiento de caña/ha en ambientes favorables, mostrando un buen comportamiento en ambientes con limitantes, alcanzando un valor de producción similar a LCP 85-384.

TUC 97-8 presenta una maduración temprana y una muy buena tasa de acumulación de sacarosa durante los meses de zafra, por lo cual, puede cosecharse desde sus inicios. Su contenido de fibra es de alrededor del 12 %.

Respecto a su comportamiento fitosanitario, es altamente resistente a mosaico y carbón y moderadamente susceptible a escaldadura de la hoja.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> EL MANUAL DEL CAÑERO, en Internet:  
<http://www.eeaoc.org.ar/publicaciones/categoria/18/50/Manual-del-Canero.html>,  
Estación Experimental Obispo Columbres, (Tucumán, Arg., 2009), (02/12/20112).

## **CAPITULO VI**

### **LA PROVINCIA DE TUCUMÁN CUENTA CON ABUNDANTES RECURSOS BIOMÁSICOS**

Sumario: 1.- Introducción, Localización. 2.- Resultados obtenidos. 3.- Solución medioambiental sustentable en la cosecha de la caña. 4.- El cambio climático y las actividades energéticas están muy íntimamente relacionados.-

#### **1. Introducción, Localización**

En Tucumán existen fábricas de azúcar que operan durante 330 días/año, pero en sentido general en la mayoría de los ingenios, la cosecha de la caña se realiza en períodos de 5 a 6 meses en épocas específicas del año al estar condicionada su recolección a los períodos de lluvia. En los casos en que se opera durante todo el año se puede mediante el uso de turbogeneradores de extracción-condensación aumentar la cantidad unitaria de energía eléctrica generada.

En los otros casos en que el período de cosecha se limita a una parte del año, 150 a 180 días, no es atractivo económicamente realizar una instalación de este tipo a no ser que se utilice un segundo combustible como fuel-oil, carbón, gas natural, bagazo o RAC almacenados de forma tal que se pueda operar durante todo el año.

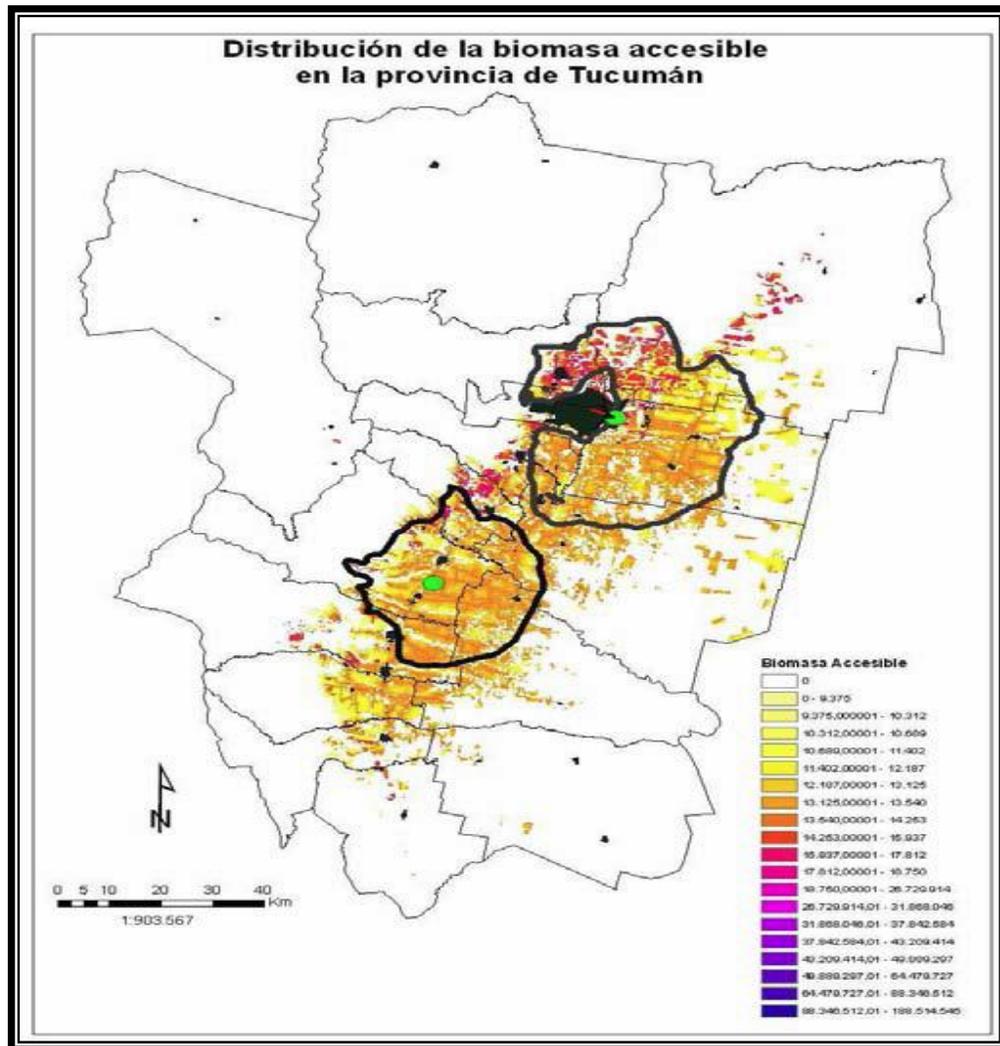


30% de los tallos verdes de caña molidos, es el residuo fibroso de este proceso y se obtiene con un 50% de humedad, lo que equivale a 12 t de bagazo anual por hectárea cosechada. Respecto al uso de RAC como combustible, el RAC recolectable considerando las necesidades agronómicas del suelo y la eficiencia de la maquinaria recolectora/densificadora utilizada en Argentina, se ha establecido en 3,9 t de RAC por hectárea de caña cosechada

Para determinar la biomasa potencial generada a partir la poda de los frutales (cítricos), se consultó bibliografía internacional. Los valores aplicados fueron de 3 t de biomasa seca por hectárea y año.

Una vez contabilizada y especializada la biomasa potencial disponible a partir de los mencionados residuos, se calculó la oferta disponible accesible, teniendo en cuenta la accesibilidad física y legal al recurso. Los departamentos con potencial biomásico para la generación de bioenergía a partir de la poda de frutales cítricos, bagazo y RAC en la provincia de Tucumán son: Tafí del Valle, Yerba Buena, La Cocha, Capital, Graneros, Tafí Viejo, Lules, Juan B. Alberdi, Famaillá Burreyacu, Río Chico, Simoca, Chicligasta, Leales, Monteros y Cruz Alta. La Biomasa total accesible asciende a 2.178.500 t. El 95% del potencial biomásico deriva de la caña de azúcar.

**Figura 21.- Distribución de la Biomasa Accesible en la Provincia de Tucumán.-**

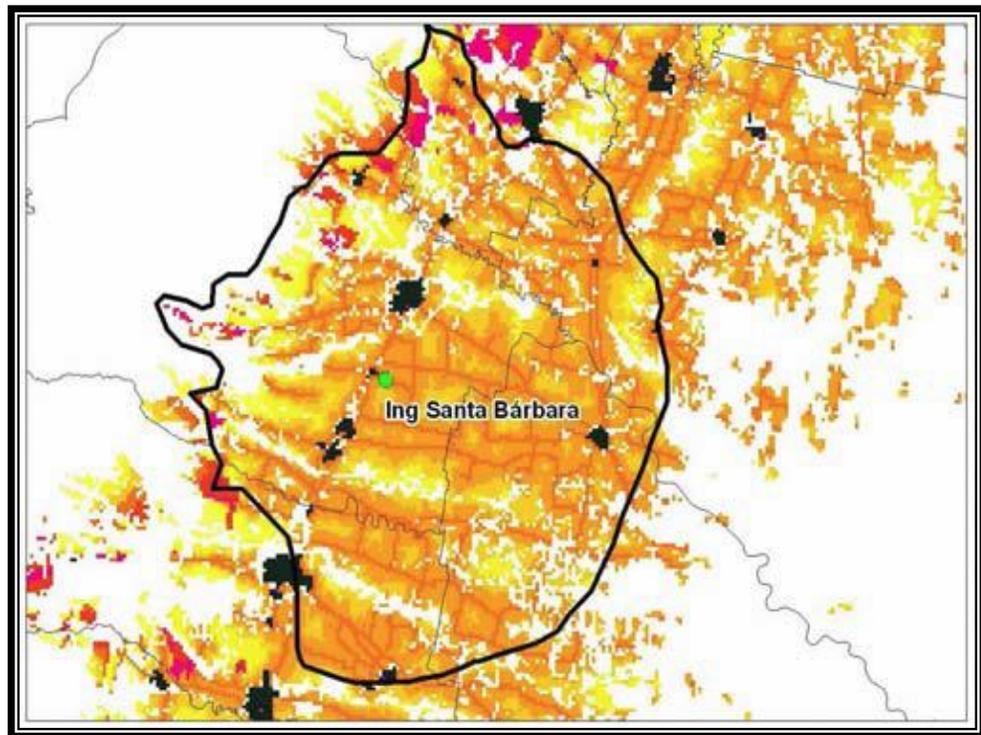


Una vez contabilizada la biomasa disponible se procedió a analizar la posible localización de plantas de generación de energía eléctrica a partir de biomasa, en función de la cercanía a los ingenios, y se definió la cuenca de aprovisionamiento con el menor costo posible. A modo de ejemplo, en la Figura 18 se muestra la cuenca de aprovisionamiento si se decidiera instalar una central de cogeneración de energía eléctrica a partir de biomasa de una potencia de 30 MW, en el ingenio Santa Bárbara (A), y en el ingenio Concepción (B), para lo cual es necesario el aprovisionamiento de 443.000 t de biomasa. En el caso de la cuenca A, con una distancia al recurso

máxima de 20 Km., se contaría con 499.000 t de biomasa y en la cuenca B, con una distancia al recurso máxima de 30 Km. 456.400 t.

**Figura 22-. Posibles cuencas de aprovisionamiento para una central de cogeneración.-**

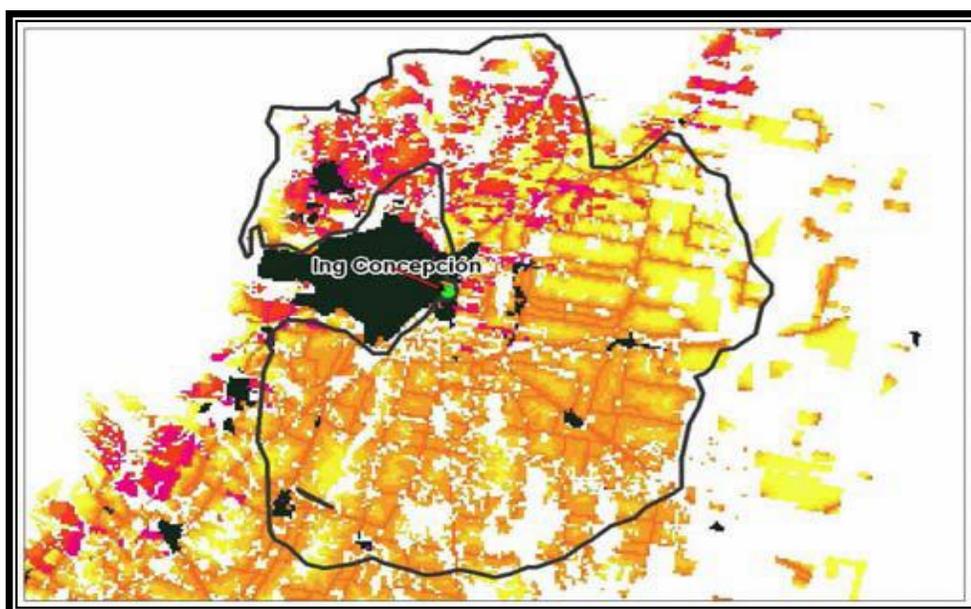
**Cuenca A**



La biomasa derivada del cultivo e industrialización de la caña de azúcar, constituye el mayor potencial biomásico para la generación de energía eléctrica en la provincia de Tucumán. Su aprovechamiento, con fines energéticos puede contribuir al crecimiento de la economía regional, además de producir un impacto positivo sobre el medio ambiente, al prescindir de energía fósil.

Para poder implementar la generación de energía eléctrica a partir de estos residuos deberán acometerse cambios tecnológicos en los ingenios y de infraestructura para el almacenamiento de RAC y el funcionamiento de la central en períodos de no zafra.

### **Cuenca B**



Esta metodología permite la contabilización de biomasa para la generación de energía eléctrica, dimensionar las centrales, ubicar la cuenca de aprovisionamiento de la misma sin que exista competencia por el recurso.

## **2. Resultados obtenidos**

La cantidad de RAC (toneladas de materia seca/ha) que quedo después de la cosecha en verde de la cana fue elevada, pero disminuyo significativamente de inicio a fin de ciclo. El porcentaje de reducción de la cantidad de RAC fue de 53,6% y 63,8% para los ciclos 2006/2007 y 2007/2008, respectivamente (Tabla 12).

**Tabla 12.- Cantidad inicial y final de RAC, cantidad de residuo descompuesto y porcentaje de descomposición en los dos ciclos agrícolas evaluados. Albarracín, Tucumán, Argentina.-**

<b>Residuo de la cosecha en verde (materia seca t/ha)</b>		
<b>Ciclo agrícola</b>	<b>2006/2007</b>	<b>2007/2008</b>
<b>Cantidad inicial</b>	<b>12,2a</b>	<b>16,6a</b>
<b>Cantidad Final</b>	<b>5,6b</b>	<b>6,0b</b>
<b>Cantidad Descompuesta</b>	<b>6,6</b>	<b>10,6</b>
<b>Porcentaje de Descomposición</b>	<b>53,6</b>	<b>63,8</b>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

Comparación de medias: test de Tukey.

**Tabla 13.- Relación C/N inicial y final del RAC, y porcentaje de reducción de la relación C/N en los dos ciclos agrícolas evaluados. Albarracín, Tucumán, República Argentina.-**

<b>Relación C/N del residuo de cosecha</b>		
<b>Ciclo agrícola</b>	<b>2006/2007</b>	<b>2007/2008</b>
<b>Relación C/N inicial</b>	<b>117,2a</b>	<b>101,1a</b>
<b>Relación C/N final</b>	<b>40,3b</b>	<b>49,4b</b>
<b>Porcentaje de reducción</b>	<b>65,6</b>	<b>52,2</b>

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Comparación de medias: test de Tukey.

De esta manera, después de cada ciclo agrícola quedo en el campo una cantidad de residuo posible de manejar. Las experiencias realizadas en Tucumán indican que la cantidad potencial de residuo después de la cosecha en verde de la caña

de azúcar depende de la variedad, pero principalmente del nivel productivo del cañaveral.<sup>28</sup>

La descomposición del RAC estuvo significativamente correlacionada con los días transcurridos desde la cosecha (tiempo acumulado) y el régimen térmico, expresado mediante el índice denominado suma térmica ( $\Sigma$  temperatura media diaria), en ambos ciclos agrícolas.

La relación C/N del residuo fresco de la caña de azúcar fue mayor a 100 en los dos ciclos agrícolas, lo que indica que es un residuo de lenta mineralización. Al final de ambos ciclos la relación C/N se redujo significativamente, siendo los porcentajes de reducción 65,6% y 52,2% para 2006/2007 y 2007/2008, respectivamente (Tabla 13).

