

# CICLO DE CONFERENCIAS

TERCERA JORNADA

«INDUSTRIA SUCROALCOHOLERA: DEL NORTE ARGENTINO AL MUNDO»

## Sustentabilidad en la agroindustria sucroalcoholera

Ing. Marcelo Ruiz

[marceloruiz@eeaoc.org.ar](mailto:marceloruiz@eeaoc.org.ar)

Ing. Patricia Garolera De Nucci

[pgarolera@eeaoc.org.ar](mailto:pgarolera@eeaoc.org.ar)



# Desarrollo sustentable



 Comisión de las Naciones Unidas para el Medioambiente y el Desarrollo (UNEP - *United Nations World Commission on Environment and Development*, 1987)

## Desarrollo Sustentable

Definido como el tipo de desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades



The diagram consists of three overlapping circles forming a triangle. The top circle is green and labeled 'Vivible' (Viable) and 'Ambiental' (Environmental). The bottom-left circle is purple and labeled 'Equitativo' (Equitable) and 'Social'. The bottom-right circle is red and labeled 'Económico' (Economic) and 'Viable'. A large green letter 'S' is centered in the intersection of all three circles. The background of the diagram is a landscape with green hills and a sunset sky.

# Plan de investigación: Sustentabilidad en la Agroindustria



**Responsable:** Ing. Qco. Patricia Garolera De Nucci

**Co-Responsable:** Ing. Agr. Javier Tonatto

**Equipo de trabajo:** multidisciplinario de técnicos de diferentes áreas temáticas

**Programa de Investigación:** Bioenergía

Responsable: Ing. Qco. Marcelo Ruiz

***El objetivo principal es estudiar e integrar las distintas etapas de producción de materia prima, productos y sus derivados a fin de cuantificar emisiones al ambiente y generar indicadores locales y regionales de sustentabilidad en las distintas cadenas de valor agroindustrial.***

- ✓ Caña de azúcar, azúcar, bioetanol, RAC, bagazo y derivados.
- ✓ Sorgo bioenergético, azúcar, fibra, RAC y sus derivados.
- ✓ Limón, jugo, aceite, cáscara, residuos de poda y derivados.
- ✓ Granos, aceite, harina, RAC, biodiesel y sus derivados.
- ✓ Forestales, biomasa, residuos de poda y sus derivados.
- ✓ Otras fuentes de biomasa sólida o líquida de potencial bioenergético.

# Plan de investigación: Sustentabilidad en la Agroindustria



## OBJETIVO ESPECIFICO

***Estimar el perfil ambiental de la producción de las principales materias primas agrícolas, productos agroindustriales, subproductos y sus derivados según el enfoque de ciclo de vida.***

## LINEAS DE INVESTIGACION

- Análisis de ciclo de vida (ACV/LCA) aplicado a la agroindustria***
- Usos de Energía (UE) en la producción agroindustrial. Tasa de Retorno Energético (TRE)***
- Huellas Ambientales***
  - ✓ Huella de Carbono - según la norma ISO 14067 y *GHG Protocol* (Protocolo de Gases Efecto invernadero).
  - ✓ Huella del agua - según la norma ISO 14046.
  - ✓ Huella hídrica – según la *Water Footprint Network*
- LCA Económico y Social***
- Incorporación de nuevas categorías/indicadores***



## RESULTADOS ESPERADOS

- Generar una base de datos de las agroindustrias involucradas (inventarios de ciclo de vida) a partir de las cuales se podrán estudiar otros escenarios de producción.
- Perfil ambiental del producto, servicio o actividad.
- Elaboración de propuestas que mejoren la cadena productiva.
- Optimización de los procesos agroindustriales.

# FAO Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030



Los Objetivos de Desarrollo Sostenible buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda 2030. Cada objetivo tiene metas específicas que la Argentina aplicará dependiendo de su realidad económica, social y ambiental. En el marco de proyectos y programas de investigación de la EEAOC, en el área industrial, se promueven soluciones técnicas para alcanzar los objetivos del desarrollo sustentable.

# Bioenergía



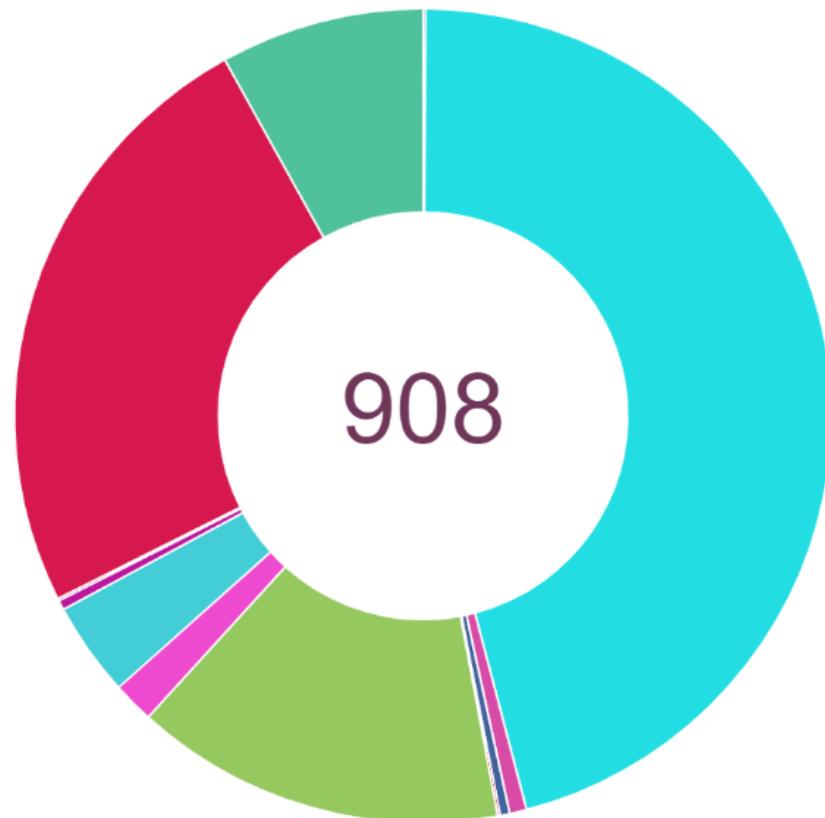
## 7 ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE

Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna





**153 proyectos, 15%**



**Cantidades y porcentajes**

1	UNIVERSIDAD SAN PABLO T - USPT	0.10%
478	UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN - UNT	45.83%
7	UNIVERSIDAD DEL NORTE SANTO TOMÁS DE AQUINO - UNSTA	0.67%
4	MINISTERIO DE SALUD PUBLICA	0.38%
1	MINISTERIO DE ECONOMIA	0.10%
153	MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO	14.67%
17	INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA)	1.63%
39	FUNDACIÓN MIGUEL LILLO- FML	3.74%
4	DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN SALUD – (MSP TUCUMÁN)	0.38%
1	DEFENSORÍA DEL PUEBLO	0.10%
254	CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS - CONICET	24.35%
84	AGENCIA NACIONAL DE PROMOCIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA – SEC. DE GOBIERNO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PRODUCTIVA DE LA NACIÓN	8.05%

Activar Windows

Ve a Configuración para activar

**Agronomía e Industria**

Mejorar la productividad bioenergética de la caña de azúcar y de otros cultivos tradicionales.

**Industria**

Producción de alcohol y bio-combustibles y aprovechamiento energético.



Biotecnología

Química

Zoología Agrícola

Fitopatología

Malezas

Suelos

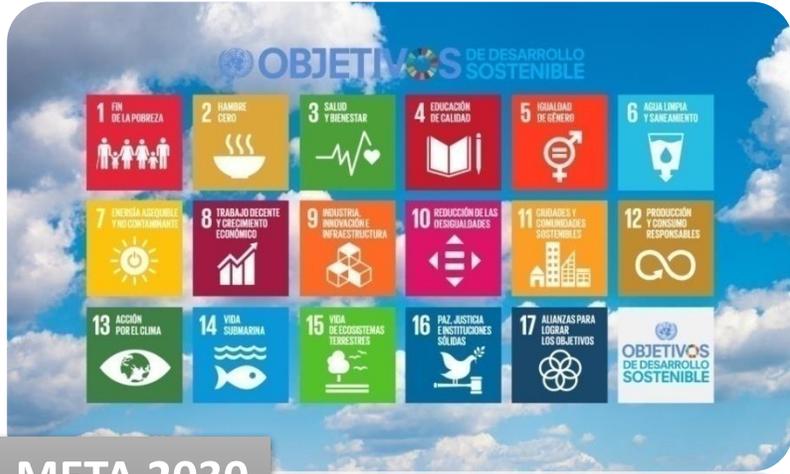
Economía

Imágenes Satelitales

Agrometeorología

- **Producción de energía eléctrica mediante procesos no convencionales.**
  - **Aprovechamiento energético de la biomasa.**
  - **Factibilidad técnico – económica de producción de Bioetanol.**
  - **Mejoramiento de la sostenibilidad de la producción de alcohol combustible: fermentación de azúcares provenientes de materiales azucarados y de la degradación de la lignocelulosa.**
  - **BIOGAS**
  - **Sustentabilidad en la Agroindustria.**
- **Mejora y aprovechamiento de la productividad bioenergética de la caña de azúcar y de otros cultivos tradicionales.**
  - **Valoración del banco de germoplasma del Subprograma de Mejoramiento Genético con respecto a componentes de la calidad industrial.**
  - **Evaluación de cultivos no tradicionales para la producción de biocombustibles.**
  - **Estudios económicos y de mercado de la producción de biocombustibles y de nuevas tecnologías.**





**META 2030**



**Herramientas sólidas y completas**



Soluciones



**Desarrollo Sustentable**

Definido como el tipo de desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades

**Social** **Vivable** **Ambiental**  
**S**  
**Equitativo** **Viable** **Económico**



- Recursos naturales →
- Maquinaria agrícola →
- Insumos químicos →
- Agua →
- Energía →