La velocidad de degradación de los residuos y, por lo tanto, la posible liberación de nutrientes están principalmente determinadas por la relación C/N y por el contenido de N, lignina y polifenoles de los residuos. Los trabajos de diferentes autores establecen que los valores críticos para la relación C/N se encuentran entre 20 y 40; los residuos con relación C/N superior a estos valores son de lenta mineralización. La disminución de la relación C/N del RAC también estuvo significativamente correlacionada con los días transcurridos desde la cosecha y el régimen térmico (suma térmica). Estos resultados evidencian que la temperatura es un factor fundamental en el control de la descomposición de la materia orgánica.

La concentración inicial de carbono (C) del residuo de la cosecha, expresada en porcentaje de materia seca, fue de 45% y 49% para 2006/2007 y 2007/2008, respectivamente. Al final del ciclo, la concentración de C del RAC se redujo significativamente a 29% y 25%, respectivamente (Figura 19).

El contenido inicial de nitrógeno del RAC (N % materia seca) fue proporcionalmente más variable que el de C entre los ciclos agrícolas, con valores de 0,39% para el ciclo 2006/2007 y 0,56% para 2007/2008. Se espera la mayor

---

<sup>28</sup> ROMERO, E. R.; SCANDALIARIS, J.; DIGONZELLI, P. A.; ALONSO, L. G.; LEGGIO, F.; GIARDINA, J. A.; CASEN, S. D.; TONATTO M. J. y FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI, J., Effect of variety and cane yield on sugar cane potential trash, en "Revista Industrial y Agricultura de Tucumán", (2009), pág. 9-13.

variabilidad en el contenido de N, considerando que el residuo de la cosecha de la caña de azúcar está constituido por proporciones variables de despunte, hojas secas y hojas verdes, las cuales presentan diferentes concentraciones de N.

Al final de ambos ciclos agrícolas, la concentración de N del RAC se incrementó a 0,73% y 0,67%, respectivamente (Figura 23).

Este mismo tipo de comportamiento ha sido reportado para otros residuos de alta relación C/N.

Así, se han cuantificado aumentos en la concentración de N durante la descomposición del rastrojo de maíz, sorgo y trigo<sup>29</sup>. El aumento de la concentración de N en el residuo que se descompone sobre el suelo se debe a la pérdida de peso del residuo y a la inmovilización adicional de N por parte de los microorganismos del suelo. Por otra parte, en los residuos de alta relación C/N, el N es liberado más lentamente que el C durante la descomposición, por lo que se produce un aumento en la concentración de N del RAC a medida que avanza este proceso.

En caña de azúcar existen reportes que indican una inmovilización potencial de cantidades considerables de N durante la descomposición del RAC.<sup>30</sup> Si se considera la cantidad inicial y final de RAC y el contenido inicial y final de C y N (% materia seca) del residuo, es posible calcular el aporte de estos elementos al agro-ecosistema para cada ciclo agrícola estudiado (Tabla 13)

Los valores presentados en la Tabla 13 evidencian la importancia del proceso de descomposición del RAC en el reciclado de nutrientes y, en consecuencia, en el manejo de la fertilización en el agro-ecosistema de la caña de azúcar.

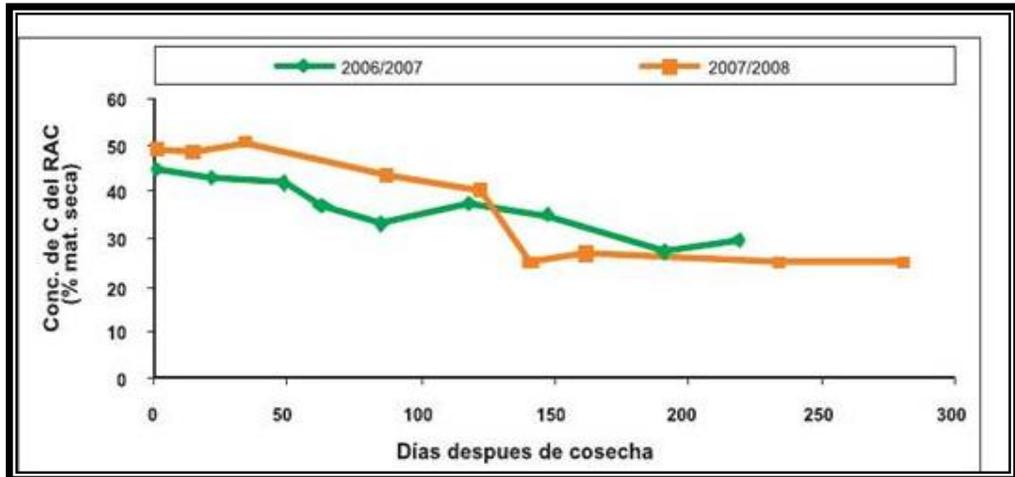
---

<sup>29</sup> ERNST, O.; BETANCUR O. y BORGES, R., Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o soja, en "Agrociencia N° 6", (2002), pág. 20-26.

<sup>30</sup> BASANTA, M., Dinámica do nitrogenio en la cultura de cana de açúcar em diferentes sistemas de manejo de resíduos da colheita, Escola Superior Luiz de Queiroz, Universidade de Sao Paulo, (Brasil, 2004).

En la Figura 23 se muestran los contenidos de P y K del RAC (% materia seca) al inicio y fin de cada ciclo agrícola.

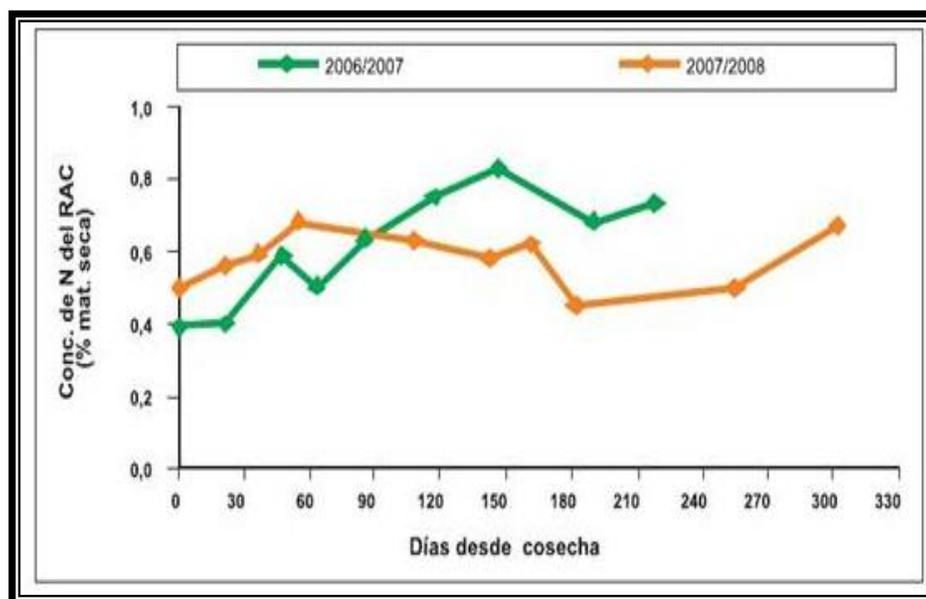
**Figura 23.- Concentración inicial y final de P.-**



La concentración inicial y final de P fue similar para ambos ciclos agrícolas (0,05% y 0,06%) y se mantuvo sin variaciones entre el inicio y fin de ciclo. La concentración inicial de K también fue similar en ambos ciclos agrícolas (0,47% y 0,36%, respectivamente), pero decreció significativamente de inicio a fin de ciclo. Considerando la cantidad inicial y final de RAC para cada ciclo agrícola y el contenido inicial y final de K, el aporte de este nutriente al agro-ecosistema por la descomposición del RAC fue de 45,1 Kg. y 39,9 Kg. de K/ha para 2006/2007 y 2007/2008, respectivamente.

El elevado nivel de liberación de K registrado en este ensayo (78,7% y 66,7% en cada ciclo respectivo) se debe a que este elemento se encuentra en las plantas en forma iónica sin constituir ningún compuesto. Por lo tanto, cuando se produce la ruptura de la membrana plasmática de las células, el K sale fácilmente.

**Figura 24.- Evolución de la concentración de nitrógeno (% materia seca) en el residuo de cosecha de la caña de azúcar, en los dos ciclos agrícolas. Tucumán, República Argentina.-**

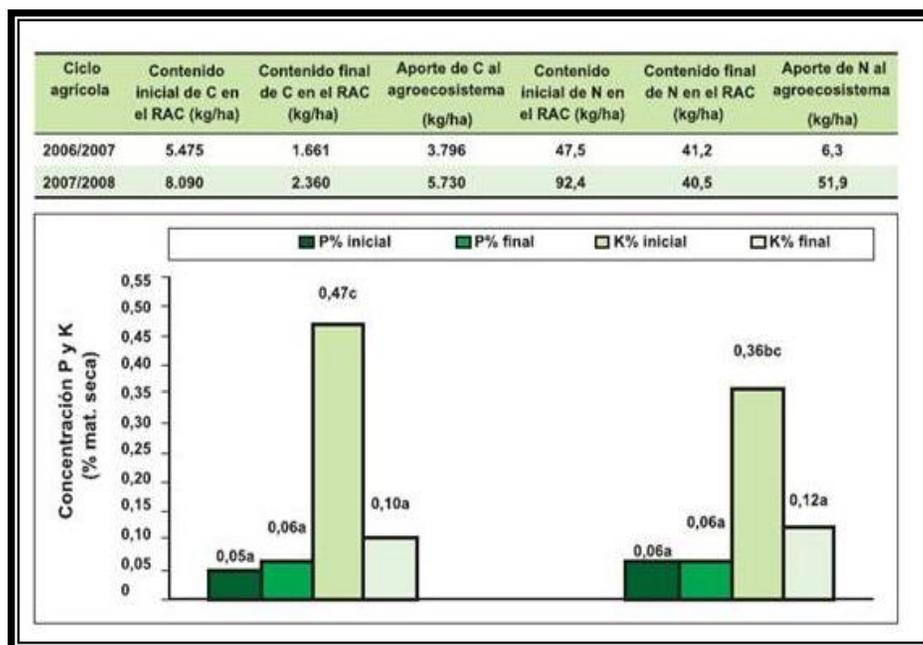


### **3.- Solución medioambiental sustentable en la cosecha de la caña**

La caña de azúcar se produce en más de cien países y constituye un cultivo de gran importancia en su gestión económica. Con una producción de biomasa que le da un lugar privilegiado en cuanto a la protección del medio ambiente, por su alta eficiencia en el proceso de fotosíntesis.

Paradójicamente, los métodos de cosecha de la caña están orientados a aprovechar sólo los tallos de la planta, dejando el resto en el campo, en el mejor de los casos como residuos agrícolas de la caña (RAC), generalmente quemados antes del corte, en aras de alcanzar alta productividad en la cosecha, y por la poca asistencia al desarrollo de tecnologías para el corte mecanizado de la caña, la recolección, la preparación y la manipulación de los RAC, para el aprovechamiento integral de la caña.

**Tabla 14-. Aporte de C y N al agroecosistema a partir de la descomposición del RAC en los dos ciclos agrícolas evaluados. Albarracín, Tucumán, República Argentina.-**



**Figura 25-.** Contenido inicial y final de P y K del RAC (% materia seca) en los dos ciclos agrícolas. Tucumán, República Argentina. Letras distintas entre P % inicial vs. P % final y K % inicial vs. K % final indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Comparación de medias: test de Tukey.

Cuando la caña es quemada para el corte, o cuando los RAC son quemados en las instalaciones de limpieza, se produce una contaminación del medio ambiente con diseminación de cenizas, humos y gases tóxicos, que amenazan a la población aledaña con enfermedades broncorespiratorias, que afectan la calidad de vida del hombre, las plantas y los animales. Los RAC, compuestos por hojas verdes y secas, cogollos y cañas no recuperables, una vez preparados representan un valioso recurso natural, renovable anualmente, abundante y propio para la industria de los derivados, como alimento animal, energía, fertilizantes, etc., con incidencia favorable en la protección del medio ambiente y alta rentabilidad económica. El presente

trabajo ofrece una solución alternativa medioambiental y sustentable en la cosecha de la caña, al eliminar la «quema» con la aplicación de una tecnología sustentable asociada a la cosecha mecanizada de la caña verde (corte y limpieza en seco), para la preparación de los RAC en un proceso continuo, una vez separados los RAC de la caña.

Los RAC preparados alcanzan un valor agregado acorde con las exigencias de una materia prima y(o) combustible, indispensable para la industria de los derivados.

#### **4. El cambio climático y las actividades energéticas están muy íntimamente relacionados**

El cambio climático y las actividades energéticas están muy íntimamente relacionados. Los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas), representan 87% de la energía mundial, contribuyen de manera directa al calentamiento del planeta y constituyen un riesgo múltiple para la vida. Los expertos afirman que las reservas de combustibles fósiles sólo durarán otros 40 ó 50 años. Estos hechos, unidos a la crisis energética actual, hacen más apremiantes las actividades de investigación y desarrollo en materia de fuentes sustitutivas de energía y el uso de fuentes energéticas renovables.

La preservación del medio ambiente, la alimentación y la disponibilidad de energía se han convertido en los problemas más importantes en el ámbito mundial. La gran mayoría de los países, tanto en desarrollo como industrializados, están afectados por desequilibrios crecientes del ecosistema, con gran influencia en el desarrollo económico y social, de modo que se ha reconocido como inevitable una transición desde la actual dependencia de los combustibles fósiles hacia otras combinaciones energéticas más diversificada. Entre las nuevas fuentes energéticas y de materias primas, y las nuevas tecnologías que se deben considerar en la solución de los problemas más apremiantes relacionados con el medio ambiente, la producción de energía y de los alimentos, están las denominadas limpias, como es el caso de la biomasa, completamente limpia en CO<sub>2</sub> dado el ciclo natural del carbono; sin

embargo, actualmente sólo representa 10% de la producción energética mundial, aún cuando se halla entre las de mayores perspectivas. Los resultados fundamentales se basan en la disponibilidad de un sistema de cosecha de la caña con magníficas posibilidades para la utilización de toda la biomasa cañera. Estudios de factibilidad y numerosas experiencias relacionadas con la recolección, la preparación, el uso energético de los RAC y el deterioro ambiental que causa la quema de esta biomasa en las plantaciones cañeras e instalaciones de limpieza, vislumbran la necesidad a corto plazo del empleo de sistemas de cosecha de caña verde.

Los procesos físicos de pretransformación de biomasa consisten en la alteración de las propiedades físicas del material, asociados a fases primarias de transformación que suelen denominarse acondicionamiento y preparación del material biomásico. No ocasionan de forma general cambios en la composición química de la biomasa y están destinados fundamentalmente a lograr acondicionar el material para su mejor utilización en los procesos posteriores a que están destinados. Dentro de estos procesos se pueden mencionar el secado; la reducción del tamaño de las partículas, como molienda, troceado, etc.; el astillado y la compactación.

La reducción del tamaño de las partículas es una operación que se realiza frecuentemente en biomásas lignocelulósicas que presentan una distribución del tamaño de las partículas no acorde con el proceso al cual están destinados, incongruencia con el sistema de alimentación y las características de diseño del sistema de aprovechamiento que se va a emplear, como es el caso de la caldera en el uso directo de la biomasa agrícola cañera para la producción de energía. Por sus propiedades físicas, las materias biomásicas altamente fibrosas son muy difíciles de moler, por lo que se debe emplear un equipo adecuado para ese fin.