Emisiones al aire, agua y suelo



PRODUCTOS

**Análisis de ciclo de vida - ACV (LCA – Life Cycle Assessment)**

# Análisis de ciclo de vida – ACV (LCA – Life Cycle Assessment)

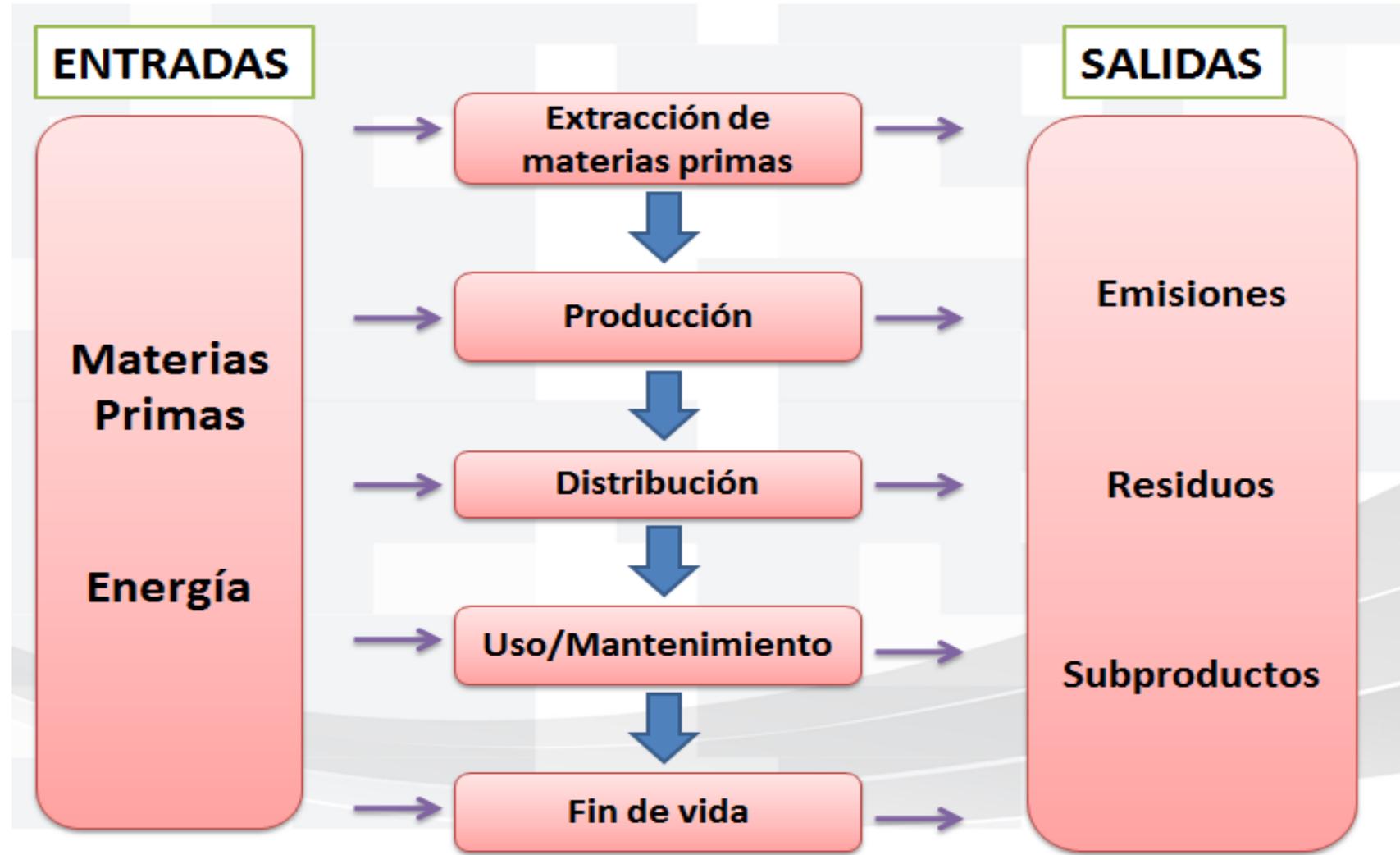
SETAC – *Society of Environmental Toxicology And Chemistry*



Es un procedimiento sistemático para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad cuantificando la energía y los materiales usados, y los residuos generados para evaluar las oportunidades de hacer mejoras.

Incluye el **CICLO DE VIDA COMPLETO** del producto: extracción de materias primas, fabricación, transporte, uso y disposición final de los residuos.







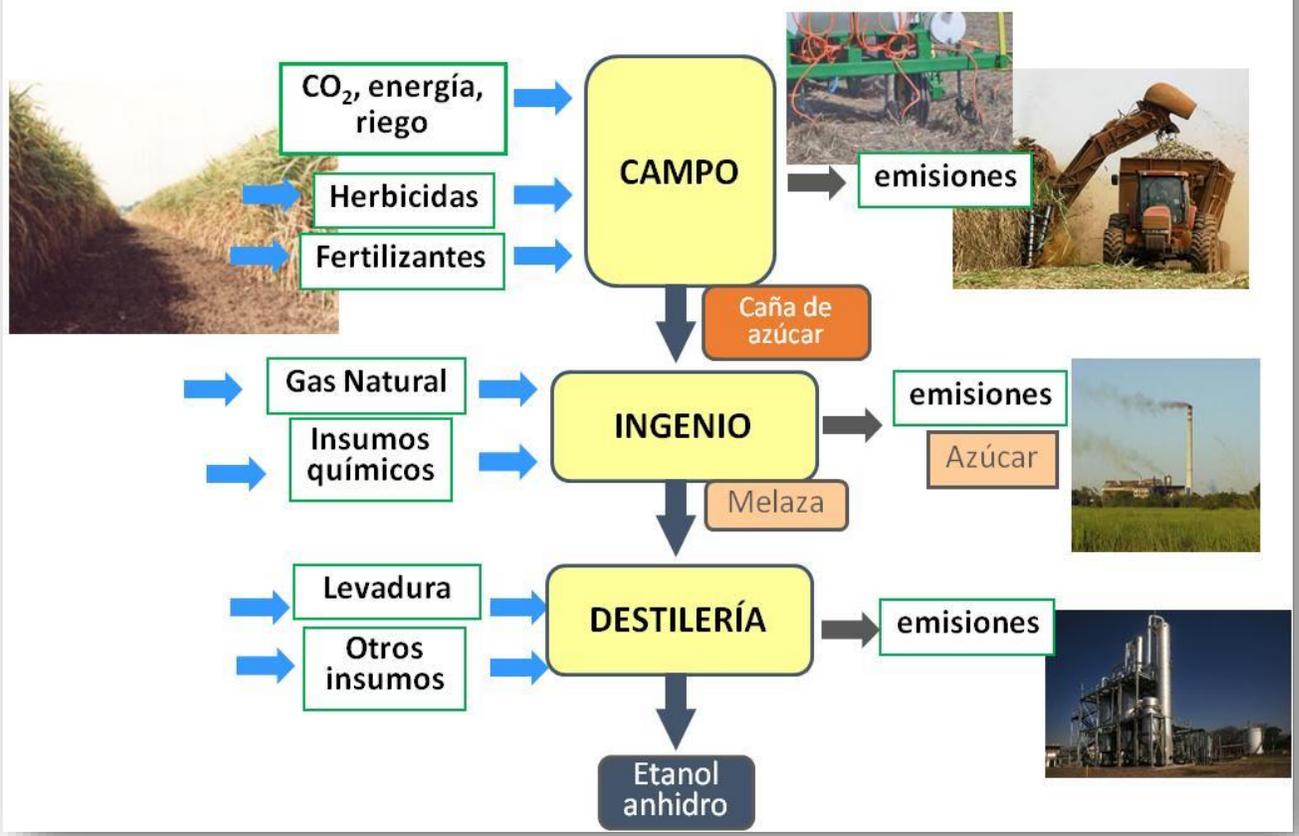
## Normas ISO

- **ISO 14.040** Gestión Medio Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida - Principios y Estructura (ISO 2006)
- **ISO 14.044** Gestión Medio Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida - Requerimientos y guía (ISO 2006).  
Sustituye las anteriores normas **ISO 14.041, 14.042, 14.043.**
- **ISO/TR 14.047** Gestión Medio Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida-Ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la ISO 14044 a situaciones de evaluación de impactos (ISO 2012)
- **ISO/TR 14.049** Gestión Medio Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida-Ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la ISO 14044 a la definición de objetivos y alcance y al análisis de inventario (ISO 2012)
- **ISO 14.046** Gestión Medio Ambiental – Huella de agua - Principios, requerimientos y guía (ISO 2014)
- **ISO 14.064-14.069** Gases de efecto invernadero. “Huella de carbono” (ISO 2006)

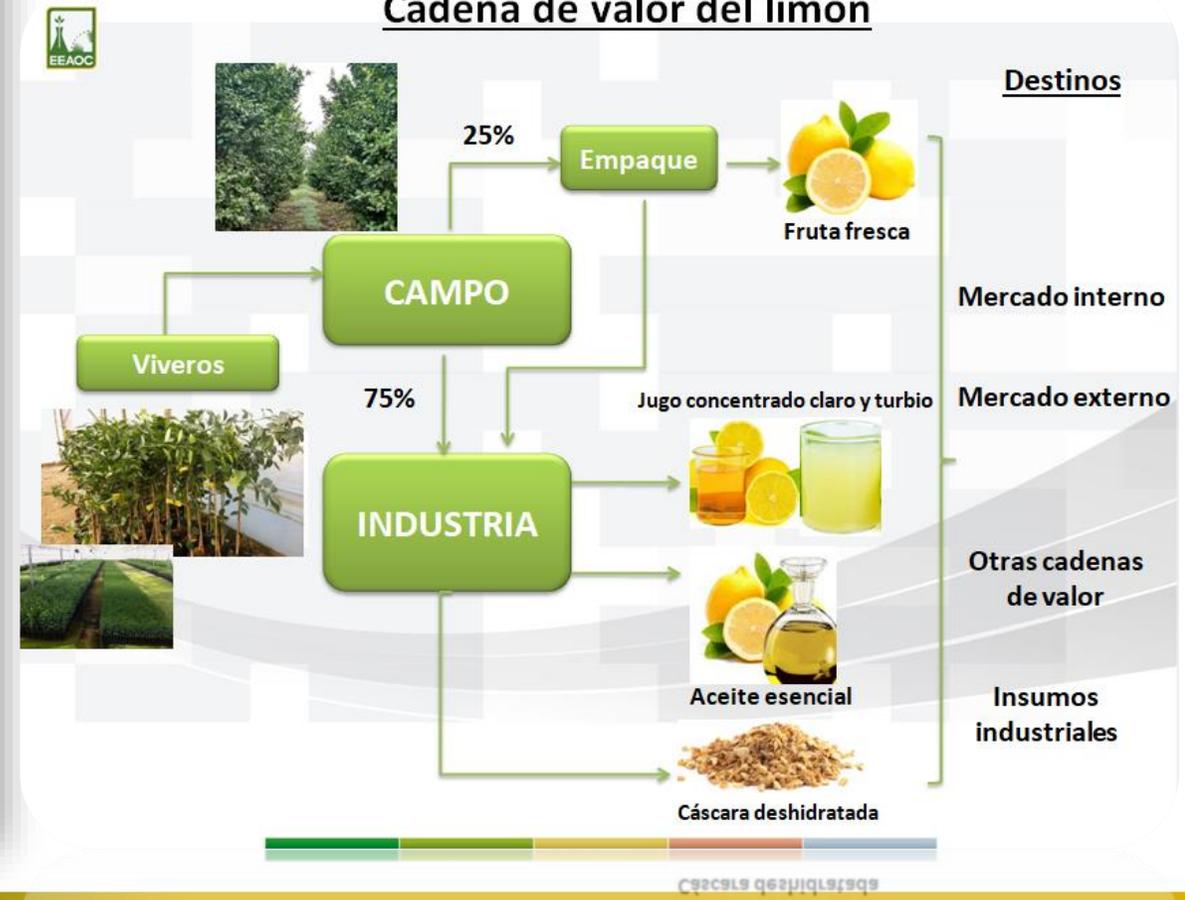


Con la incorporación del LCA y otras herramientas asociadas, la EEAOC busca avanzar en estudios de sustentabilidad en las cadenas productivas de la provincia y la región NOA, concentrando los esfuerzos y consolidando un equipo de trabajo multidisciplinario, integrado por especialistas de diversas áreas de la institución.

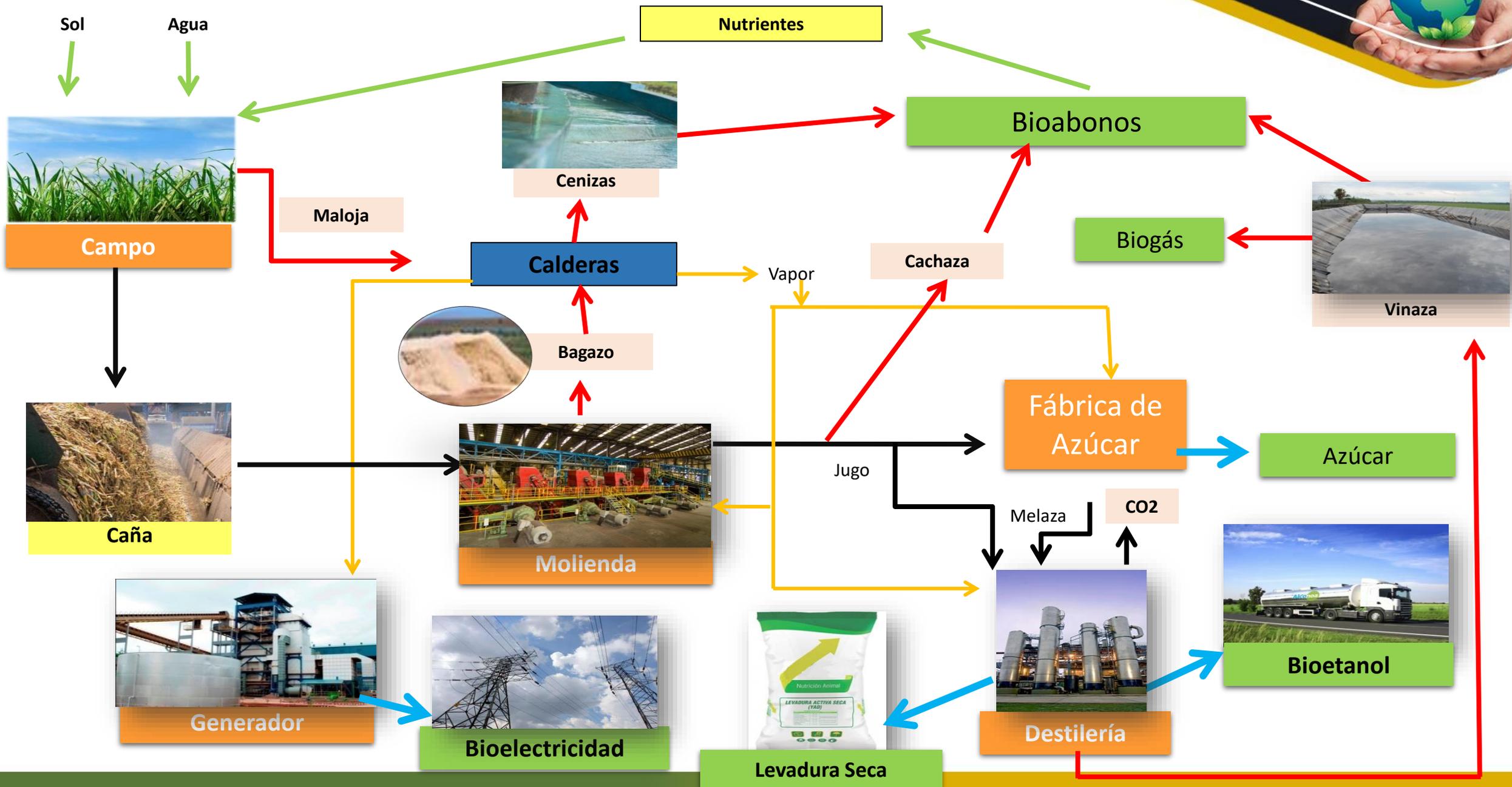
### Producción de Bioetanol de caña de azúcar



### Cadena de valor del limón



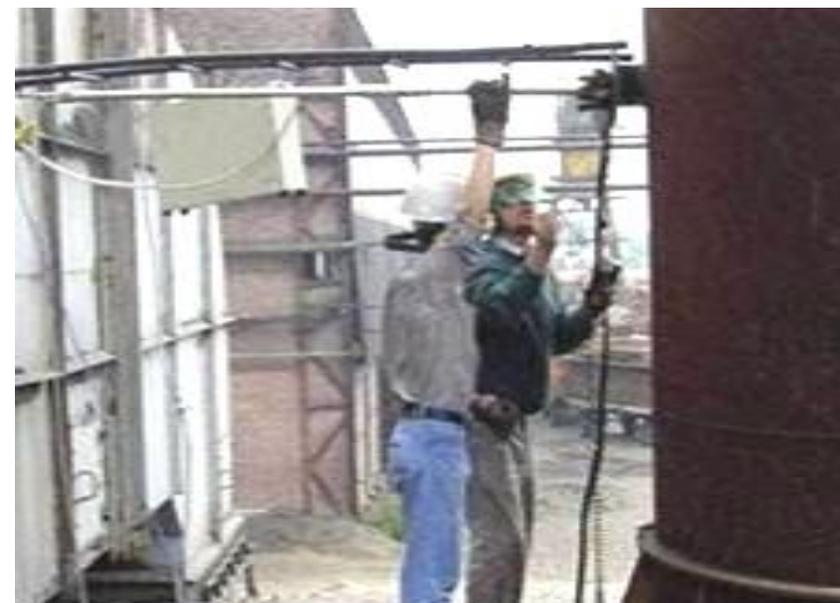
# Caña de Azúcar - Producción Sustentable – Ingenio Tucumán



# Evaluación y mejoras energéticas en la industria



- ✓ Estudio de los sistemas generadores de vapor y de las operaciones consumidoras de energía térmica.
  - ✓ Se realizan ensayos de medición con moderno instrumental.
- ✓ Uso de programas de simulación digital de procesos para la resolución de los balances de masa, energía y exergía. Se encuentran alternativas más eficientes de trabajo y se definen estrategias a seguir para alcanzar estos valores en fábrica (menor consumo de vapor).
- ✓ Se determinan las emisiones de material particulado efluentes por chimeneas de calderas.
- ✓ Se diseñan secadores de bagazo en transporte neumático, tecnología EEAOC, que consiste en un equipo de recuperación de calor adicionado a las calderas que permite mejorar su eficiencia energética, ahorrando bagazo y combustible adicional.



## Producción de biogás

La EEAOC investiga desde hace más de 15 años los procesos de digestión anaerobia de los efluentes y residuos orgánicos que generan las industrias sucroalcoholeras y citrícolas.



## Compost

La EEAOC brinda asistencia técnica a empresas citrícolas y sucroalcoholeras para el análisis de materias primas, formulación de pilas de compostaje y control fisicoquímico del proceso.

### Estudios Ambientales

- Efluentes de destilerías de alcohol
- Tratamiento de efluentes y residuos orgánicos en industria citrícola
- Evaluación del efecto de la aplicación de vinaza cruda en suelos cañeros
- Evaluación del efecto de la aplicación de vinaza cruda en suelos no productivos
- Producción de composta con residuos y efluentes de la agroindustria



En la agroindustria sucroalcoholera se utilizan residuos orgánicos, como cachaza, cenizas de lavado de gases de chimenea, bagazo, RAC, en mezclas que proporcionalmente pueden consumir hasta un 20 % de la vinaza producida.



ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
AGROINDUSTRIAL  
OBISPO COLOMBRES  
Tucumán | Argentina



GOBIERNO DE  
**TUCUMÁN**  
SECRETARÍA DE ESTADO  
DE INNOVACIÓN Y  
DESARROLLO TECNOLÓGICO

## Estado de situación y potencial de producción de biogás en la provincia de Tucumán



Mayo 2023



Autores: Proyecto Independiente Estudios  
Ambientales. Sección Ingeniería y  
Proyectos. EEAOC

Mg. Eugenio Antonio Quaia

Dr. Walter Daniel Machado

Mg. César Federico Molina

Lic. María Fernanda Acuña

Tco. Qco. Luis Alejandro Coria Muñoz

Tco. Qco. Guillermo Matías Nuñez

### OBJETIVO

Detallar el estado de situación y el marco legal en los órdenes internacional, nacional y provincial de la producción de biogás, las principales tecnologías para la biodigestión utilizadas en el mundo y evaluar el potencial para producir este biocombustible en Tucumán.

# Materias primas en Tucumán



# Cuantificación del potencial



Origen	M <sup>3</sup> de biogas/ año	M <sup>3</sup> biometano/ año	Tep/año	MMBTU/año
Bovinos	5.490.000	3.294.000	2.962	118.497
Tambos	1.400.000	840.000	755	30.216
Porcinos	3.320.000	1.992.000	1.792	71.680
RSU	3.556.000	2.133.600	2.115	84.600
Citrícolas	14.400.000	8.640.000	9.072	362.880
Destilerías alcohol	93.600.000	56.160.000	59.968	2.398.720
Ingenios azucareros	96.860.000	58.116.000	61.200	2.448.000
<b>Total</b>	218.626.000	<b>131.175.600</b>	137.864	5.514.593



## Consumo gas natural en Tucumán 2019

Tipo de usuario	m <sup>3</sup> /año
Residencial	117.045.000
Industrial + Comercial	327.436.000
GNC	108.995.000
Total	<b>553.476.000</b>

El biometano que puede llegar a producirse en Tucumán hoy representa el 23,7% del gas natural que se consumió en la provincia en 2019.

# Uso racional del agua en la industria



La EEAOC acompaña a las fábricas en su gestión del agua. El objetivo es estudiar el uso racional de agua industrial y la aplicación de metodologías de recuperación y reutilización que permitan minimizar los consumos hoy existentes.



- Relevar los distintos circuitos de agua y efluentes: influentes, efluentes y corrientes internas.
- Trazar el diagrama del proceso fabril que incluya las distintas corrientes de agua.
- Muestrear las distintas corrientes del diagrama de flujo (“flow-sheet”) y determinar todos los caudales asociados.
- Caracterizar con parámetros físico-químicos, de la manera más completa posible, las distintas corrientes involucradas (DQO, pH, conductividad, sólidos totales, sólidos sedimentables, etc.).
- Analizar el diagrama de flujo de agua propuesto de acuerdo a los parámetros operativos y los análisis realizados.
- Planteamiento de posibles cambios en el flow-sheet mediante balances de materia y energía, con el objetivo del reuso de las aguas industriales.