De cualquier forma, esta es una de las operaciones que, de ser posible, debe evitarse, pues el molino es un equipo alto consumidor de energía y aporta costos importantes a todos los procesos de transformación de la biomasa. La preparación de la biomasa agrícola cañera o residuos agrícolas de la caña (RAC) es una operación que puede resultar muy compleja debido a la poca uniformidad, el tamaño de las partículas, la alta humedad y el alto contenido de tierra cuando la recolección no es

adecuada, siendo generalmente indispensable en el esquema tecnológico de transformación energética<sup>31</sup>.

Los equipos destinados a la preparación de esa biomasa reciben un material de muy baja densidad con tamaño de partículas de hasta un metro de longitud, las cuales deben ser reducidas en el menor de los casos a alrededor de 50Mm. (clase 11,64mm)<sup>32</sup>.

En este trabajo se analiza el curso ascendente del valor de los RAC en el nuevo escenario internacional de los biocombustibles, a la vez que se dan soluciones tecnológicas para la preparación de los RAC en la cosecha mecanizada de la caña, los cuales servirán de soporte a programas de producción de alimento animal, fertilizantes y la cogeneración de energía eléctrica a partir de los RAC y del bagazo como combustible y(o) para el desplazamiento de gran volumen de bagazo para la producción de tableros y otros derivados, en todos los casos con una incidencia favorable en la protección del medio ambiente a nivel local y global.

---

<sup>31</sup> PÉREZ, E. y AGUILAR, P., Estado del arte del uso energético de los RAC, en “Memorias del II Congreso Internacional de Biomasa en Holanda”, (2002).

<sup>32</sup> AGUILAR, P, Potencialidad energética de los residuos agrícolas de caña, Parte I Disponibilidad durante la cosecha, en “Revista Cuba-Azúcar”, No. 1. v. XXX, (2001).

## **CAPITULO VII**

### **LIMPIEZA DE LA CAÑA**

**Sumario:** 1.- Importancia. 2.- Objetivos. 3.- Materias extrañas y sus efectos sobre la calidad. 4.- Mecanización de la cosecha. 5.- Estaciones de limpieza de caña. 6.- Estación de limpieza en seco para ingenio.-

#### **1. Importancia**

La importancia de la limpieza de la caña principalmente radica en su influencia directa en los rendimientos que se tendrá a lo largo de los proceso a partir de la molienda hasta la manufactura del azúcar.

Una importancia secundaria en el plano alimentario es la producción de bioenergía mediante las RAC colectadas en la operación de limpieza en seco.

#### **2. Objetivos**

Influencia de la cosecha en el rendimiento de la caña: El deterioro de caña y la pérdida de sacarosa entre el corte y la molienda ha sido ampliamente estudiado. Es así como después del corte se inicia el deterioro, y este se incrementa en la medida

en que se aumente el tiempo de permanencia del tallo en el campo o en los patios del ingenio<sup>33</sup>.

La limpieza con respecto a la calidad de la caña, varios estudios demuestran que por cada hora transcurrida después de la quema, las pérdidas de sacarosa pueden alcanzar hasta 0,4%, parte de lo cual se debe a pérdida de peso y de rendimiento. Por lo que en el sistema tradicional de quema y corte de la caña, el tiempo transcurrido entre el corte y la molienda no debe superar las 50 horas. En términos generales, se asume que con la cosecha de la caña en verde se puede obtener un 10% de rendimiento de azúcar adicional al que se obtiene cuando se quema la caña antes de su cosecha, situación que beneficia al productor y la industria. Los análisis químicos del deterioro de la caña de azúcar a nivel de fábrica de los ingenios indican que la caña verde, como lo indican los incrementos en el contenido de polisacáridos, además de la pérdida de pureza de los jugos<sup>34</sup>. El porcentaje de materia extraña es un indicador de la calidad después del corte. La materia extraña está formada por suelo, hojas, cogollos y rebrotes del tallo, que según tienen incidencia en el incremento de costos de cosecha, alce, transporte y molienda; disminuye la eficiencia de la fábrica y la recuperación final del azúcar, como consecuencia del incremento de la fibra, bagazo y la cachaza, además del aumento de costos en mantenimiento de los equipos, tanto en la fábrica como la maquinaria de campo.

### **3. Materias extrañas y sus efectos sobre la calidad:**

Los niveles de rentabilidad que se pudieran obtener del cultivo de cualquier especie vegetal, se asocian directamente al grado de atención, esfuerzo y la calidad resultante en la cosecha, siendo este un punto culminante del proceso productivo, y que merece una especial consideración.

---

<sup>33</sup> LARRAHONDO, I., CASSALETT, C.; TORRES, J.; ISAACS, C. (EDs), El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia, (s.d.), pág. 337-354

<sup>34</sup> El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, (Cenicaña), en Internet: <http://www.cenicana.org/>, (21/10/2012).

#### **4. Mecanización de la cosecha:**

A principios de los 90', con la masiva incorporación de cosechadoras de tipo integral, de buena performance operativa, se produjo un rápido vuelco hacia el tipo de cosecha completamente mecanizada, desde donde se obtuvieron progresos importantes en lo que se refiere al abastecimiento de caña fresca para la industria, pero por otra parte se está lejos aún de alcanzar el óptimo, por imperfecciones en la limpieza de la caña, más aun en cosecha en verde (CCV), que trae aparejado un importante incremento de los residuos vegetales (Trash) lo que impide lograr una mejor recuperación de la sacarosa en fábrica. La calidad de materia prima entregada a fábrica fue entonces motivo de diversos trabajos de revisión en varios países, (6,7) los cuales resaltaron la adopción de la mecanización en porcentajes importantes durante las operaciones de cosecha, especialmente en los últimos 25 años, y ante el cambio, observaron inmediatamente algunos inconvenientes en la limpieza de la caña entregada a fábrica, lo que acarrea dificultades durante el proceso de obtención del azúcar.

El nivel medio de Trash vegetal en la cosecha en verde, en condiciones normales de trabajo, en Tucumán, es de un 7.5 %, con extremos desde 5 a 12 %. Uno de los principales elementos que se incrementa es la fibra, logrando estimarse que por cada 1% de aumento de la misma, sobre un nivel base de 12.5%, las pérdidas de recuperación de azúcar se sitúan entre 1 a 1.5 Kg. por tonelada procesada. Asimismo se logró cuantificar que el efecto del despunte en verde produce una adición del color del jugo en cantidades que varían del 2 al 29 %, por cada punto porcentual de despunte que se incorpora en la cosecha, dependiendo estos límites de la variedad.

Por otra parte el componente hojas también produce un fuerte incremento en el color, estimado en un 11%, por cada punto porcentual de hojas, sobre un nivel base del 10%. La interacción altura de despuntado por cultivar es importante, especialmente en épocas de cosecha temprana, en aquellos materiales inmaduros o de maduración tardía. Los componentes analíticos como Pol. % en jugo, pureza, y rendimiento fabril teórico, a veces no son elementos suficientes para valorar la

calidad de la materia prima, cuando se incorporan en la cosecha porciones inmaduras, y con ello se añaden en cantidades importantes al proceso fabril, almidón, % ARD, gomas, y potasio (5,8). El cambio en el sistema de cosecha es abordado con un enfoque complejo, en el que se integraran muchas facetas del sistema productivo, a los fines de desarrollar paquetes tecnológicos comercialmente viables.

### **5. Estaciones de limpieza de caña:**

Desde mediados de 1970, el problema fue manejado con la introducción y difusión progresiva de otra innovación significativa: la limpieza de caña y centros de acopio. Son instalaciones sustanciales que reciben las cañas cortadas recogidas en el campo.

#### **➤ Pre-limpieza en cosecha:**

La pre-limpieza se ha vuelto esencial para la caña, y más si es utilizado el quemado en la zafra. Un mecanismo de limpieza compuesto de una serie de cintas de caucho con surcos cortados en perpendicular a lo largo del eje longitudinal la circunferencia removida es desde 55 a 75% de extracción de hoja y basura pero no era efectiva para remover partes altas inmaduras o las vainas pegadas a las hojas. Los limpiadores poligonales removieron el total de la materia extraña incluyendo la hoja (Trash) hasta en un 75%. Un mecanismo de limpieza utilizando el que se usa para el maíz fue más eficiente que los rodillos poligonales. Las investigaciones de los ingenios de para limpieza se centraron en un nuevo diseño que limpiaba los tallos de caña en forma de cascada, removiendo después la materia extraña. Esta operación podía incrementar la calidad de la caña.

#### **➤ Cosechadoras de caña de azúcar:**

Las innovaciones tecnológicas introducidas en las cosechadoras de caña de azúcar proporcionan excelente calidad de materia prima con bajo costo, alto rendimiento, mayor productividad y el mejor y más eficiente sistema de limpieza. Ese sistema de limpieza cuenta con sistemas, que reducen las impurezas vegetales y las

pérdidas por fragmentación, aumentando significativamente la densidad de carga y proporcionando costos operacionales reducidos.

**Figura 26.- Cosechadoras de caña de azúcar.-**



Con un Sistema operando a velocidad de 850rpm, es posible bajar el porcentaje de impurezas vegetales (paja + palmito) en cerca de 20% con relación al sistema actual. Eso resulta en mejor calidad de la caña de azúcar enviada a la planta de procesamiento y, consecuentemente, en mejor desempeño de extracción en la molienda.

➤ **Limpieza tradicional con agua:**

Los largos volúmenes de agua que pueden ser consumidos en la limpieza (lavado) de caña, extracción de jugo y los subsecuentes procesos y en la producción de vapor para el proceso y generación de energía reportan que la caña cosechada puede requerir de 3 a 10 m<sup>3</sup> de agua para lavar por tonelada. El agua es el material más usado en la manufactura de azúcar.

➤ **El lavado de caña:**

Minimizando que la necesidad de lavar la caña para reducir el material extraño colectado con ésta en la cosecha es deseable desde un punto de vista económico y perspectiva ambiental, por el costo de operación y de sacarosa perdida durante el lavado de caña. La caña sin quemar, cortada por mano en condiciones secas, no se necesitaría una limpieza antes de la extracción de azúcar, y esto puede ser conducido a posibles métodos de limpieza en seco de caña, usando procesos neumáticos.

➤ **Materias extrañas en caña extraída:**

Por materia extraña se entiende cualquier material que es llevado a la fábrica de azúcar como parte de la caña pero que no contribuye materialmente al incremento de azúcar producida o tener la tendencia de bajar la pureza de los jugos mezclados. Incluidos en esta clasificación están: las puntas de la caña, hojas secas y verdes, arena, malas hierbas, agua, rocas y restos de acero. Algunos autores utilizan la palabra “Trash” como término común para la materia extraña. La cantidad de materia extraña en porcentaje de cañas limpias depende de la variedad de caña, el método de cosecha y las condiciones del clima al cosechar. Se reportan que cuando se corta a mano, la materia extraña rara vez excedía en 4%. Pero cuando la cosecha mecanizada se volvió en método predominante, los niveles de Trash casi se doblaron.

➤ **Tipos de limpieza**

El más simple, y probablemente más efectivo método de reducción del material no deseado en caña, es el quemado antes o después de la cosecha. Este método ha sido usado en el mundo por muchos años. Así la contaminación por humo y partículas aéreas se incrementaron ante un rechazo público. Y se vio que la caña quemada se deterioraba más rápido que la caña sin quemar aduciendo que la cosecha de caña verde era más lucrativa que el quemado. Se reportaba un incremento de azúcar recuperable en 5–7% de la caña verde frente a la quemada. En muchos ingenios de Brasil lavados con agua remueven grandes cantidades de tierra que

acompaña a la caña después de la cosecha mecanizada. Fue estimado (Clarke, 1991) que 1-2% de la sacarosa en la caña es perdido como resultado del lavado. La demanda biológica de oxígeno es de 1 Kg. por tonelada de caña lavada.

➤ **Limpieza en seco**

El término “limpieza en seco” se refiere al uso de equipo mecánico que reduce la materia extraña por técnicas que no sean por quemado o lavado. Si es azúcar el producto principal de la caña, y la cosecha de caña verde es la única opción, la forma más deseada de limpieza es en seco, pero no la imperativa. Los beneficios pueden ser:

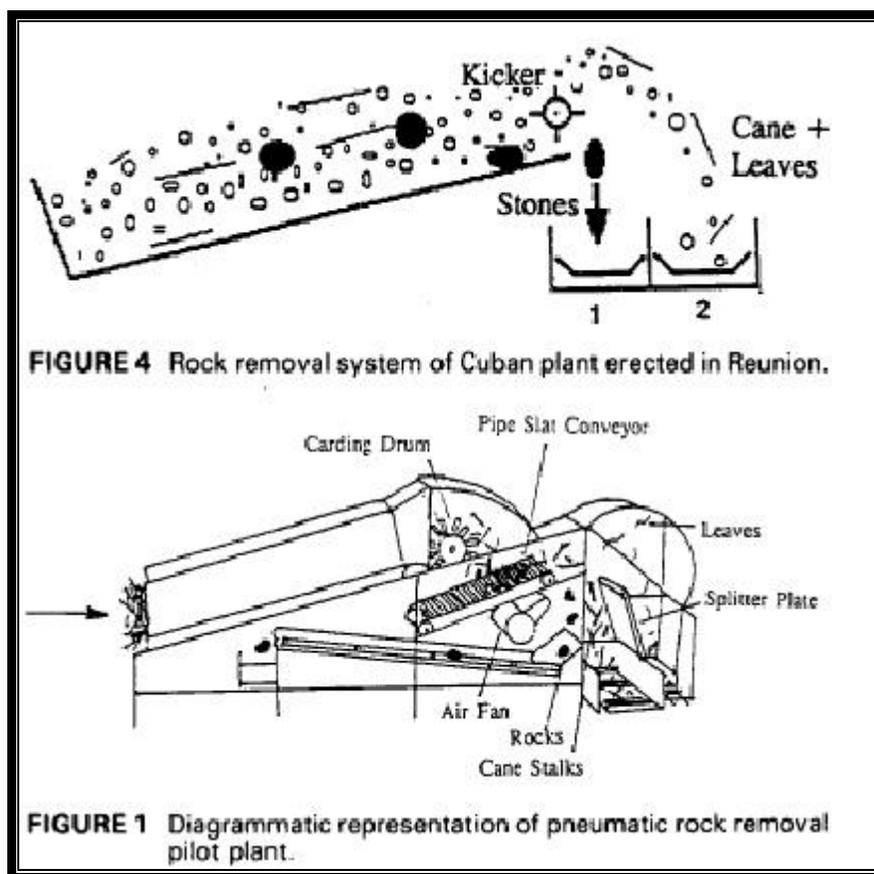
- Se salvan costos en términos de reducir el desgaste y mantenimiento.
- Se incrementa la capacidad del ingenio debido a la reducción de cantidad de materias extrañas.
- Se reduce el consumo de energía siendo la misma cantidad de azúcar producido.
- Menos pérdida de azúcar en el filtro del cake, bagazo y molazas.
- Operaciones más fáciles debido a menor viscosidad de jugos y melazas.
- Se incrementa la calidad del azúcar.

Suplemento de largas cantidades de biomasa que puede ser usada para operaciones industriales. Algunos inconvenientes pueden ser:

Equipo adicional es requerido que necesita capital, labor, mantenimiento y consumo de energía adicional.

Cierta riqueza de la sacarosa es gastada.