# Uso racional del agua en la industria

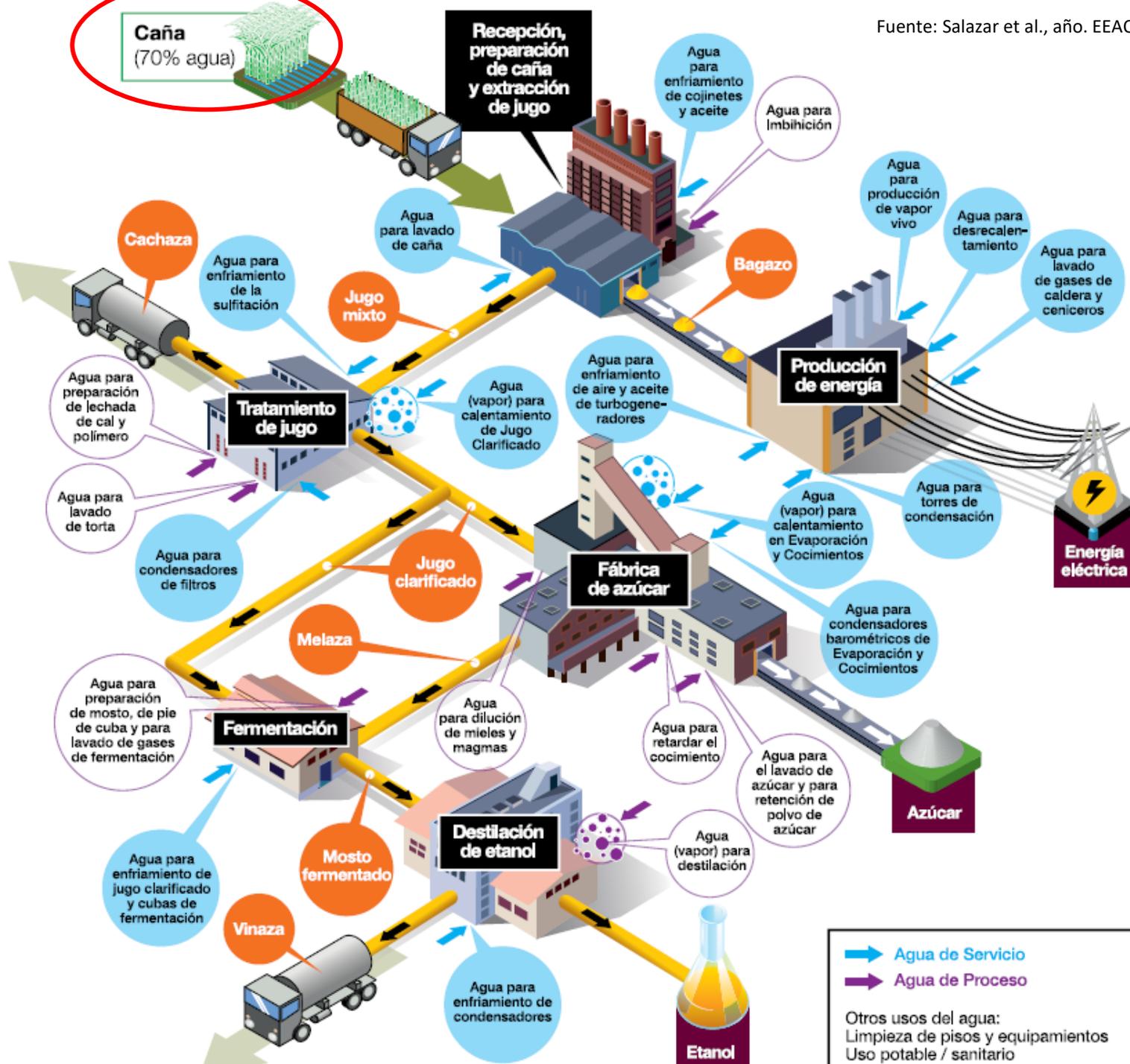
En nuestros ingenios estos consumos todavía son altos, por lo que deberían implementarse esquemas tecnológicos alternativos que incluyan recirculación y reúso de agua para alcanzar el ambicioso objetivo de efluente cero.

**Índice de consumo de agua (ind. azucarera) =**

**2 m<sup>3</sup>/t caña bruta**

Se puede minimizar el consumo utilizando estrategias:

- cambios en el proceso,
- reúso si los contaminantes existentes no afectan el proceso,
- regeneración y reciclado, cuando los contaminantes del efluente son parcialmente eliminados y el efluente líquido es devuelto al mismo proceso,
- Entre otras.



# Uso y calidad del agua en la industria



## Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI)

- Evaluación de variables operativas de proceso. Caudales.

## Laboratorio de Aguas y Efluentes (LAE)

- Análisis físico-químicos para la caracterización de muestras líquidas
- Determinaciones en corrientes industriales de DQO, OD, pH, conductividad, ST, SFT, SVT, SS, detergentes, fósforo, amoníaco y otros.

## Laboratorio de Metales (LM)

- Análisis de metales contaminantes: plomo, arsénico, cobalto, hierro, y otros.



**ESTACION EXPERIMENTAL  
AGROINDUSTRIAL  
OBISPO COLOMBRES**

Tucumán | Argentina

# Aprovechamiento energético de la biomasa



Reemplazar el combustible fósil por biomasa generada por la misma actividad productiva de Tucumán, representa una opción muy ventajosa estudiada en la EEAOC.

En la agroindustria de la caña de azúcar se dispone de RAC (residuo agrícola de cosecha) para su aprovechamiento energético en calderas bagaceras.

Otras tecnologías: la pirólisis o la gasificación, que permiten el uso del RAC en un 100%.

Biomasa residual cítrica proveniente de las actividades de poda y arranque de plantas para renovación de lotes.

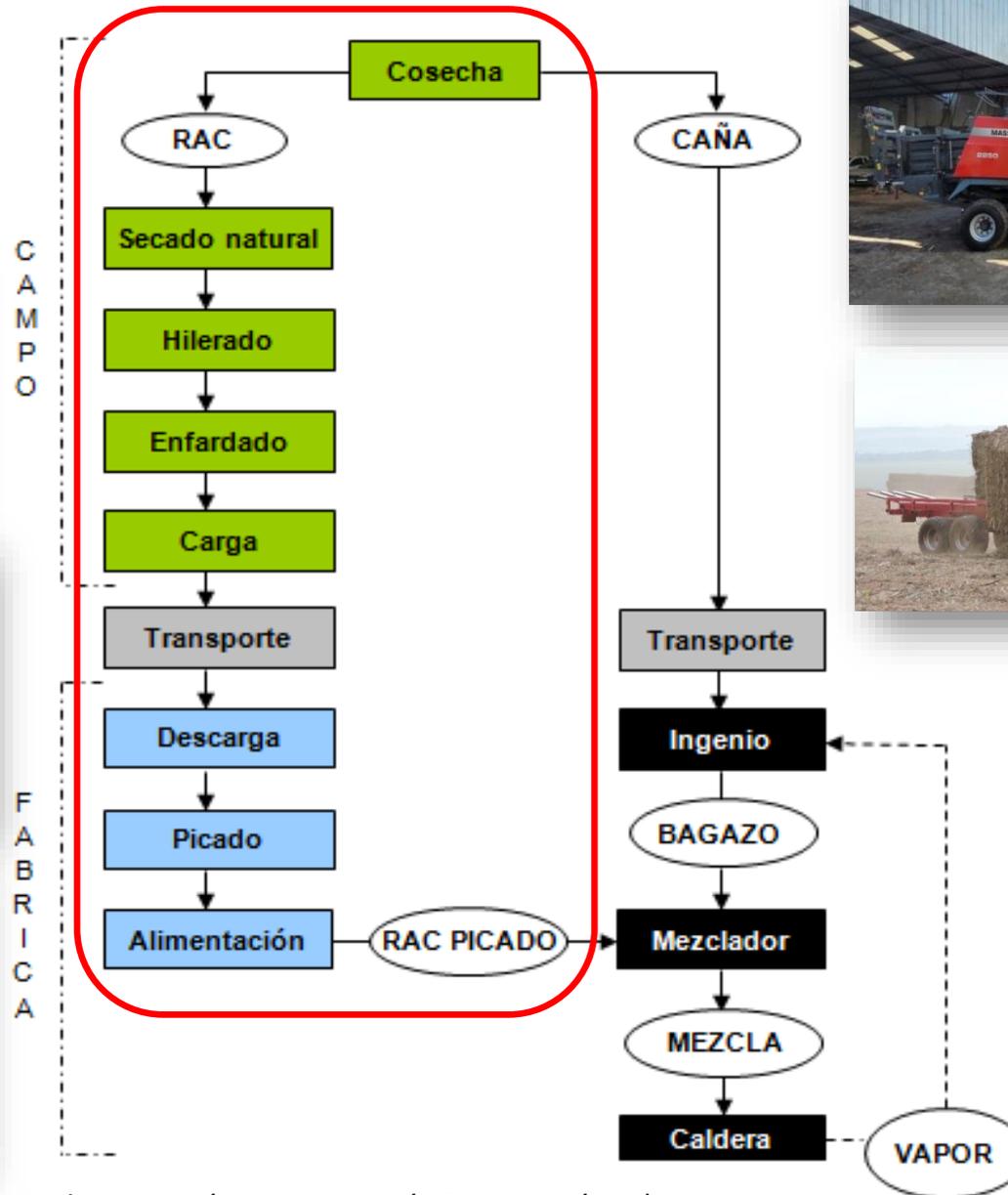
La caracterización energética de la poda de limoneros es apta para ser empleada como combustible, teniendo similares características a la biomasa de origen leñoso

Las determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales de la EEAOC.

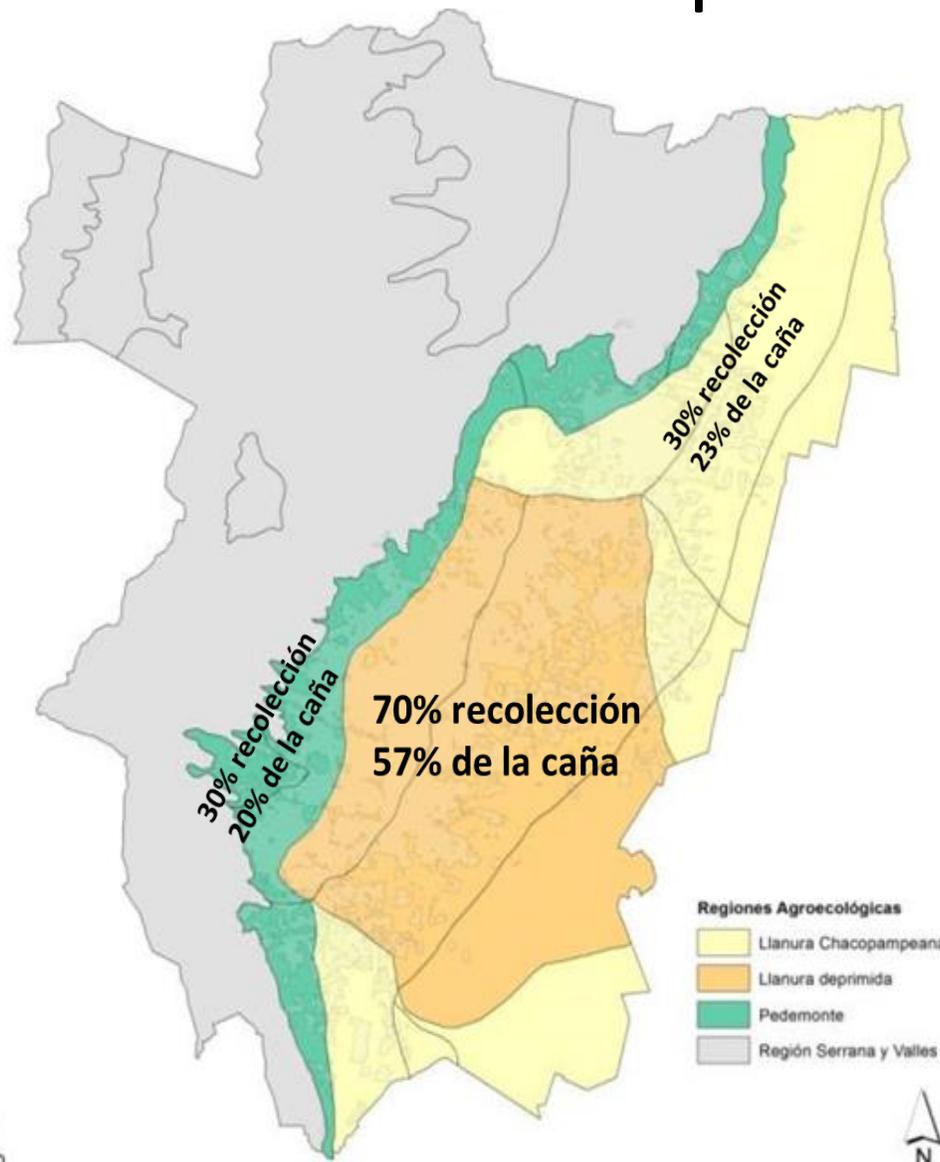
Parámetros característicos de un combustible: humedad, cenizas, sólidos volátiles, carbono fijo, componentes elementales, fusibilidad de cenizas, poder calorífico, entre otros.



# Determinación de la TRE del RAC enfardado en Tucumán



# Disponibilidad de RAC



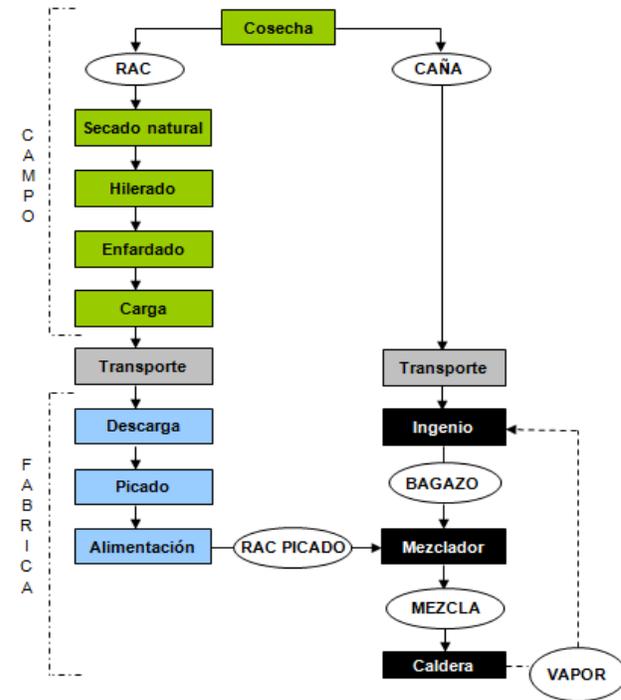
Región Agroecológica	Superficie cosechada (ha)	Superficie (%)	Rto promedio t/ha	RAC Seco Total (t)	% recolección	RAC seco factible de recolectar (t)
Pedemonte	61.008	23	56,7	3.459.125	30	155.660
Llanura Deprimida	167.108	63	56,7	9.474.995	70	994.874
Llanura Chaco Pampeana	37.135	14	56,7	2.105.554	30	94.749
<b>Total</b>	<b>265.250</b>			<b>2.255.951</b>		<b>1.245.283</b>

El RAC promedio entre variedades es de 151 kg RAC/t (b.s.) caña (Romero *et al.* 2008) ~ 7-17 t/ha.

(Fuente: F. de Ullivarri, 2021; Feijóo, 2022)

# Tasa de Retorno Energético

$$\text{TRE} = \frac{E \text{ obtenida}}{E \text{ invertida}}$$



- Indicador de eficiencia energética y sustentabilidad.
- $\text{TRE} \geq 8$  es considerado el valor umbral, y a partir del cual las fuentes de energía son consideradas atractivas.
- El desafío es establecer límites, coherencia y objetividad del sistema.
- No existe una metodología estandarizada.

# Tasa de Retorno Energético

$$\text{TRE} = \frac{\text{E obtenida}}{\text{E invertida}}$$



## E obtenida

### Energía aprovechable del RAC

Poder calorífico inferior (PCI) del RAC.  
contenido de cenizas 11,39%  
contenido de humedad 15%



## E invertida

### Energía directa Consumo de combustible

El consumo directo de energía se calculó teniendo en cuenta la cantidad de gasoil/t de RAC y el PCI del gasoil. Se consideraron todas las operaciones del sistema (hilerado, recolección, enfardado, carga, transporte a fábrica, descarga y picado del RAC).



### Energía para la obtención de RAC (S)

Fracción de Energía utilizada durante el ciclo de cultivo de la caña de azúcar para producir RAC.



### Energía para fabricación y mantenimiento (Ω)

Energía incorporada (EE) asociada a materias primas (acero y neumáticos).  
Energía necesaria para la fabricación (EM).  
Energía relacionada con repuestos y mantenimiento de la maquinaria durante su vida útil (ESM).

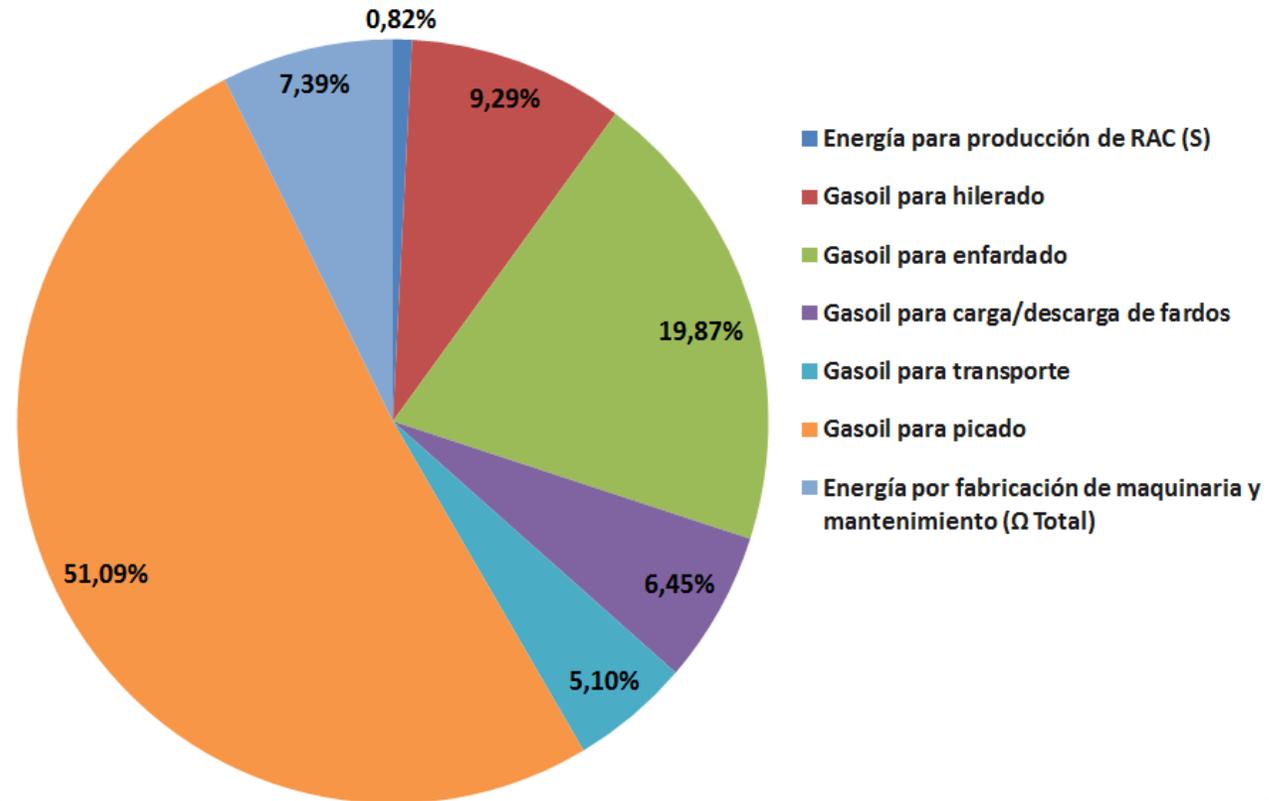


# Resultados



Entradas	Unidades	Consumo
Energía para obtención del RAC (S)	MJ/t RAC	4,60
Gasoil para hilerado	MJ/t RAC	52,19
Gasoil para enfardado	MJ/t RAC	111,62
Gasoil para carga de fardos	MJ/t RAC	36,24
Gasoil para transporte	MJ/t RAC	28,63
Gasoil para descarga y picado	MJ/t RAC	287,03
Energía por fabricación de maquinaria y mantenimiento ( $\Omega$ Total)	MJ/t RAC	41,51

- E obtenida = 10.495,07 [MJ/t RAC]
- E invertida = 561,82 [MJ/t RAC]
- TRE = 18,68 [MJ/MJ]



# Conclusiones



- La TRE es un importante indicador de sustentabilidad.
- El resultado de la TRE del RAC es un valor muy atractivo para su aprovechamiento energético.
- La E invertida está dominada por el uso de combustibles fósiles.
- Se necesitan evaluaciones de sustentabilidad complementarias.
- Necesidad de una metodología estandarizada.
- Establecer una línea base para futuros estudios y optimización del proceso.