Figura 27.- Diagrama que representa mecanismo para remover rocas.-



➤ **Puntas y hojas:**

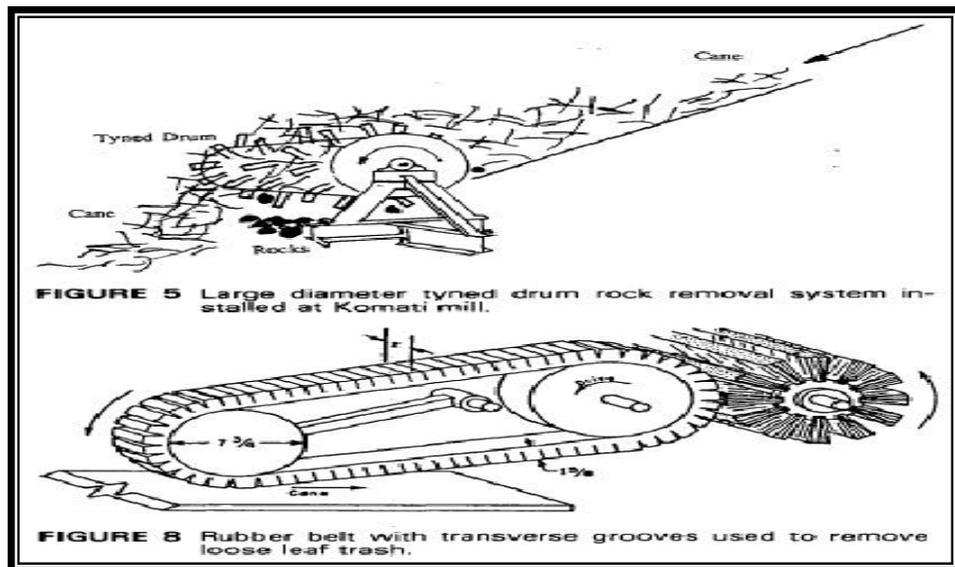
Una variedad de mecanismos han sido investigados para remover las puntas y hojas de la caña. Las hojas pueden ser separadas por velocidad de aire neumática, la eficiencia depende de la cantidad y velocidad del aire usado. Cortar la caña en pequeñas secciones mejora la eficiencia del removido del trash. Cochran y Clayton (1968) encontraron que la remoción de trash de 77% fue logrado cuando el largo de las cañas fue de 150 Mm., mientras que en las de 380 Mm. la eficiencia era de 73% y para las cañas de 600 Mm. solo de 59%. La velocidad del aire de 25 m/s para las cañas de 150mm fue suficiente para remover 98%. Muchos cosechadores tienen una altura ajustable que corta y separa las puntas inmaduras, son efectivas pero la caña pierde un 4% en su medida. Los rodillos son efectivos en detectar y separar las hojas secas. Un método para intentar sacar el trash es usando una serie de bandas

de goma con ranuras a lo largo de su longitud, estos se juntan a pulidores como resultado se cortan y separan las hojas de la caña.

### 6. Estación de limpieza en seco para ingenio:

El objetivo de practicar una limpieza en seco es lograr una separación máxima de la materia extraña con una mínima inversión y mínimo impacto en el ambiente.

**Figura 28.-Limpieza en seco para ingenio.-**



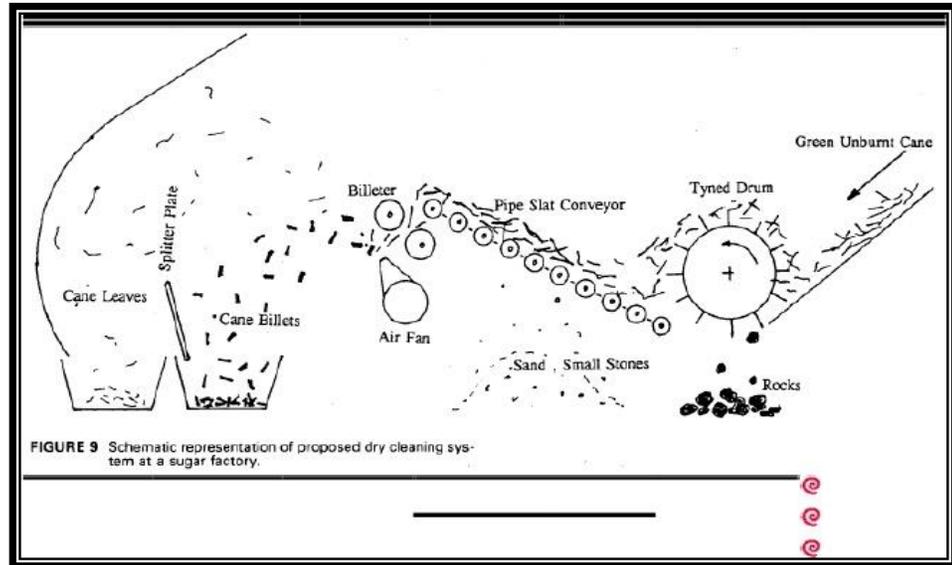
#### Rendimientos:

La limpieza en seco da una ganancia de azúcar en 5.3 % con respecto a la limpieza en húmedo convencional, mostrándose: Azúcar fabricada (%)

Pérdidas en la limpieza y en el tren de molinos

En el plan de futuro sostenible de muchos ingenios se tiene como objetivos la eliminación de: La quema de caña. La mecanización completa de la cosecha. La disminución de la quema de combustibles fósiles en la producción de energía eléctrica.

**Figura 29-** Sistema de recuperación, procesado, limpieza eliminación de de basura.-



Por este motivo muchos ingenios están disminuyendo la eficiencia de limpieza de las cosechadoras mecánicas para aumentar la cantidad de materia vegetal en la caña y están instalando un sistema de limpieza de caña en seco en las fábricas para la limpieza de la caña y el aprovechamiento de la materia vegetal como combustible para mayor producción de energía eléctrica.

## **CAPITULO VIII**

### **DESARROLLO DE PLANES DE LIMPIEZA EN SECO**

Sumario: 1.-Limpieza en seco y aprovechamiento de la materia vegetal como combustible. 2.- Efectos en la cosecha. 3.- Efectos en el campo. 4.- Efectos en la fábrica. 5.- Excedentes de energía. 6.- Sistema sobre mesa alimentadora. 7.- Sistema de limpieza sobre el conductor de caña. 8.- Sistema liviano. 9.- Sistema pesado. 10.- Conclusiones. 11.- Recomendaciones.-

#### **1. Limpieza en seco y aprovechamiento de la materia vegetal como combustible.**

La cosecha convencional sin quema actualmente deja entre 75% y 80% de la materia vegetal en el campo; el 25% a 20% restante se va con la caña a la fábrica y sale en el bagazo.

Para aumentar la cantidad de materia vegetal y usarla como combustible para producir. Más energía en la fábrica se disminuye la eficiencia de limpieza de caña en las cosechadoras parando el ventilador secundario y disminuyendo la velocidad del primario. De esta forma se deja el 50% de la materia vegetal en el campo y se lleva a la fábrica junto con la caña el otro 50%.

**Figura 30.- Potencial energético de materia vegetal de la caña.-**

1 t de caña		Energía (MJ)	
140 kg azúcar		2300	
280 kg bagazo (50% humedad)		2570	
140 kg de materia vegetal (base seca)		2380	
Componentes			Humedad (%) Materia extraña
Cogollo			76.927.5
Hojas verdes			65.736.8
Hojas secas			7.635.2
Tierra			-0.5

	PCS (bs) MJ/kg	Hume- dad (%)	MJ/kg	PCI KCL/KG
Materia vegetal seca	17,0	15	12,9	3100
Materia vegetal húmeda	17,0	35	9,4	2250
Bagazo	18,0	50	7,2	1710

Potencial energético de materia vegetal de la caña.

La materia vegetal tiene menor humedad que el bagazo, por lo cual energéticamente 1 t de materia vegetal equivale a 1.5 ton de bagazo. Uso de materia vegetal como combustible

## 2. Efectos en la cosecha:

- Reducción de cerca de 1.5t/ha de pérdidas de caña al parar los ventiladores de las cosechadoras.
- Reducción en 0.12 l/t del consumo de combustible de las cosechadoras.

- Aumento de la capacidad operacional de las cosechadoras (el tiempo de cargamento pasa de 23.6 min. a 14.8 min.).
- Disminución de la carga de caña transportada por la disminución de la densidad de 400kg/m<sup>3</sup> a 270-300 Kg. /m<sup>3</sup>. Se pasó de transportar 33.5 t de caña por canasta de caña picada a 23.9 t. Para contrarrestar esta merma, se aumentó el volumen de las canastas de 64 m<sup>3</sup> a 93 m<sup>3</sup>, se disminuyó el tamaño de la caña picada y el transporte con tres canastas en carreteras internas.

Sistema completo de aprovechamiento de materia vegetal como combustible.

### 3. Efectos en el campo

Es necesario dejar en el campo el 50% de la materia vegetal para:  
Obtener beneficios agronómicos por los nutrientes en la materia vegetal.

Controlar las hierbas dañinas.

Reducir las operaciones en el cultivo.

Aumentar la capacidad operacional en las operaciones agrícolas.

Reducir las rutas de tráfico interno,  
lo que aumenta el área productiva.



**Figura 31.- Materia vegetal.-**

### 4. Efectos en la fábrica

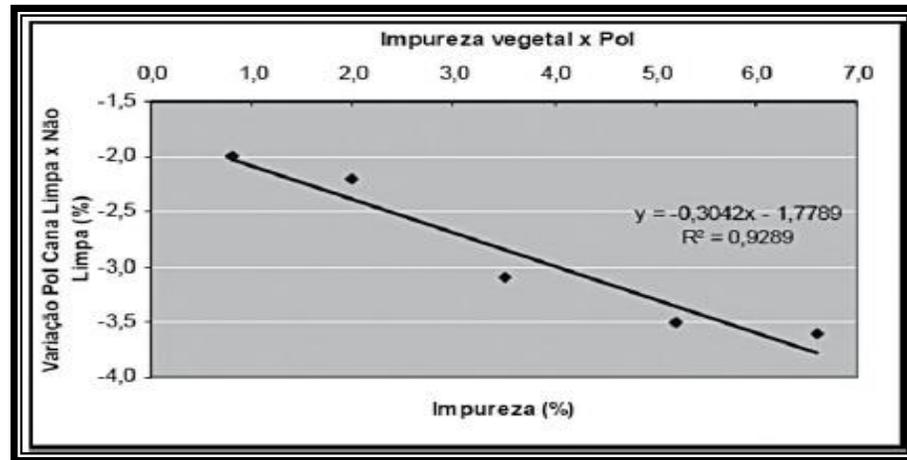
Se requiere instalar un sistema de limpieza de caña en seco.

Se requiere un sistema de separación de la materia vegetal.

Se requiere instalar un sistema de picado de la materia vegetal para poder mezclarla con el bagazo y quemarla en las calderas sin inconvenientes.

Al limpiar la caña que tiene un 10% de materia extraña aumenta la Pol. % caña hasta en 0.5 unidades (3.6% de incremento).

Figura 32.- Variación de Pol. por caña limpia.-



### 5. Excedentes de energía generada

Con el aumento de la materia extraña vegetal a la fábrica y la instalación del sistema de limpieza de caña en seco se pueden lograr excedentes de energía de hasta 76 Kwh. /Tc (Calderas de 100 bar 520° C y un consumo de vapor en fábrica de 40% caña).

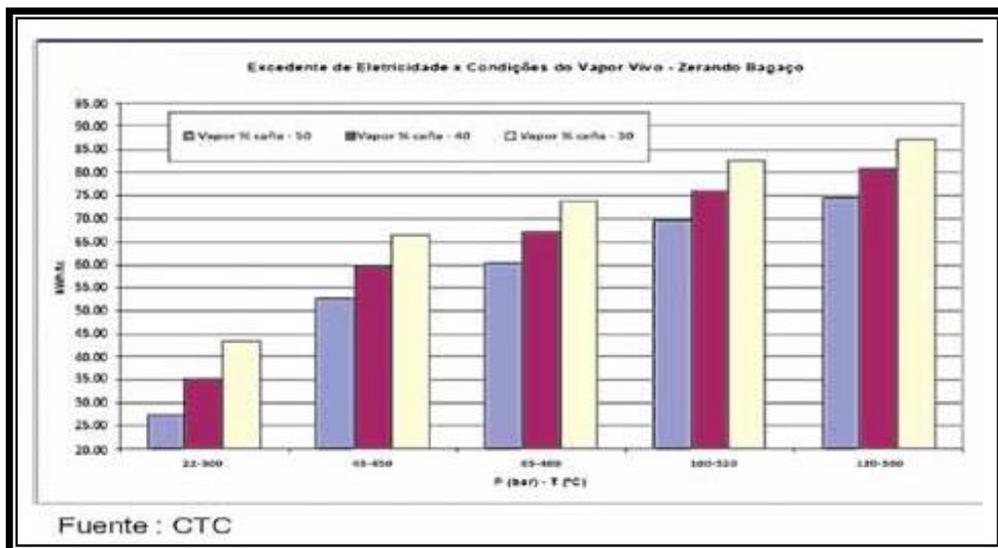


Figura 33.- Excedentes de electricidad.-

Por ejemplo para un ingenio que muele 2 millones de toneladas de caña,

pasar de traer caña con 7% de materia vegetal a 13% produce excedentes de energía de 20.9 MW, con calderas de 67 bar y 490° C.

## 6. Sistemas de limpieza de caña en seco

Las eficiencias de separación reportadas de los sistemas de limpieza en seco son de 60% para la materia vegetal y 50% para la materia mineral. Productos del sistema de separación: Impurezas vegetales, Impurezas minerales Hoja triturada Bagazo, Bagazo mas hoja triturada



Figura 34.- *Productos del sistema de separación.-*

## 7. Sistema sobre mesa alimentadora

Hay dos tipos de sistemas. En el primero los ventiladores se encuentran debajo de la mesa alimentadora y la cámara de expansión está en frente de la mesa, como se puede ver en La Figura 34.- Con esta disposición se puede hacer la cámara de expansión más grande, pero el aire de separación va en contra flujo de la caña y la materia extraña. En el segundo los ventiladores se encuentran en frente de la mesa alimentadora y dirigen el aire hacia abajo en la misma dirección de la caña, como se

puede ver en La Figura 35.- La cámara de expansión en este sistema se encuentra debajo de la mesa y parte del conductor de caña.

**Figura 35.- Sistema de limpieza con ventiladores debajo de mesa alimentadora.-**

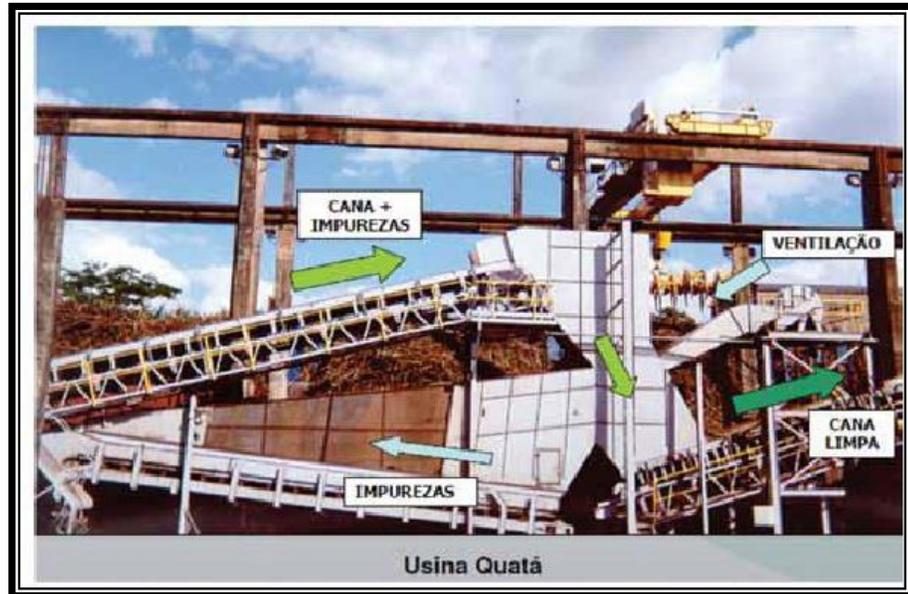


**Figura 36.- Sistema de limpieza con ventiladores en frente de la mesa alimentadora.-**

### 8. Sistemas de limpieza sobre el conductor de caña

La caña se descarga sobre un conductor de tablillas. En el extremo de este conductor hay un pateador de caña, cuyo objetivo es esparcir la caña para que se facilite la limpieza en la descarga de un conductor a otro. El aire de separación se aplica en la misma forma que en el sistema de la mesa de caña. Pueden ir debajo del conductor o en frente del conductor, como se puede apreciar en las Figuras 36 y 37

**Figura 37-. Sistema de limpieza sobre el conductor de caña con ventiladores en frente del conductor.-**



**Figura 38-. Sistema de limpieza sobre el conductor de caña con ventiladores debajo del conductor.-**



### **9. Sistema Liviano:**

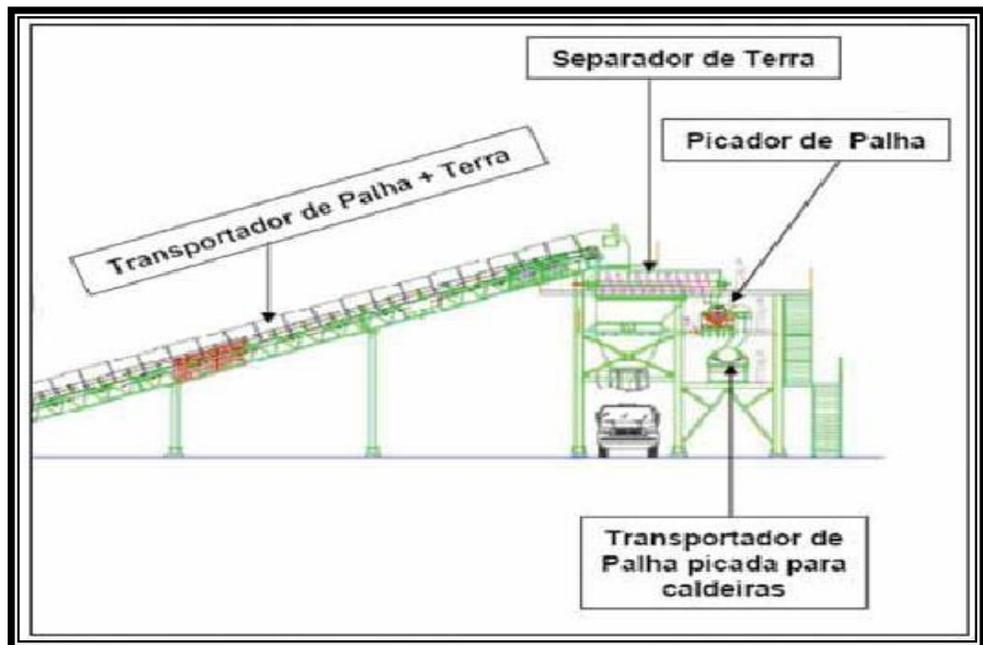
Sistemas de separación de tierra y picado de materia vegetal. Sistema liviano. El sistema está centralizado en una torre en cuya parte superior se encuentra

el separador de tierra, compuesto por un tornillo sinfín que gira a 600 rpm. y tiene su carcasa perforada por donde sale la tierra, la cual cae en una tolva que sirve de alimentación a las volquetas.



**Figura 39.- Sistemas de separación de tierra y picado de materia vegetal.-**

Después de separada la tierra, la materia vegetal pasa por un picador tipo desfibrador vertical, que descarga la materia vegetal picada sobre un transportador que la dirige a las calderas.



**Figura 40.- Sistema de separación de tierra y materia vegetal.-**

### 10. Sistema pesado:

Este diseño consta de un tambor rotativo de gran tamaño para la separación de la tierra. Posteriormente la materia vegetal se tritura en un equipo similar al usado para trituración de madera, cuyo consumo de potencia es alto.

**Figura 41.- Sistema de separación de tierra y materia vegetal.-**



### 11. Conclusiones

- La eliminación de la quema de la caña y la mecanización completa de la cosecha.
- En Brasil se ha llegado a la conclusión de que la mejor opción del manejo de la materia extraña es dejar el 50% en el campo y llevar junto con la caña el otro 50% a fábrica, donde se instala un sistema de limpieza de caña en seco y se aprovecha la materia extraña vegetal como combustible.
- Hay por lo menos 60 ingenios en Brasil con este sistema instalado y muchos con proyecto de instalación para la próxima zafra.

- Con la mecanización completa de la caña, la tendencia en Brasil es eliminar las mesas alimentadoras e instalar el sistema de limpieza en la cabeza del conductor de caña.
- La eficiencia de los sistemas de limpieza de caña en Brasil está alrededor de 60% en verano y entre 20% y 40% en invierno.
- Con el aumento de la materia extraña vegetal a fábrica y la instalación del sistema de limpieza de caña en seco se pueden lograr excedentes de energía de hasta 76 Kwh./tc (calderas de 100 bar 520° C y un consumo de vapor en fabrica de 40% caña).
- Adicional a la mayor generación de energía Brasil reporta los siguientes beneficios por la instalación del sistema de limpieza de caña:
  - Reducción de 1.5 t/ha de pérdidas de caña con el corte mecanizado.
  - Reducción en los costos de mantenimiento provocados por la disminución de la materia extraña mineral que entra a la fábrica (entre 1-3 millones de US/zafra).
  - Aumento de 3% en la recuperación de azúcar.

## **12. Recomendaciones**

La agroindustria del sector azucarero debe trabajar en esto principalmente para:

- Apuntar al futuro sostenible de la industria. Es necesaria la eliminación de la quema de caña, razón por la cual hay que darle manejo a la mayor cantidad de materia vegetal que se producirá con esta medida.
- Aprovechar la energía contenida en la materia vegetal, la cual representa el 33.8% de la energía total de la caña.
- Aumentar la mecanización de la cosecha.
- Posibilitar el aumento de la capacidad de molienda.
- Eliminar la quema de combustibles fósiles por ser un problema ambiental y social.
- Además de que su disponibilidad cada vez es menor y sus costos, mayores.

- Reducir los costos y aumentar el rendimiento en fábrica por la disminución del contenido de materia mineral que entra con la caña.<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup>VÉLEZ, Carlos, Limpieza de caña en seco y aprovechamiento de la materia extraña vegetal como combustible en Brasil, en “Revista Técnicaña” N° 26, (Diciembre de 2010), pág. 10.

## **CAPITULO IX**

### **EFICIENCIA ENERGETICA**

Sumario: 1.-En busca de la eficiencia energética. 2.- El logro de la eficiencia productiva. 3.- Los problemas para alcanzar la eficiencia operativa. 4.- Beneficios y desventajas. 5.- Efectos adversos. 6.- Conclusiones.-

#### **1. En busca de la eficiencia energética:**

A través del tiempo los ingenios atravesaron diferentes situaciones energéticas, con el cual la industria en general ha ido desarrollando sistemas de aprovechamiento energético más eficientes, llegando actualmente en algunos países a ser energéticamente auto-sustentables e incluso, muchos venden sus excedentes de energía obteniendo beneficios adicionales de la misma caña. En nuestro país hasta no hace muchos años los ingenios debían pagar servicios de transporte que retirara de sus instalaciones los excedentes de bagazo, dado sus ineficiencia en el quemado del mismo en las calderas para generar vapor.

A este excedente se le daba diferentes usos pero en especial el de contaminante, ya que iba a parar a los causes de agua. Los únicos ingenios que vieron

un potencial en este hecho fueron Ledesma en Jujuy y Leales en Tucumán, quienes instalaron fábricas de papel a base de fibra de bagazo.

Posteriormente en Tucumán se instala Papel del Tucumán, hoy Papelera Tucumán, que revirtió el problema generando un negocio adicional a los ingenios por la venta del bagazo, paradójicamente valorizado en unidades de gas equivalentes a la energía que proporcionaría el bagazo de ser quemado (aproximadamente 5,5 Kg. de bagazo equivalen a 1 m<sup>3</sup> de gas natural). Mientras tanto los ingenios utilizaban como combustible adicional (se considera adicional a pesar que sobra bagazo ya que es ajeno a la caña de azúcar) productos derivados del petróleo, que fueron paulatinamente reemplazados por gas natural.

Hoy, las innovaciones tecnológicas en todo el proceso de molienda que reduce los contenidos de humedad, cenizas y azúcar contenidas en el bagazo, hacen que el mismo tenga un poder calorífico superior que, sumado a los avances en los diseños y operación de calderas y a la optimización de los consumos en la fabricación por cada Tn de azúcar producido, permiten reducir y hasta hacer nulo el uso de otros combustibles. Este reemplazo de combustibles se da por un mejor y mayor consumo del bagazo producido, que por un lado requiere la renegociación de los contratos de provisión a las papeleras y por otro una solución a los problemas medioambientales, ya que la quema de bagazo genera mucha mayor polución que la quema de gas natural.

Así, los gases producidos deben ser lavados para extraer de ellos las cenizas y partículas mal quemadas (que dan a los escapes de los ingenios el color negro característico), luego deben ser separados del agua y dispuestos ya que de no, irían a parar a los causes naturales como sedimentos aumentando la contaminación.

## **2. El logro de la eficiencia productiva**

Como pudimos observar al analizar la evolución de los rindes de azúcar por caña cosechada, la misma se incrementó mucho con el correr de los años. En esta relación intervienen tres factores: las Tn de caña por Ha sembrada (rendimiento

cultural), el contenido de azúcar en la caña (rendimiento de caña) y la retención efectiva en el ingenio (rendimiento fabril). Así, con los mayores rendimientos culturales los ingenios debieron adaptarse para poder procesar mayores volúmenes sin descuidar la eficiencia fabril. A través de los procesos de innovación tecnológica se buscó aumentar la *retención* del azúcar atacando las principales pérdidas de azúcar en el proceso: pérdidas en bagazo que se quema en calderas (que a su vez vimos reduce la capacidad de quemado del mismo), pérdidas en la melaza, miel final que luego se utiliza en el proceso de fermentación para la obtención de alcohol, pérdidas indeterminadas y las pérdidas en cachaza. En este último caso se trata de reducir el contenido de azúcar que queda como remanente junto a los desechos separados durante el proceso de clarificación del jugo. Estos desechos son decantados y luego enviados normalmente a filtros rotativos al vacío donde se “lava” el residuo para extraer los restos de jugo que pudiera quedar ocluido, quedando una “torta” de cachaza remanente. Debido a los problemas de estos filtros, muchos de estos equipos prácticamente nacidos con la industria, sumados a los volúmenes procesados cada vez mayores y a la falta de disponibilidad de transporte para acarrear este desecho se optaba tradicionalmente por re-diluirlo en agua y disponerla junto al resto de los efluentes industriales hacia los causes de agua.

Cuando existía una decisión efectiva de extraerla y disponerla para mejoramiento de suelos productivos, de esta forma se hicieron aptas las zonas salinosas del sudeste tucumano como ya se mencionó, sólo se transportaba una parte, ya sea por imposibilidad de derivarla toda o por falta de capacidad en los filtros. Ante esta situación algunos ingenios advirtieron la oportunidad que tenían de mejorar suelos y al mismo tiempo evitar contaminar, haciendo uso de la **Fertirrigación**, utilizando conjuntamente la cachaza y la vinaza (efluente de la destilación del alcohol etílico a partir de melaza), los principales efluentes de la industria luego de los gases de combustión. Como referencia el volumen de las aguas de desechos de la Zafra 2004 fue de aprox. 196 millones de metros cúbicos ( $m^3$ ) – unos 1.630 millones de litros por día, lo cual en cantidad y contenido de materia orgánica igualaba a la descarga de contaminantes ambientales equivalentes al de un alcantarillado sanitario

que sirva una población aproximada de 3.000.000 de habitantes. La fertirrigación es uno de los medios agronómicos que más contribuye al aumento de la productividad y al desarrollo de las plantas. Mediante un buen abonado se enriquece el terreno con elementos minerales nutritivos que le son carentes y que pueden ser apropiados para el cultivo. Los residuos utilizados adecuadamente producen beneficios al cultivo por su valor como agua de riego, disminuyendo los problemas por sequías. Además mejoran las características agroquímicas del suelo, aumentan los rendimientos agrícolas y permiten ahorrar fertilizantes químicos, ya que los mismos tienen gran cantidad de nutrientes, materias orgánicas, y una alta relación Carbono/Nitrógeno, por lo cual pueden ser utilizados como fertilizantes de suelos. Además, desde el punto de vista medioambiental, el sistema de fertirriego es menos costoso que el tratamiento a partir de lagunas de estabilización, utilizado en otros países, aunque requieren una inversión inicial importante para mover tal volumen hacia las zonas que se quiera tratar, teniendo en cuenta que este sistema de riego produce una elevada contaminación olorosa por los compuestos aromáticos presentes en la vinaza.

### **3. Los problemas para alcanzar la eficiencia operativa**

Lo antes mencionado sirve también como ejemplo de eficiencia operativa, ya que por cambios procedimentales se favorece no sólo la industria sino también toda la comunidad. Otro caso representativo radica en las alternativas para controlar los efectos perjudiciales que el trash y la tierra presentes en la caña tienen en los equipos, procesos y rendimientos operativos de la fábrica. Está ampliamente demostrado a través de la experiencia y de numerosas investigaciones, que la calidad de la caña afecta en forma directa al rendimiento fabril y a la calidad del azúcar obtenido. A su vez la calidad de la materia prima (caña) puede ser afectada por aspectos siempre cambiantes de la agricultura de la caña de azúcar, tales como la introducción de nuevos cultivares, variaciones climáticas, el uso de maduradores químicos, cambios en las prácticas culturales y en los sistemas de cosecha o la aparición en los cultivos de enfermedades o plagas. En cuanto a los tipos de cosecha,

se observa que los contenidos de trash y tierra en caña mecanizada son sensiblemente inferiores a la cosecha semi-mecanizada, pasando de un 2 a un 5 o 7%. Al mismo tiempo, los valores de fibra (residuo vegetal) sube de 14 a 18% aprox. debido a la presencia de mayor cantidad de partes vegetales por una cosecha menos eficiente.

Esto significa que las industrias abonan a los productores una parte significativa del peso del trash de la materia prima ingresada por balanza a valor caña, dado que la forma de muestreo y análisis de este parámetro es inadecuado.

A esto se le debe incrementar los otros costos adicionales que produce este producto extraño en la fábrica propiamente dicha, como ser:

- \* Desgaste en los molinos por abrasión y una pérdida progresiva en la capacidad de extracción del jugo de caña;
- \* Aumento significativo de la cantidad de cachaza y con ello de las pérdidas de azúcar en la misma;
- \* Aumento del consumo de productos químicos para el tratamiento de los jugos;
- \* Aumento del color en el jugo y subsecuentemente en el azúcar con lo cual para evitarlo se reducen los ciclos de cristalización disminuyendo la eficiencia fabril;
- \* Desgaste de equipos, tuberías y bombas;
- \* Disminución del poder calorífico del bagazo y por ende la eficiencia en el quemado del mismo, con un aumento del consumo de gas (ya mencionado) y de las emisiones de caldera;
- \* etc.