# Análisis de Ciclo de Vida y herramientas asociadas



- ISO 14.040 Gestión Medio Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida - Principios y Estructura (ISO 2006a).
- ISO 14.044 Gestión Medio Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida - Requerimientos y guía (ISO 2006b).  
Sustituye las anteriores normas ISO 14.041, 14.042, 14.043.  
Tanto la ISO 14.040 como la 14.044 fueron revisadas en 2010.
- ISO/TR 14.047 Gestión Medio Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida- Ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la ISO 14044 a situaciones de evaluación de impactos (ISO 2012a).
- ISO/TR 14.049 Gestión Medio Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida- Ejemplos ilustrativos de cómo aplicar la ISO 14044 a la definición de objetivos y alcance y al análisis de inventario (ISO 2012b).
- ISO 14.046 Gestión Medio Ambiental – Huella de agua - Principios, requerimientos y guía (ISO 2014a).
- ISO 14.064-14.069 Gases de efecto invernadero. “Huella de carbono” (ISO 2006, revisada en 2018-2019).

**Integrar el LCA a las líneas de investigación de la EEAOC, en el área agroindustrial, constituye un desafío y complementa los estudios de sustentabilidad.**

estudios de sustentabilidad  
agua y combustibles los

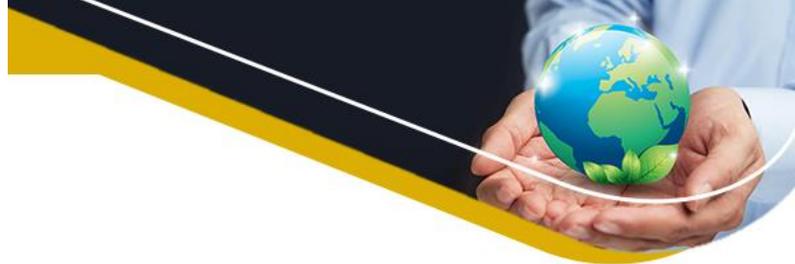
**Balances de materia y energía**

**Empleo de bases de datos internacionales**

**Software específico**

## SUSTENTABILIDAD



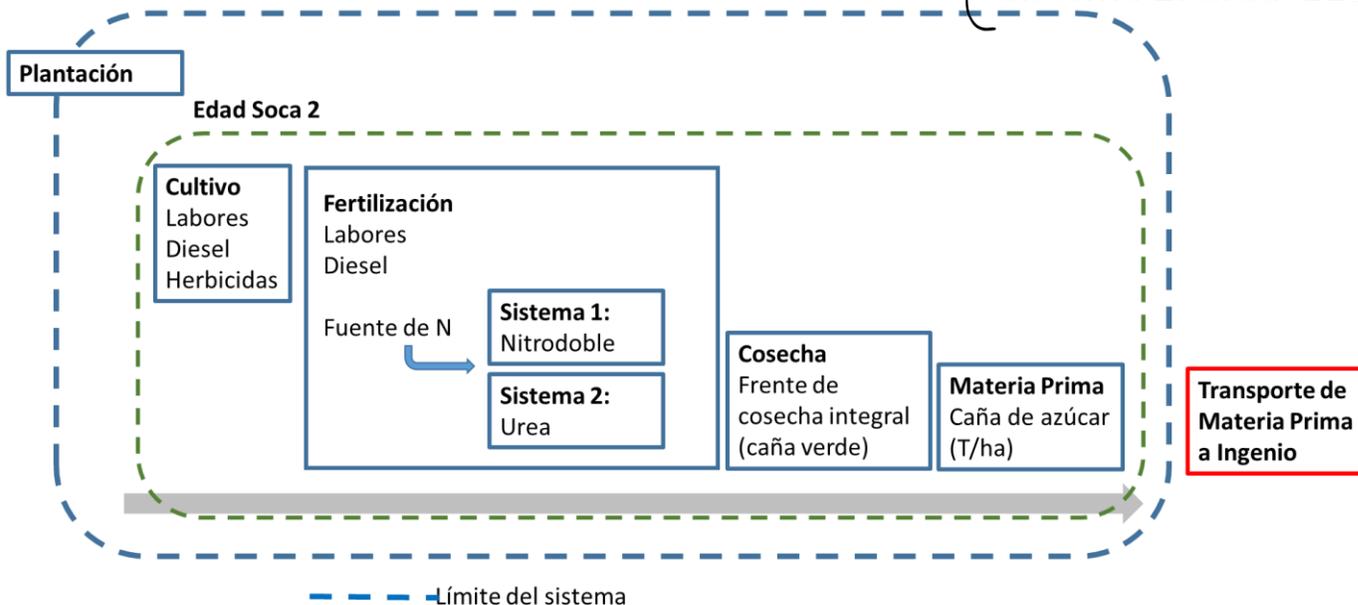


**INFLUENCIA DE LA PRÁCTICA DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN CAÑA DE AZÚCAR.**

Tonatto J.; Garolera De Nucci L. P. y Romero E. R.

Sistema de cultivo de caña de azúcar

Sistema 1: CAN 67,5 kg N/ha  
 Sistema 2: urea 115 kg N/ha



**METODOLOGÍA**

- Herramienta: Cool Farm Tool (CFT) a través de una plataforma en línea (<https://coolfarmtool.org>).
- Clima, los insumos de producción y prácticas de gestión en campo, con las cargas ambientales asociadas a los sistemas de producción.
- Ensayo: Acherai (Tucumán, Argentina). 2020/2021.
- Incluye: labores culturales, consumo de combustible diésel, agroquímicos y cosecha.
- Rendimiento Cultural: 64,15 t de caña/ha.
- No se consideraron otras fuentes de nutrientes.

La unidad funcional para la comparación de los sistemas bajo estudio es la producción de **1 t caña de azúcar**.

## RESULTADOS

Emisiones totales de GEI  
Emisiones por superficie

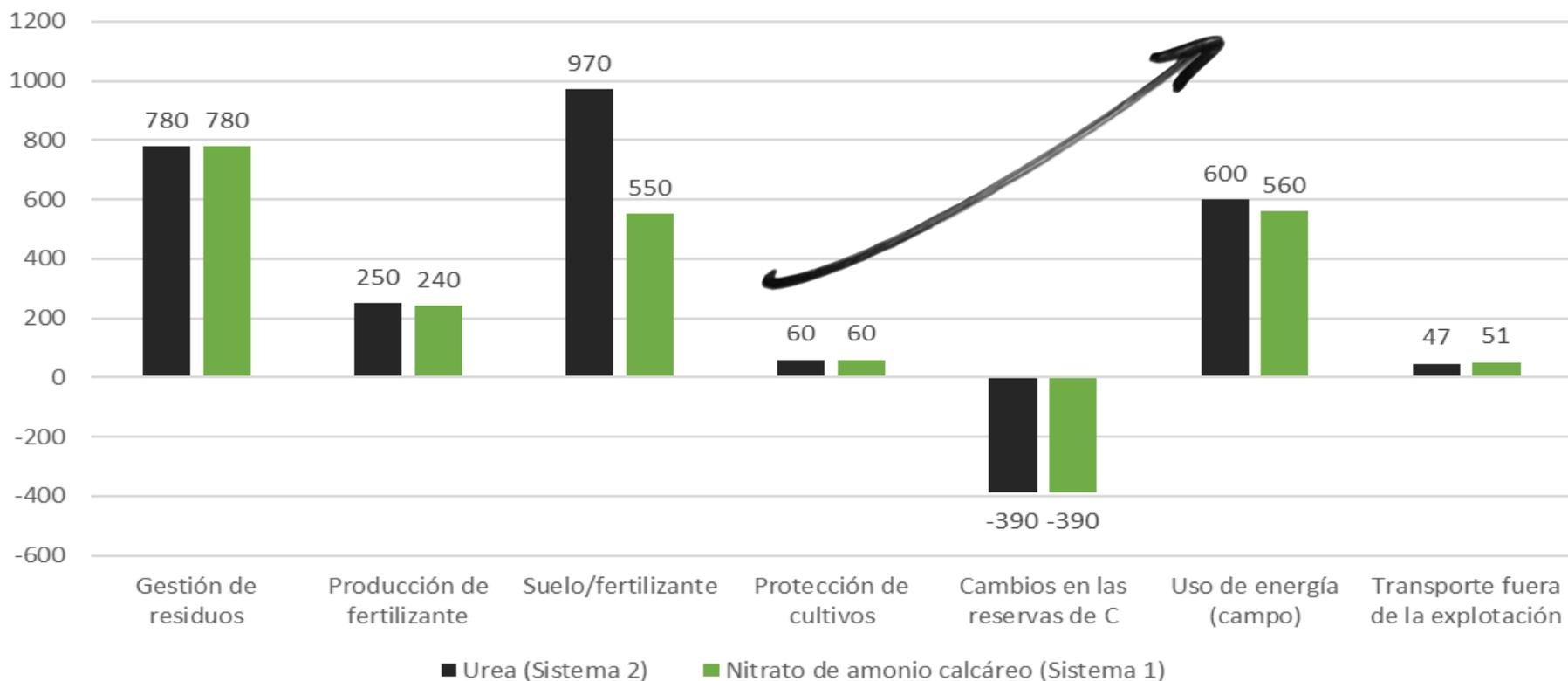
CAN = 28,8 kg CO<sub>2</sub>e/t caña  
CAN = 1848 kg CO<sub>2</sub>e/ha

Urea = 36,1 kg CO<sub>2</sub>e/t caña  
Urea = 2317 kg CO<sub>2</sub>e/ha

*CAN:* reducción del 43% de emisiones originadas en el suelo por uso de fertilizantes