Dado entonces que no se puede prescindir de la caña semi-mecanizada, aunque la misma lentamente va siendo reemplazada por la mecanizada o integral, es necesario encontrar los mecanismos operativos correctos para disminuir al mínimo posible el porcentaje de trash en la misma. Para ello en varios ingenios se realizaron inversiones significativas para la instalación de mesas lavadoras de caña, removiendo el contenido de tierra mediante grandes cantidades de agua (relación aprox. de 3 m<sup>3</sup> de agua por Tn caña). Esto supone ahorro de grandes dolores de cabeza a los ingenios (y de dinero), pero agrega algunos otros como la disponibilidad del dinero a invertir;

los mayores costos por la potencia requerida, el agua necesaria y la MO adicional; las nuevas discusiones con los productores ya que algunos estudios confirman que en el lavado de la caña se pierde un % del rendimiento por arrastre de azúcar; disponibilidad de terreno para instalar decantadores de arena y barros para poder re-usar el agua y no devolverla así a los cauces incrementando la contaminación, etc.

Pero otra a forma de reducir este impacto radica en lograr una mayor eficiencia operativa directamente en las tareas de recolección de la caña en el campo, previo al ingreso a las fábricas, incrementando el control en el campo al hacer bocado y evitar la topada, mejorando el transporte colocando fondos perforados en los carros que transportan la caña, etc., o sea, en general se trata de acciones de capacitación y toma de conciencia, mucho menos onerosas y complicadas pero que requiere un serio compromiso de las partes. Como ejemplo de este proceder valga los datos del ingenio Marapa durante la zafra 2005: Si bien cuenta con mesa lavadora de caña desde hace varios años, los problemas permanentes con los productores, el 100% de la caña que procesa es de terceros, hicieron complicado este proceder. Por ello la gente encargada de la supervisión en los campos adoptó las técnicas en uso extendido en Brasil, logrando que la caña semi-mecanizada presentase la mitad de trash que la integral.

#### **4. Beneficios y desventajas:**

El cultivo de la caña de azúcar en Tucumán y en el mundo, se encamina hacia sistemas productivos más sostenibles, tanto desde el punto de vista ambiental como económico y social. Conforme a esta premisa, "la eliminación de la quema, como una práctica asociada a la cosecha del cañaveral, es una realidad indiscutible".

En Tucumán, más del 80% de la superficie con caña de azúcar se cosecha en forma mecánica con máquinas integrales, sin quemar la caña antes de la operación de cosecha. Esta práctica se conoce como "cosecha en verde", y su implementación conduce a un sistema de manejo del cañaveral más sustentable y amigable con el ambiente y las poblaciones vecinas a los campos productivos.

La realización de este tipo de cosecha es posible debido a que las máquinas integrales de última generación son capaces de trabajar en estas condiciones con resultados, tanto para los niveles de "trash" (basura) como para los de pérdida de materia prima, perfectamente compatibles con una cosecha eficiente.

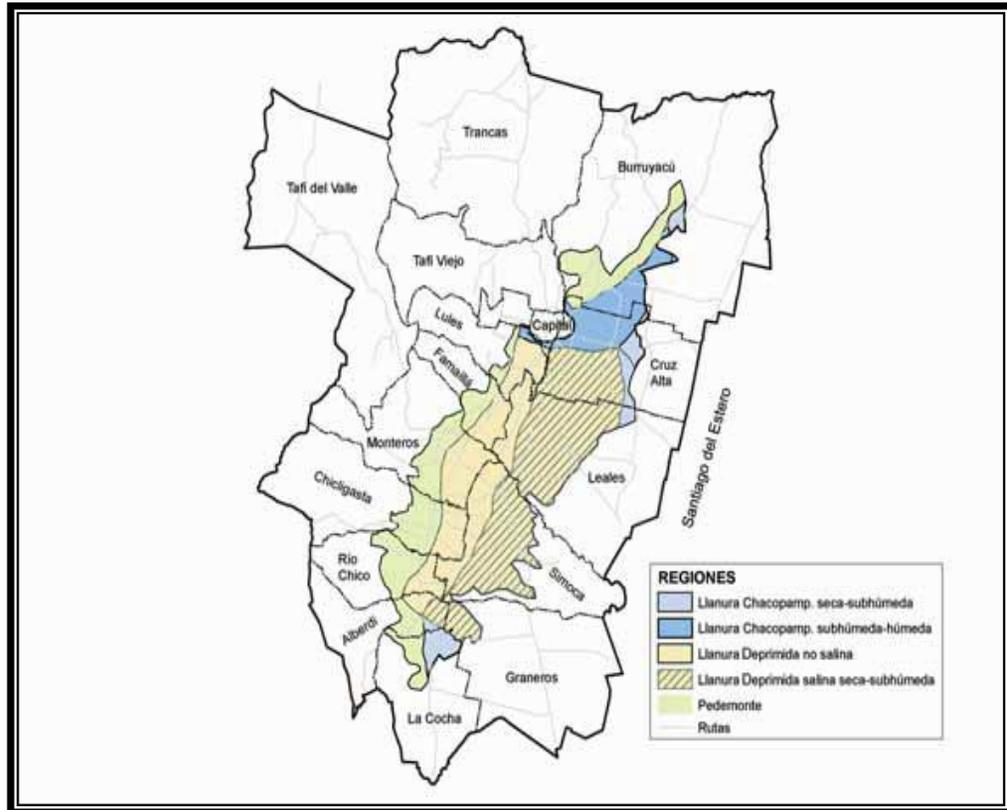
Muchas de estas máquinas están dotadas con un despuntador múltiple que desmenuza el despunte, dejando sobre el suelo un residuo picado y uniformemente distribuido. **El residuo que queda después de la cosecha en verde de la caña de azúcar se conoce como "residuo agrícola de cosecha" o RAC y su cantidad varía, en las condiciones de Tucumán, entre 7 y 17 toneladas de materia seca/ha.** Este residuo debe ser considerado como un "valor" por los productores, y se le pueden dar diferentes alternativas de manejo, ninguna de las cuales implica la quema del mismo. Las alternativas de manejo posibles para el RAC son: 1) dejarlo sobre la superficie del suelo como cobertura ("mulching"), 2) incorporarlo en los primeros centímetros del suelo y, 3) enfardarlo y retirarlo del campo, para que sea utilizado como "mulching" de otras cultivos, para la alimentación del ganado y para obtener energía de diferentes formas (quemado en las calderas, utilizado para producir briquetas de carbón, etc.).

Cuando el RAC se deja como cobertura sobre la superficie del suelo, favorece una mejor infiltración del agua de lluvia o riego y disminuye la pérdida de humedad por evaporación. Por lo tanto, mejora la conservación de la humedad en el suelo. Esto constituye una ventaja importante en las condiciones de Tucumán, donde la caña se cultiva mayormente sin riego. Normalmente, durante la primavera seca, el cañaveral no dispone de suficiente agua para satisfacer sus necesidades de crecimiento.

Además, la conservación del residuo significa un aporte importante de materia orgánica al agroecosistema, mejora la fertilidad y protege al suelo de la erosión, favorece el desarrollo de una meso y microflora benéfica, evita el crecimiento de algunas malezas, especialmente las anuales originadas de semilla, y permite reducir las labores de cultivo. Por todo lo mencionado anteriormente, conservar el RAC sobre la superficie del suelo es una práctica beneficiosa para la

producción de la caña de azúcar, en aquellas regiones que no presentan problemas de exceso de humedad o napa freática alta (por ejemplo, en el Pedemonte y la Llanura Chacopampeana<sup>36</sup>).

**Figura 42.- Regiones.-**



## 5. Efectos adversos:

En condiciones de excesiva humedad, como puede ocurrir en algunas zonas de La Llanura Deprimida, mantener la cobertura de RAC puede tener efectos

<sup>36</sup> Chacopampeana: El cultivo se extiende principalmente sobre la subregión occidental de la llanura, de característica subhúmeda-húmeda, aunque también se cultiva en parte de la subregión central, que es seca-subhúmeda. Los suelos de ambas subregiones están desarrollados sobre materiales de origen eólico, lo que les confiere una gran uniformidad textural.

Suelos de la región del pedemonte: Los suelos dominantes del área son de origen aluvial, bastante heterogéneos texturalmente, pero con predominio de las texturas medias y gruesas, y en algunos casos con presencia importante de gravas y guijarros en el perfil. Son suelos bien drenados, a excesivamente drenados en el caso de texturas muy gruesas o con gravas.

SANZANO, G. AGUSTÍN; FADDA, GUILLERMO S., Características de los suelos para caña de azúcar. Recomendaciones de manejo, en "El manual del cañero", Capítulo N° 2, 1ª Edición, (Las Talitas: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, 2009).

adversos sobre el crecimiento de la caña de azúcar. En esta situación, se puede optar por incorporar los residuos en los primeros centímetros del perfil. En Tucumán existen equipos que permiten realizar esta tarea, los cuales son similares al equipo de 4 paquetes, sólo que más pesados.

La otra alternativa de manejo es retirar el RAC del campo, lo que puede realizarse en Tucumán empleando máquinas enfardadoras. El RAC que se retira del campo puede ser utilizado para producción de energía, como alimento para el ganado o como "mulching" en otros cultivos.

Así, la "cosecha sin quema" (cosecha en verde) y el manejo del RAC son el camino a transitar por la actividad azucarera tucumana.

Hoy, en nuestra provincia, el sector productivo cañero cuenta con alternativas de manejo suficientes para afrontar el desafío de una producción de caña de azúcar sustentable, atribuyéndole al residuo agrícola de la cosecha su verdadero valor.

Este cambio de visión en la actividad azucarera y el esfuerzo conducente a lograr sistemas productivos más sustentables, con la consecuente valorización del RAC, debe estar acompañado por la concientización de toda la comunidad en relación con el manejo del fuego, a fin de evitar las quemas accidentales y/o intencionales de los campos tucumanos.

## **6. Conclusiones**

La aplicación de la propuesta tecnológica para la preparación de los RAC separados en las instalaciones de limpieza de la caña en sistemas de cosecha mecanizados, facilita la utilización racional de este recurso como fuente de energía y de materia prima para la industria de los derivados, con beneficios económicos, a la vez que constituye una solución alternativa a la contaminación del medio ambiente por la quema indiscriminada de este recurso renovable.

## **CONCLUSIONES**

Recientes noticias revelan la gravedad de la crisis energética, con seria repercusión en las principales agroindustrias del NOA, como la azucarera y citrícola, por los faltantes de gas natural en el período crítico invernal de cada año. Estadísticas de La Secretaría de Energía observa la disminución progresiva de las reservas de gas, con una proyección que avizora serias dificultades de provisión para dentro de 10 a 12 años, que hoy se suplen con crecientes importaciones tanto de gas natural como licuado. La provisión de gas de los pozos del NOA no alcanza y por ello se recurre a la importación desde Bolivia, que suministra casi un 25% de las necesidades regionales (que se ubican entre 22 y 23 millones de m<sup>3</sup>/día). Pero hay un detalle importante: el gas de Bolivia viene con una tarifa preferencial, por debajo del precio internacional. El día que se ajusten esos valores, los costos de nuestras industrias serán mayores.

Durante la zafra 2010, los ingenios consumieron 100.560.000 m<sup>3</sup>/año de gas natural, lo que incluye molienda y destilerías. Pero es importante destacar la fuerte baja en el consumo de este combustible producto de inversiones en nuevas calderas de los ingenios pueden funcionar correctamente con mezcla de bagazo y maloja (ahora lo llaman RAC).

El sistema tiene, aún no desarrollado potencialmente en Tucumán y el NOA, y es que la maloja seca en el campo posee un poder calorífico superior (PCS)

mejor que el bagazo, portador del 48-50% de humedad que sale de la molienda. Esos poderes caloríficos son, en promedio, de 3.700 cal/Kg. versus 2.400. Lo interesante es que se puede desarrollar toda una logística de recolección y transporte de la maloja desde el campo al ingenio con buenos resultados. En Tucumán se comenzó tímidamente a trabajar en ese sentido, pues existen las máquinas enfardadoras de maloja con rindes aceptables y las pruebas en calderas efectuadas por La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) obtuvieron resultados positivos parecidos a los de Colombia. Lo más importante que podemos rescatar es que la disponibilidad total de la maloja en Tucumán, luego de la cosecha en verde, puede llegar a 3 millones t/año, y con las pérdidas lógicas del proceso quedan reducidas a 1,8-2 millones/toneladas/año. Efectuando la correspondiente equivalencia calorífica con el gas natural, surge que este residuo seco de la cosecha de caña puede suplir, junto con el bagazo, todas las necesidades de gas natural de los ingenios tucumanos valorado como m<sup>3</sup>/gas/equivalente por hectárea. La disponibilidad total oscilaría entre 200 y 377 millones de m<sup>3</sup>/gas, equivalente en el área cañera tucumana.

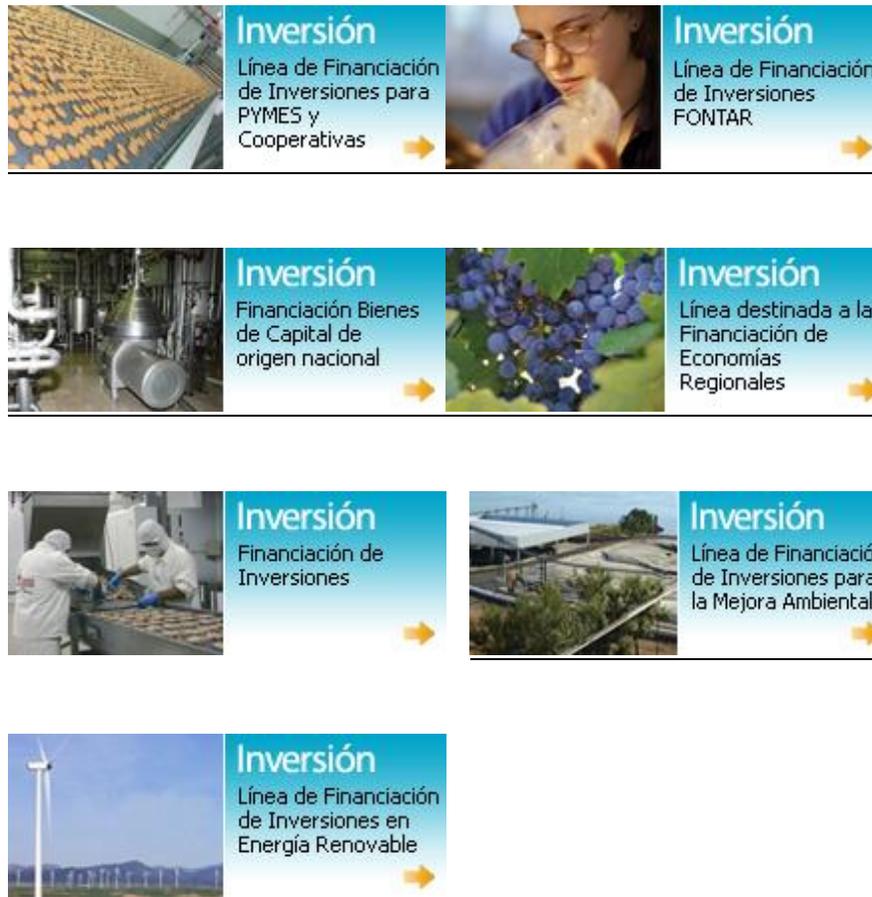
Como se observa, es todo un desafío frente a lo que parece será una larga crisis, a través de los próximos años, de provisión de gas natural. Este nuevo enfoque va a requerir inversiones, pero económicamente estará justificado.