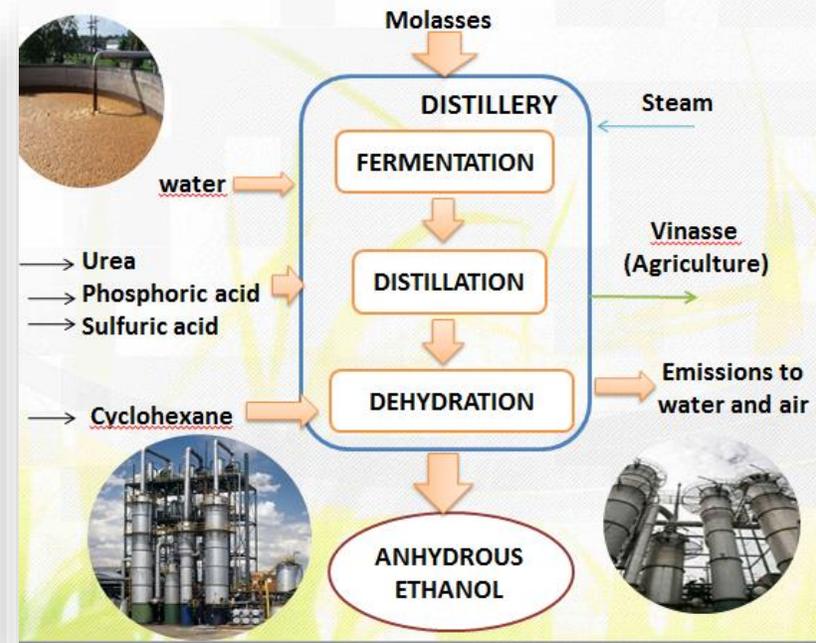
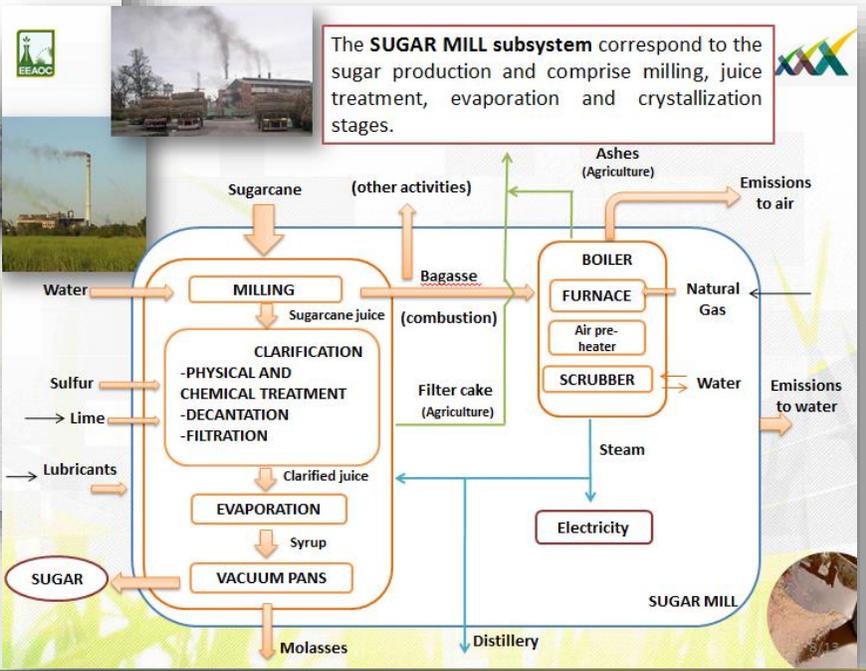
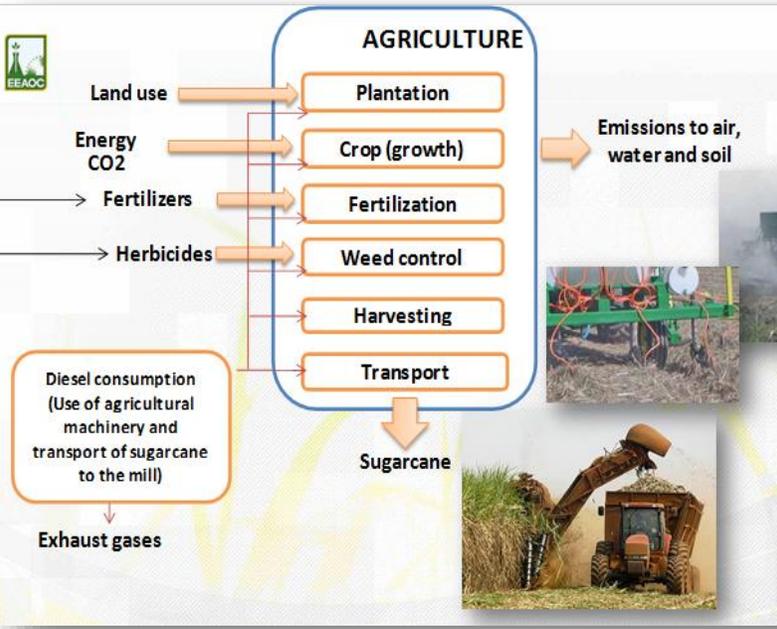
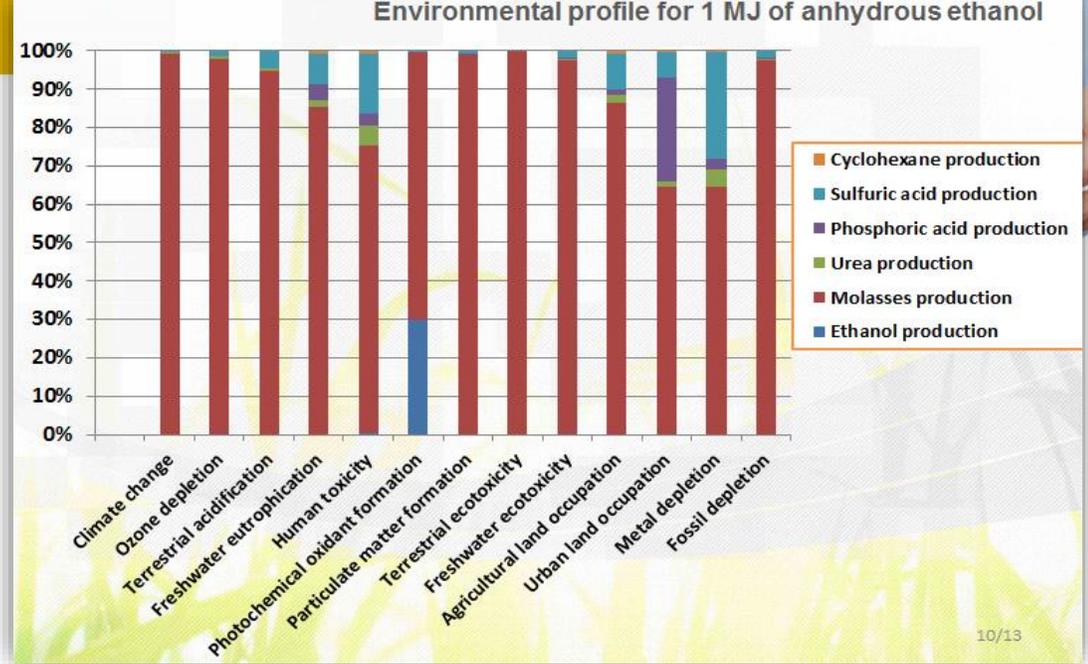
Mayor uso de nut.  
Ef. agronómica  
Baja volatilización

Resumen de Emisiones (kg CO<sub>2</sub> e)



# Life-cycle assessment of sugarcane-based ethanol production in Tucumán, Argentina

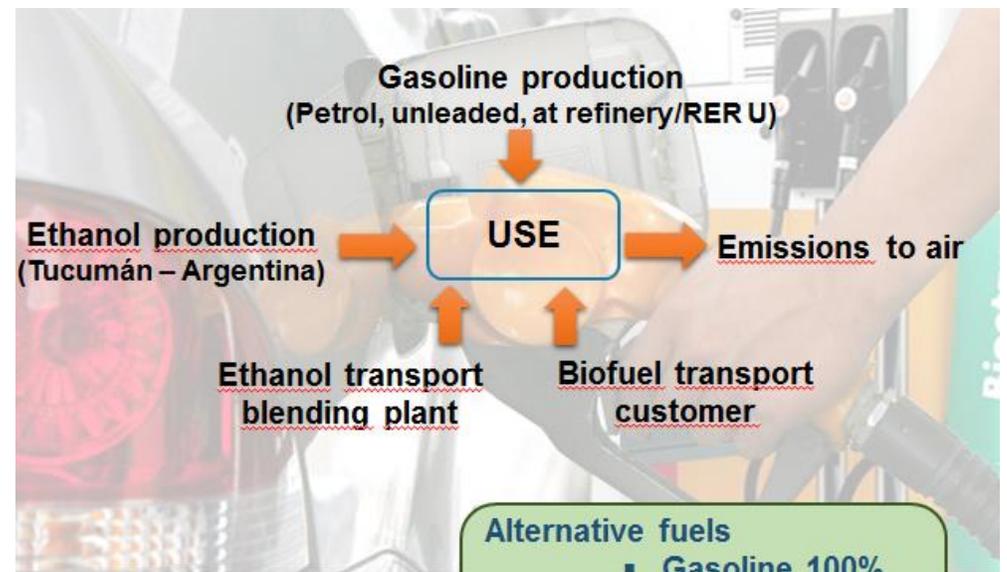
LP Garolera De Nucci<sup>1</sup>, J Tonatto<sup>1</sup>, E Romero<sup>1</sup>, GJ Cárdenas<sup>1</sup> and FD Mele<sup>2</sup>





# COMPARISON OF DIFFERENT GASOLINE-SUGARCANE-BASED ETHANOL BLENDS USING A LIFE CYCLE ASSESSMENT APPROACH

Garolera De Nucci, L. P.; Mele, F. D.; Nishihara Hun, A. L.; Cárdenas, G. J.



- Alternative fuels**
- Gasoline 100%
  - E10
  - E85
  - Ethanol 100%

## Sorgo azucarado: estudio ambiental y potencial uso para producción de bioetanol

L. Patricia Garolera De Nucci, Javier Tonatto, M. Emilia Iñigo Martínez, Guillermo De Boeck, Gerónimo Cárdenas, Eduardo Romero

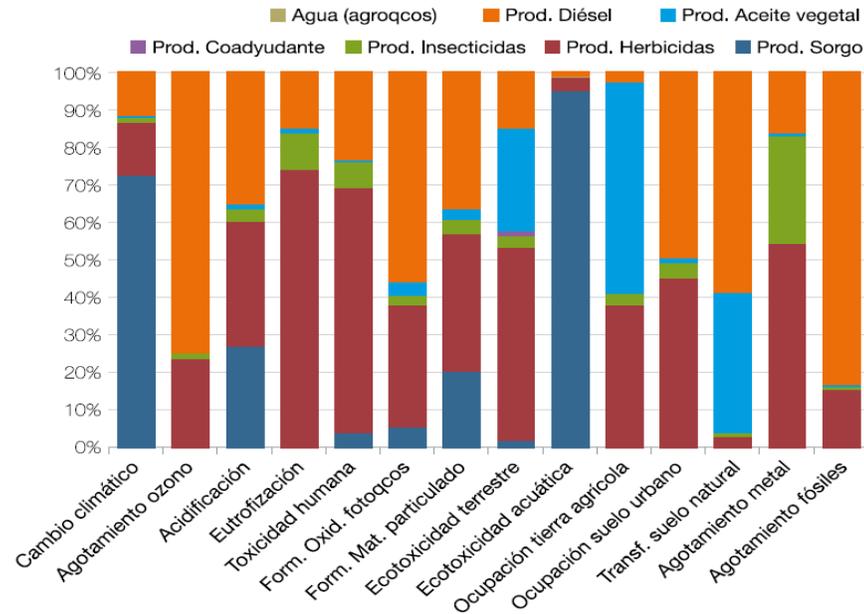


Figura 2. Perfil ambiental del sorgo azucarado en Tucumán, estimado para 1 kg de tallo de sorgo (caracterización).

Mayor impacto ambiental por aplicación de agroquímicos y producción del combustible fósil utilizado. No presenta contribución significativa en “cambio climático”.