# ANEXO

## ANEXO I

### Créditos para Inversión

En el BICE<sup>37</sup> aportamos al desarrollo económico y social del país. Por eso, otorgamos líneas de créditos dedicadas especialmente a financiar proyectos de inversión a mediano y largo plazo. Tenemos como objetivo ser un Banco al servicio de las necesidades financieras de todas las regiones del país y promover el crecimiento de los sectores productivo nacionales.



<sup>37</sup> **Banco de Inversión y Comercio Exterior (BICE)**, un banco público de segundo grado proveedor de créditos de mediano y largo plazo destinados a la inversión productiva y al comercio exterior, que tiene como único accionista al Estado Argentino, en Internet: <http://www.bice.com.ar/>, (21/11/2012).

**ANEXO II****Modelo de Solicitud de Crédito al BICE**

Estimados Sres.

A continuación detallamos la información necesaria para efectuar un preanálisis de v/ requerimiento crediticio.

Luego de presentado el mismo, nos contactaremos con Uds. la brevedad para hacerles una devolución.

Breve descripción del negocio, los socios, las sedes, personal empleado, etc. / Brochure o página Web de la empresa.

Últimos dos balances.

Facturación mensual neta de IVA de los últimos 12 meses detallando mercado externo y mercado local.

Deuda bancaria a la fecha detallando banco, línea, margen calificado y saldo actual.

Breve descripción del proyecto a financiar, apertura de los principales rubros (equipamiento, obra civil, etc.) monto total, monto a financiar, plazo estimado de ejecución del mismo, etc. Objetivos que se persiguen con el proyecto e impacto económico estimado.

Con respecto a la información del equipamiento se requiere en caso de que sea importado:

Descripción detallada del bien objeto de la consulta

Posición arancelaria de la Nomenclatura Común del MERCOSUR (NCM)

Datos técnicos del bien, página WEB del fabricante y/o folletería pertinente.

Garantías ofrecidas y sus valuaciones estimadas.

Aguardando v/ respuesta los saludamos atte.

### **ANEXO III**

#### **Definiciones Útiles**

**COPERSUAR:** Copersucar, que comenzó sus operaciones en 2008, es la mayor comercializadora brasileña de azúcar y etanol integrada a la producción, con participación del 22% del mercado brasileño. También es una de las mayores del mundo en el segmento. Nuestro modelo de negocio en el sector de azúcar y de etanol, considerado único, permite que Copersucar detenga la gestión de todos los eslabones de la cadena de azúcar y etanol, desde el seguimiento de la cosecha en el campo hasta los mercados finales, incluyendo las etapas de almacenamiento, transporte y comercialización. Copersucar tiene la exclusividad en la comercialización de los volúmenes de azúcar y etanol producidos por 48 Unidades Productoras Socias, localizadas en los Estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais y Goiás. Además comercializamos en régimen no exclusivo la producción de azúcar y etanol de alrededor de 50 unidades productoras no socias. El enfoque de las inversiones en logística permitió que Copersucar alcanzase el liderazgo en el mercado nacional y tuviera acceso al mercado global, con clientes en el mundo entero. De esta manera, Copersucar ofrece a las Unidades Productoras Socias la garantía de comercialización integral y de largo plazo de toda la producción, menor riesgo de desempeño y de morosidad y, principalmente, la capacidad para aumentar las inversiones en acuerdos de colaboración y proyectos con vistas al crecimiento

**DENDROCOMBUSTIBLES:** En este grupo se incluyen todos los tipos de combustibles derivados directa o indirectamente de los árboles o arbustivos que crecen en los bosques o áreas no forestales. De acuerdo a la clasificación original los dendrocombustibles se dividen en tres grupos: dendrocombustibles directos, dendrocombustibles indirectos, y dendrocombustibles recuperados.

1. **Dendrocombustibles directos:** son los combustibles derivados de la madera extraída directamente del bosque (ya sea de áreas naturales o de plantaciones

forestales).

2. Dendrocombustibles indirectos: por lo general se incluyen en este grupo los subproductos madereros industriales, derivados de procesos primarios tales como aserrado, tableros de partículas o industrias de la pulpa y el papel o derivados de procesos secundarios. Estos combustibles pueden ser explícitamente quemados o transformados en otros productos, tales como carbón vegetal, gases pirolíticos, pellets, etanol, metanol.

3. Dendrocombustibles recuperados: se refiere a la combinación de biomasa maderera derivada de todas las actividades económicas y sociales que no se incluyen en el sector forestal, residuos tales como restos de obras de construcción que pueden ser quemados o transformados en astillas (chips), pellets, briquetas, etc.

En relación a los combustibles dendroenergéticos considerados se pueden clasificar en 4 tipos de productos principales: leña, carbón vegetal, licor negro, y otros.

Leña: Es la madera en bruto o madera con corteza, generalmente en pequeños trozos, también en astillas, pellets, es un derivado del bosque o de árboles aislados, así como también pueden ser madera de los subproductos de las industrias forestales o de productos forestales recuperados.

Carbón vegetal: se refiere a los residuos sólidos derivados de la carbonización destilación y pirólisis de la madera (del tronco y las ramas de los árboles) y los productos madereros.

Licor negro: se trata del licor alcalino apagado de los digestores en la producción de pulpa al sulfato o pulpa a la soda (sosa), durante los procesos de la elaboración de la pulpa celulósica para el papel, la energía contenida en el mismo proviene principalmente de la lignina removida de la madera en los procesos de pulpado.

Otros dendrocombustibles: se incluye en este grupo el conjunto de los combustibles líquidos y gaseosos derivados de la leña y del carbón vegetal basados en los procesos enzimáticos y pirolíticos, tales como pirólisis de gases etanol metanol productos de interés cada vez mayor.

**EEAOC**: La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres es un ente autárquico del área del Ministerio de Desarrollo Productivo del Gobierno de Tucumán, cuya misión ha sido, desde su creación en 1909, apuntalar tecnológicamente el temprano liderazgo agroproductivo de la provincia. La visionaria decisión de su creador, Don Alfredo Guzmán –entonces senador provincial– encontraba justificación en la delicada situación por la que atravesaba la actividad agrícola en la provincia, fundamentalmente por las enfermedades que aquejaban a la caña de azúcar, agravadas por las prácticas culturales que por entonces no resultaban suficientemente adecuadas. En respuesta a lo que entendió eran los riesgos y las posibilidades del futuro, crearía un organismo estatal, gestionado por los propios productores, financiable con recursos de la producción y nutrido del conocimiento más avanzado disponible en el mundo.

**FAO**: Alcanzar la seguridad alimentaria para todos, y asegurar que las personas tengan acceso regular a alimentos de buena calidad que les permitan llevar una vida activa y saludable, es la esencia de las actividades de la FAO.

El mandato de la FAO consiste en mejorar la nutrición, aumentar la productividad agrícola, elevar el nivel de vida de la población rural y contribuir al crecimiento de la economía mundial.

FAO Technical Cooperation Department Field Programme Activities

En Argentina: (TCP/ARG/3202) Fomento de la acuicultura rural para la región central y norte del país, por medio de la producción de raciones de balanceados a menor costo (2010/2011)

**PIROLISIS**: (del griego piro, ‘fuego’ y lisis, ‘rotura’) es la descomposición química de materia orgánica y todo tipo de materiales, excepto metales y vidrios, causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno. En este caso, no produce ni dioxinas ni furanos.

**PNUD:** El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), es la red mundial de la ONU en materia de desarrollo que promueve el cambio y conecta a los países con los conocimientos, la experiencia y los recursos necesarios para ayudar a los pueblos a forjarse una vida mejor. Propone resultados en cuatro áreas programáticas: Desarrollo Social, Desarrollo Productivo, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y Gobernabilidad Democrática y en tres áreas transversales: Equidad de Género, Cooperación Sur-Sur y Pacto Global y Alianzas con el Sector Privado. El programa recibe orientación estratégica del Área de Desarrollo Humano.

**SATCA:** Sociedad Argentina de Técnicos de la Caña de Azúcar

**ANEXO IV****Vigencia de Sueldo y Jornales**<sup>38</sup>

Tabla N° 1	SIN COMIDA Y SIN S.A.C.	
	SUELDO \$	JORNAL \$
PEONES GENERALES	2.763,00	121,55
AYUDANTES DE ESPECIALIZADOS		
PEON UNICO	2.836,08	124,78
ESPECIALIZADOS:		
Peones que trabajan en el cultivo del arroz, peones De Haras, peones de cabañas (Bovinos, Ovinos y Porcinos)	2.842,04	125,03
Ovejeros	2.865,50	126,47
Albañiles, Apicultores, Carniceros, Carpinteros, Cocineros, Cunicultores, Despenseros, Domadores, Fruticultores, Herreros, Inseminadores, Jardineros, Mecánicos (Generales y Molineros), Panaderos, Pintores, Quinteros y Talabarteros	2.948,20	129,71
Ordeñadores en explotaciones tamberas	2.967,48	130,56
Ordeñadores en explotaciones tamberas y que Además desempeñen funciones de carreros	3.058,44	134,45
Conductores Tractoristas, Maquinista de Máquinas Cosechadora y Agrícola	3.077,53	135,6
Mecánicos Tractoristas	3.236,50	142,38

## PERSONAL JERARQUIZADO

Puestero	3.046,04
Capataces	3.360,08
Encargados	3.544,48

## VALOR DE LA COMIDA

En los casos en que el contrato de trabajo se efectúa con suministro de comida a cargo del empleador, el valor de la misma para la deducción respectiva, será el siguiente:

POR MES: \$ 403,08

POR DIA: \$ 13,41

<sup>38</sup> ESCALA SALARIAL AGRARIOS, en Internet: <http://jorgevega.com.ar/laboral/299-escala-salarial-trabajador-agrario.html>, (30/09/2012).

**ANEXO V****Determinación de la Capacidad Efectiva de Campo e Interés****Determinación de la Capacidad Efectiva de Campo (C.E.C.)**

La Capacidad Efectiva de Campo es la relación existente entre la superficie trabajada en una tarea dada y el tiempo total que dispuso para realizarla. Están considerados en ella todos los períodos de tiempo no utilizados en trabajo real de la herramienta considerada tiempo total (días aptos para trabajar)

$$\text{CEC (ha / días)} = \frac{\text{superficie (ha)}}{\text{Tiempo total (días aptos para trabajar)}}$$

**Capacidad Teórica de Trabajo (C.T.T.).**

La Capacidad Teórica de Trabajo de un conjunto tractor-implemento, toma en cuenta el tiempo trabajado y depende del ancho operativo teórico del implemento y de la velocidad teórica de trabajo.

$$\text{CTT (ha / h)} = \frac{\text{Ancho (m) Vel. (Km. / h) 1000 (m / Km.)}}{10000 (\text{m}^2 / \text{ha})}$$

**Capacidad de Trabajo efectiva (C.T.E.).**

La Capacidad Teórica efectiva de un conjunto tractor-implemento, toma en cuenta el tiempo trabajado y depende del ancho operativo real del implemento y de la velocidad real de trabajo.

**Capacidad de Trabajo efectiva (C.T.E.).**

$$\text{CTE (ha / h)} = \frac{\text{Ancho real (m) Vel.real (Km. / h) 1000 (m / Km.)}{10000 (\text{m}^2 / \text{ha})}$$

**Eficiencia de campo**

$$\text{Ef. de Campo (\%)} = \frac{\text{C.T.E.}}{\text{C.T.T.}}$$

Vamos a tratar de discutir en que medida los tiempos perdidos en la operación afectan la capacidad de trabajo. Los tiempos perdidos en la operación están determinados por: el diseño de trabajo, los giros durante la labor, ajustes y reparaciones de la maquinaria, mantenimiento de la maquina y el transporte al lugar de operaciones.

**Intereses:**

Los intereses reflejan el costo de oportunidad del dinero inmovilizado en la actividad analizada. Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Interés anual} = \frac{0.6 \times \text{costo de adquisición. (Actualizada)} \times \text{tasa de intereses \%}}{100}$$

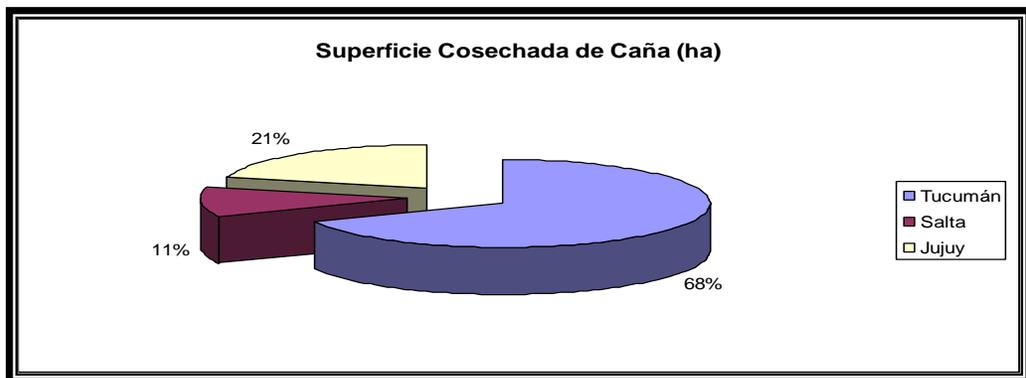
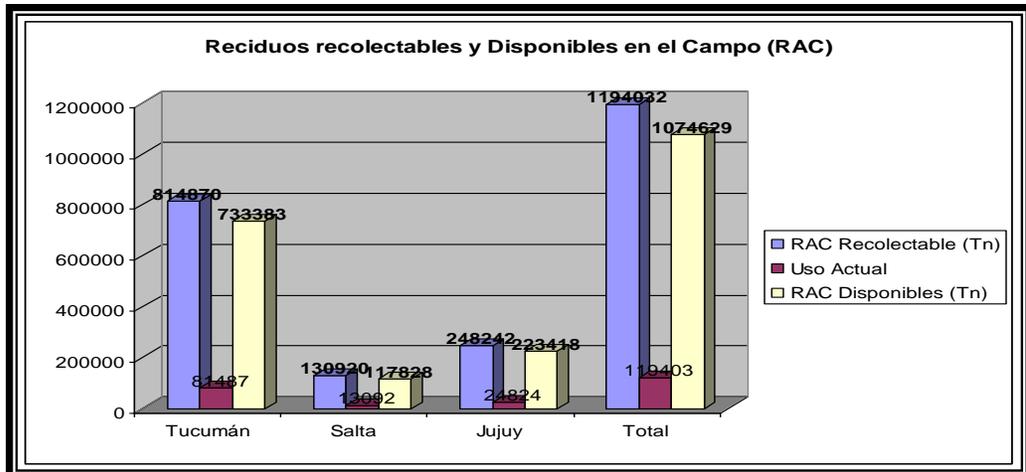
**Gastos de combustible \$/hs.** = Coef. de consumo Lts/hs. x potencia (HP) x Precio del gasoil (\$/Lts)

**Gastos de M.O. \$ / hs** = Cantidad de operarios JH (jornal/hs) × Precio del jornal (\$ / jornal) × Coef .de Carga Social

**ANEXO VI**

**RAC Recolectable**<sup>39</sup>

Provincia	RAC Recolectable (Tn)	Uso Actual	RAC Disponibles (Tn)	Producción (Tn)	Superficie
Tucumán	814870	81487	733383	14171652	214722
Salta	130920	13092	117828	2276868	34498
Jujuy	248242	24824	223418	4317258	65413
<b>Total</b>	<b>1194032</b>	<b>119403</b>	<b>1074629</b>	<b>20765778</b>	<b>314633</b>



<sup>39</sup> FAO- INTA-Secretaría de Energía: WISDOM Argentina - 2009. Coordinación Nacional: Stella Carballo-INTA, disponible en Internet: <http://www.fao.org/docrep/011/i0900s/i0900s00.htm>, (01/11/2012).

## ÍNDICE BIBLIOGRÁFICO

### a) General:

BASANTA, M., Dinámica do nitrogenio en la cultura de cana de açúcar em diferentes sistemas de manejo de residuos da colheita, Escola Superior Luiz de Queiroz, Universidade de Sao Paulo, (Brasil, 2004).

CHEN, James C. P., Manual del Azúcar de Caña, Primera Edición, Editorial LImusa S. A. de C. V., (México, 1991), pág. 83-90, 545-551.

HAMILTON, Fernando Torrezan, Enleiramento e enfardamento prismático de palhiço de cana de açúcar alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética, (Piracicaba, Brasil, 2003).

HAMILTON, F.T., Enleiramento e enfardamento prismático de palhiço de cana de açúcar alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética, (Piracicaba, Brasil, 2003).

HUGOT, E., Manual para Ingenieros Azucareros, Segunda Edición en Español, Compañía Editorial continental S.A., (1984).

LARRAHONDO. IN: CASSALETT, C.; TORRES, J.; ISAACS, C., El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia, (s.d.), pág. 337-354.

LOYO J. R., Métodos y estrategias para el perfeccionamiento de la agroindustria panelera, (Costa Rica, 2002), pág.14-15-19.

RIPOLI, T. C., MOLINA JUNIOR, W. F., Cultura canavieira: un desperdicio energético, Maquinaria Agrícola, (São Paulo, Enero 1991).

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C.; VILLA NOVA, N. A., Sugar cane crop residue and bagasse for cogeneration in Brazil, Kohn Kaen, Faculty of Engineering, Kohn Kaen University, (Thailand, 2007).

RIPOLI, T. C. C., RIPOLI, M. L. C., Biomassa de cana de açúcar colheita, energia e ambiente, 2º Edición, (Brasil, Piracicaba, 2005), pág. 302.

ROBERTSON, F. A., Sugarcane trash management: consequences for soil carbon and nitrogen, en “Final report to the CRC for sustainable sugar production”, (Townsville, Australia, 2003).

SUMNER, H. R.; SUMNER, P. E.; HAMMOND, W.C.; MONROE, G. E., Indirect fire biomass furnace and bomb calorimeter determinations, Trad. por ASAE, St. Joseph, Volumen 15, (Sacramento, California, USA, 2001), pág. 280-285.

TORRES, J., La biomasa cañera y el tránsito en Cuba hacia una energía sostenible, en “Cumbre Mundial de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible”, (2002).

**b) Especial**

AGUILAR, A. P., Algunas experiencias sobre el uso de los RAC como fuente de energía en los complejos agroindustriales azucareros, en “Memoria II Congreso”, (s.d.).

AGUILAR, P., Potencialidad energética de los residuos agrícolas de caña, Parte I Disponibilidad durante la cosecha, en “Revista Cuba-Azúcar”, No. 1. v. XXX, (2001).

AGUILAR, A. y ARANGO J., Implementación de tecnología de alta eficiencia en la preparación de los RAC, Informe final Proyecto de investigación, (s.d.).

ROMERO, E. R., SCANDALIARIS, J.; DIGONZELLI, P. A.; ALONSO, L. G.; LEGGIO, F.; GIARDINA, J. A.; CASEN, S. D.; TONATTO M. J. y FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI, J., Effect of variety and cane yield on sugar cane potential trash, en “Revista Industrial y Agricultura de Tucumán”, (2009), pág. 9-13.

c) **Otras Publicaciones**

AGUILAR, P., Potencialidad energética de los residuos agrícolas de caña, Parte I Disponibilidad durante la cosecha, en “Revista Cuba-Azúcar”, No. 1. v. XXX, (2001).

COPERSUCAR, Geração de energia por biomassa bagaço da canha de açúcar e resíduos, proyecto bra/96/g31, (Brasil, Abril 1998).

ERNST, O., BETANCUR O. Y BORGES, R., Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o soja, en “Agrociencia N° 6”, (2002), pág. 20-26.

FLORES MARCO, Noelia; ANSCHAU Alicia; CARBALLO, Stella, Extractado del Documento, en “Uso de Biomasa para la Generación de Energía Eléctrica en la Provincia de Tucumán”, Instituto de Clima y Agua, INTA, (Castelar).

FOGLIATA, Franco, Agronomía De La Cana De Azúcar: Tecnología, Costos, Producción, Ediciones El Graduado, (1995).

MOLINA, A., Identificación de las variedades de caña de azúcar con mayor valor forrajero para los ganaderos, en Revista “ACPA”, (1995), pág. 58.

PÉREZ, E. y AGUILAR P., Estado del arte del uso energético de los RAC, en “Memorias del II Congreso Internacional de Biomasa en Holanda”, (2002).

RIPOLI, T. C. C.; CASAGANDI, D. V.; RIPOLI, M. L. C., Sistemas de colhimento de palhiço de cana de açúcar como fonte de biomassa, Parte 4: confronto entre sistemas a granel. Enfardado e colheita integral, en “Relatório Técnico 17”, (Piracicaba, Brasil, Mayo 2003).

ROMERO, E. R., SCANDALIARIS, J.; DIGONZELLI, P. A.; ALONSO, L. G.; LEGGIO, F.; GIARDINA, J. A.; CASEN, S. D.; TONATTO M. J. y FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI, J., Effect of variety and cane yield on sugar cane potential trash, en “Revista Industrial y Agricultura de Tucumán”, (2009).

SANZANO, G. Agustín; FADDA, Guillermo S., Características de los suelos para caña de azúcar. Recomendaciones de manejo, en “El manual del cañero”, Capítulo N° 2, 1ª Edición, (Las Talitas: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, 2009).

VÉLEZ, Carlos, Limpieza de caña en seco y aprovechamiento de la materia extraña vegetal como combustible en Brasil, en “Revista Técnicaña” N° 26, (Diciembre de 2010), pág. 10.

d) **Consultas a bases de Información, en Internet:**

BANCO DE INVERSION Y COMERCIO EXTERIOR (BICE), en Internet:  
<http://www.bice.com.ar/>, (21/11/2012).

COPERSUAR, en Internet: <http://www.copersucar.com.br/>, (30/11/2012).

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, (Cenicaña), en Internet: <http://www.cenicana.org/>, (21/10/2012).

EL MANUAL DEL CAÑERO, en Internet:

<http://www.eeaoc.org.ar/publicaciones/categoria/18/50/Manual-del-Canero.html>,

Estación Experimental Obispo Columbres, (Tucumán, Arg., 2009), (02/12/2012).

ESCALA SALARIAL AGRARIOS, en Internet: <http://jorgevega.com.ar/laboral/299-escala-salarial-trabajador-agrario.html>, (30/09/2012).

FANDOS, C; SCARDALIARIS, J.; SORIA F.; CARRERAS BALDES, Área ocupada con caña de azúcar y producción de caña de azúcar y azúcar para la zafra 2011 en Tucumán, Reporte Industrial, Boletín N° 58, disponible en Internet: <http://www.eeaoc.org.ar/upload/publicaciones/archivos/212/2012041918470000000.pdf>, (20/11/2012).

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, en Internet: <http://www.fao.org/about/es/>, (01/11/2012).

MAINERO, en Internet: <http://www.mainero.com.ar/Rastrillo-5980-ID-7.html>, (20/10/2012).

NEW HOLLAND, en Internet:

<http://agriculture.newholland.com/AR/es/Pages/homepage.aspx>, (20/10/2012).

SOPENAR, Caña de Azúcar: Materias Extrañas y sus Efectos sobre La Calidad, INTA, (Famaillá, Tucumán), pág. 18, en Internet:

<http://www.inta.gov.ar/famailla/info/horizonte/horizonte8.pdf>, (05/11/2012).

Ventajas del aprovechamiento del residuo para quema y producción de vapor, en Internet: [http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec\\_v13\\_no21\\_2009\\_p24-26.pdf](http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec_v13_no21_2009_p24-26.pdf), en “La Revista Técnicaña”, Tomas Caetano Cannavam Ripoli y Marco Lorenzo Cunali Ripoli, (03/09/2012).

VERMEER, en Internet: <http://www2.vermeer.com/vermeer/>, (20/10/2012).

e) **Apuntes de Clases**

ASCÁRATE, Sebastián, Tutor: Ing. MELIÁN, Jorge, Bases Tecnológicas para avances en la agricultura tucumana. Calculo de Oportunidades y Riesgos, cedido gentilmente por Prof. BARBOZA, Eduardo, (Tucumán, 05/09/2012).

## ÍNDICE

	Pág.
<b>Portada</b>	<u>*</u>
<b>Prologo</b> .....	<u>1.-</u>
<b>Introducción</b> .....	<u>3.-</u>
<b>Abstrat</b> .....	<u>5.-</u>

### CAPITULO I

#### ANÁLISIS DE LA COGENERACIÓN

	<u>6.-</u>
1.- Introducción.....	<u>6.-</u>
2.- Biomasa.....	<u>7.-</u>
3.- Composición de la caña.....	<u>8.-</u>
4.- El bagazo de la caña de azúcar.....	<u>10.-</u>
5.- Calor específico y capacidad calorífica.....	<u>11.-</u>

### CAPITULO II

#### VENTAJAS DEL APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO (RAC) PARA QUEMA Y PRODUCCIÓN DE VAPOR

	<u>13.-</u>
1.- Bioenergía y desarrollo.....	<u>13.-</u>
2.- Dinámica de la descomposición del residuo de la cosecha en verde de la caña de azúcar (RAC).....	<u>15.-</u>
3.- Utilización del rastrojo de caña.....	<u>18.-</u>

4.-	Ventajas y desventajas de la cobertura.....	<a href="#">23.-</a>
5.-	Operaciones de hilado y enfiado.....	<a href="#">24.-</a>

### **CAPITULO III**

[34.-](#)

#### **BAGAZO COMO FUENTE DE ENERGIA**

[34.-](#)

1.-	Bagazo como fuente de energía.....	<a href="#">34.-</a>
2.-	Producción de energía y rentabilidad con el uso del bagazo y el residuo en la cogeneración de electricidad.....	<a href="#">38.-</a>
3.-	Posibilidades de la biomasa en la industria de la caña de azúcar.....	<a href="#">39.-</a>

### **CAPITULO IV**

[43.-](#)

#### **ESTACION DE LIMPIEZA EN SECO**

1.-	Requerimientos de los RAC separados.....	<a href="#">43.-</a>
2.-	Protección ambiental (efecto).....	<a href="#">44.-</a>
3.-	Manipulación.....	<a href="#">47.-</a>
4.-	Preparación o reducción del tamaño de las partículas.....	<a href="#">47.-</a>
5.-	Densificación.....	<a href="#">49.-</a>

## CAPITULO V

50.-

### LA CAÑA DE AZÚCAR

- |     |  |             |
|-----|--|-------------|
|     |  | <u>50.-</u> |
| 1.- | Características y Eco-fisiología.....                      | <u>50.-</u> |
| 2.- | Distribución de las principales variedades en Tucumán..... | <u>53.-</u> |
| 3.- | Caña semilla de alta calidad.....                          | <u>54.-</u> |

## CAPITULO VI

58.-

### LA PROVINCIA DE TUCUMÁN CUENTA CON

#### ABUNDANTES

#### RECURSOS BIOMÁSICOS

- |     |   |             |
|-----|---|-------------|
|     |   | <u>58.-</u> |
| 1.- | Introducción, Localización.....   | <u>58.-</u> |
| 2.- | Resultados obtenidos.....   | <u>63.-</u> |
| 3.- | Solución medioambiental sustentable en la cosecha de la caña.....                         | <u>68.-</u> |
| 4.- | El cambio climático y las actividades energéticas están muy íntimamente relacionados..... | <u>70.-</u> |

## **CAPITULO VII**

73.-

### **LIMPIEZA DE LA CAÑA**

		73.-
1.-	Importancia.....	73.-
2.-	Objetivos.....	73.-
3.-	Materias extrañas y sus efectos sobre la calidad.....	74.-
4.-	Mecanización de la cosecha.....	75.-
5.-	Estaciones de limpieza de caña.....	76.-
6.-	Estación de limpieza en seco para ingenio.....	81.-

## **CAPITULO VIII**

83.-

### **DESARROLLO DEL PLANES DE LIMPIEZA EN SECO**

		83.-
1.-	Limpieza en seco y aprovechamiento de la materia vegetal como combustible.....	83.-
2.-	Efectos en la cosecha.....	84.-
3.-	Efectos en el campo.....	85.-
4.-	Efectos en la fábrica.....	85.-
5.-	Sistema sobre mesa alimentadora.....	86.-
6.-	Excedentes de energía generada.....	87.-
7.-	Sistema sobre mesa alimentadora.....	87.-
8.-	Sistema de limpieza sobre el conductor de caña.....	88.-
9.-	Sistema liviano.....	89.-
10.-	Sistema pesado.....	91.-
11.-	Conclusiones.....	91.-
12.-	Recomendaciones.....	92.-

**CAPITULO IX**94.-**EFICIENCIA ENERGETICA**

1.-	En busca de la eficiencia energética.....	<u>94.-</u>
2.-	El logro de la eficiencia productiva.....	<u>95.-</u>
3.-	Los problemas para alcanzar la eficiencia operativa.....	<u>97.-</u>
4.-	Beneficios y desventajas.....	<u>99.-</u>
5.-	Efectos adversos.....	<u>101.-</u>
6.-	Conclusiones.....	<u>102.-</u>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<u>103.-</u>

**ANEXO**105.-**ANEXO I**106.-

	Créditos para Inversión.....	<u>106.-</u>
--	------------------------------	--------------

**ANEXO II**107.-

	Modelo de Solicitud de Crédito al BICE.....	<u>107.-</u>
--	---	--------------

**ANEXO III**108.-

	Definiciones Útiles.....	<u>108.-</u>
--	--------------------------	--------------

**ANEXO IV**112.-

	Vigencia de Sueldo y Jornales.....	<u>112.-</u>
--	------------------------------------	--------------

**ANEXO V**113.-

	Determinación de la Capacidad Efectiva de Campo e Interés.....	<u>113.-</u>
--	--	--------------

**ANEXO VI**115.-

	RAC Recolectable.....	<u>115.-</u>
--	-----------------------	--------------

	<b>ÍNDICE BIBLIOGRÁFICO.....</b>	<a href="#"><u>116.-</u></a>
a)	<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<a href="#"><u>116.-</u></a>
b)	<b>ÍNDICE ESPECIAL.....</b>	<a href="#"><u>117.-</u></a>
c)	<b>OTRAS PUBLICACIONES.....</b>	<a href="#"><u>118.-</u></a>
d)	<b>CONSULTAS EN INTERNET.....</b>	<a href="#"><u>119.-</u></a>
e)	<b>APUNTES DE CLASES.....</b>	<a href="#"><u>121.-</u></a>
	<b>ÍNDICE.....</b>	<a href="#"><u>122.-</u></a>