## HUELLA DE AGUA DEL CULTIVO DE SORGO AZUCARADO EN LA PROVINCIA DE TUCUMAN

L. P. Garolera De Nucci, M. E. Iñigo Martínez, J. Tonatto, R. Corbella y E. Romero



HUELLA HÍDRICA = 407m<sup>3</sup>/t sorgo cosechado

0%



HUELLA AZUL

+

28,7%



HUELLA VERDE

+

71,3%



HUELLA GRIS

# PERFIL AMBIENTAL DEL BIOETANOL DE SORGO AZUCARADO EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN UTILIZANDO EL ENFOQUE DE CICLO DE VIDA

Tesis para optar al grado de Magíster en Ingeniería Bioenergética

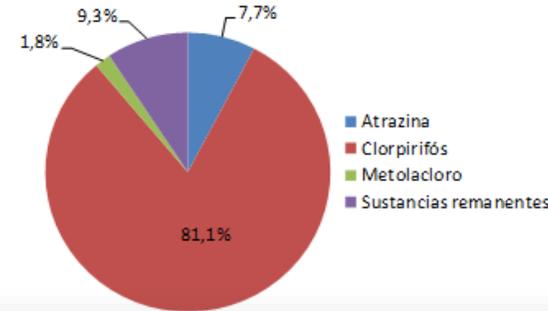


ESTACION EXPERIMENTAL  
AGROINDUSTRIAL  
OBISPO COLOMBRES  
Tucumán | Argentina

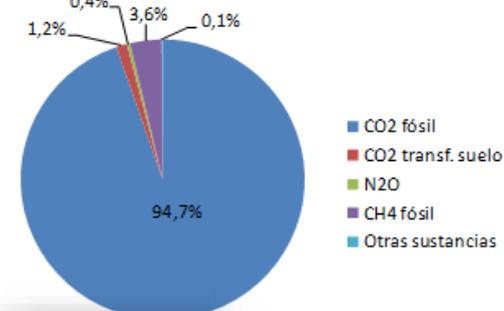


## Principales emisiones para el subsistema CAMPO

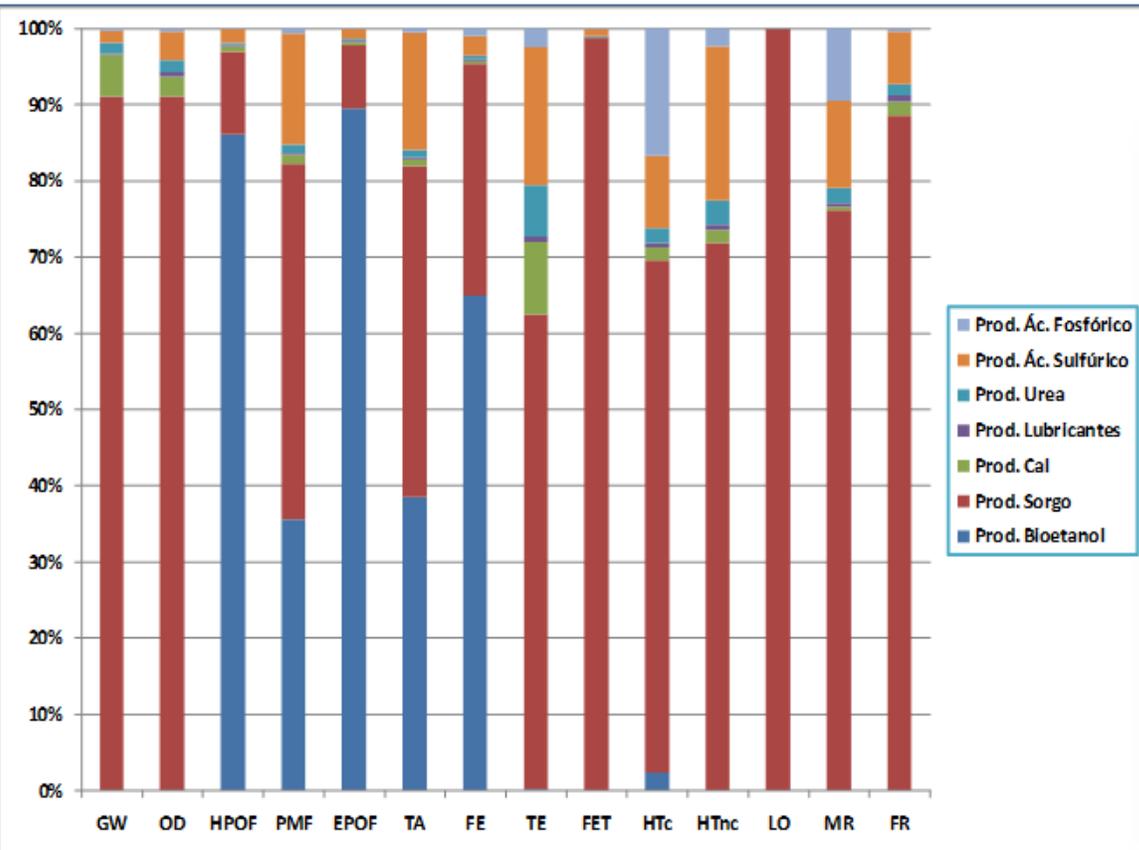
### Ecotoxicidad de agua dulce



### Calentamiento global



## Perfil ambiental del bioetanol de sorgo azucarado en Tucumán, estimado para 1 t del biocombustible (caracterización).



The International Journal of Life Cycle Assessment  
<https://doi.org/10.1007/s11367-022-02120-2>

LCA FOR AGRICULTURE PRACTICES AND BIOBASED INDUSTRIAL PRODUCTS

## Environmental profile of sweet sorghum bioethanol in the province of Tucumán (Argentina)

L. P. Garolera De Nucci<sup>1</sup> · M. J. Tonatto<sup>1</sup> · F. D. Mele<sup>2,3</sup>

Received: 12 April 2022 / Accepted: 29 November 2022  
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2022

### Abstract

**Objectives** The objective of this study is to evaluate the environmental profile of bioethanol production from sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the province of Tucumán (Argentina).

**Methods** The study is carried out using the life cycle assessment (LCA) methodology. The evaluated system includes the cultivation of sorghum, its transportation to the sugar mill, and the production of anhydrous ethanol. For the inventory, data recorded in field/industry activities is preferably used, supplemented by specialized publications and the Ecoinvent v3 database. The ReCiPe 2016 impact evaluation model is used to obtain the environmental profile.

**Results and discussion** The results show that the environmental contribution of the sorghum agricultural phase dominates all impact categories, mainly due to the use of some agrochemicals and fossil fuels. The normalization of these results highlights freshwater ecotoxicity as the most relevant category. The sensitivity analysis reveals that this category depends almost linearly on the leaching-runoff factors of the pesticides, among which chlorpyrifos prevails.

**Conclusions** This study unveils the hotspots in sorghum bioethanol production, which will be used to improve the agronomic management of the crop and processing. The incorporation of sorghum as a feedstock in the existing cane-based sugar-alcohol industry allows for a significant reduction of the global warming potential, opening opportunities for future research on the subject. Therefore, the cultivation/processing of sweet sorghum is a promising alternative to reduce the environmental impact of ethanol from other sugarcane-producing regions.



ESTACIÓN EXPERIMENTAL  
AGROINDUSTRIAL  
OBISPO COLOMBRES  
Tucumán | Argentina

# LA TASA DE RETORNO ENERGÉTICO: SU IMPORTANCIA EN EL CONTEXTO ENERGÉTICO MUNDIAL Y NECESIDAD DE SU ANÁLISIS EN LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

Trabajo Final Integrador de la Carrera  
"Especialización en Ingeniería Bioenergética"

## LA TASA DE RETORNO ENERGÉTICO DEL BIOETANOL PRODUCIDO EN TUCUMÁN

• "Balance energético de la producción de alcohol combustible a partir de caña de azúcar para las condiciones de Tucumán" de Cárdenas y Ruiz (1986).

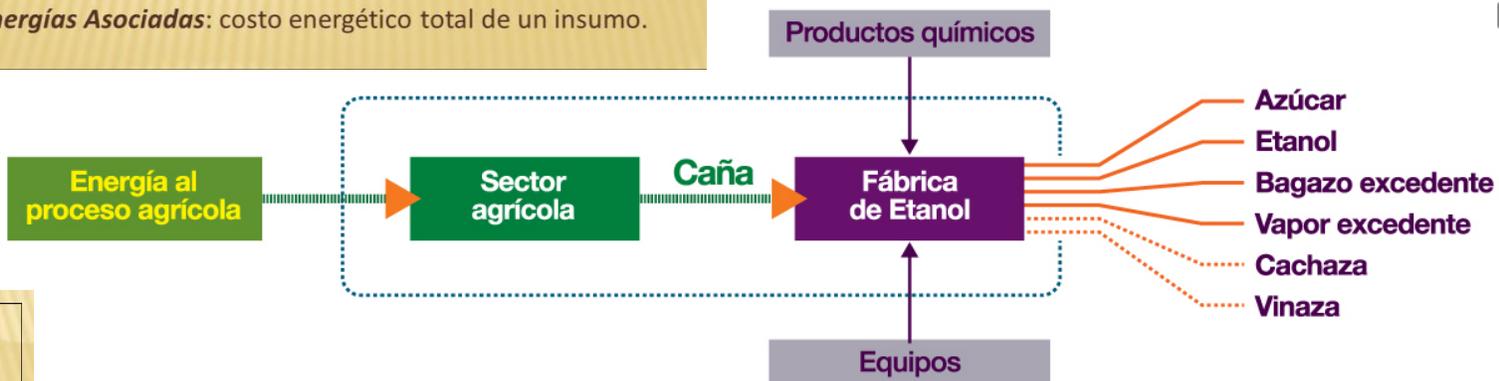
### Caso de estudio

- Molienda = 308.500 t caña/año
- ART= 14%
- Sistema de evaporación de tres efectos (concentración).
- Todo el jugo azucarado se destina a la producción de alcohol anhidro.
- El bagazo cubre toda la demanda energética de la fábrica.
- Excedente de bagazo y vapor.

• **Energías Asociadas:** costo energético total de un insumo.



## CÁLCULO DE LA TRE DEL ETANOL



Etapa agrícola	Energía consumida [kJ/TC]		Total [kJ/TC]
	Prod. Quím.	Equipamiento	
	233.343	35.680	283.735
	14.712		

Energía obtenida en el etanol [kJ/TC]	TRE del etanol con energías asociadas [kJ/kJ]	TRE del etanol sin energías asociadas [kJ/kJ]
1.473.105	5,19	6,31

**Incremento de 21,6%**



## XI Encuentro Argentino de Ciclo de Vida y X Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica ENARCIV 2023

Presentaciones  
orales y posters.  
Cursos.  
Conferencias.

Encuentro híbrido presencial y virtual  
**16 y 17 de Noviembre de 2023**

### Ejes Temáticos

1. Análisis de Ciclo de Vida.
2. Análisis social de ciclo de vida
3. Costos de ciclo de vida
4. Huella de Agua.
5. Huella de Carbono.
6. Inventarios nacionales
7. Economía circular y ecoeficiencia
8. Sustentabilidad industrial
9. Educación
10. Otros

### INFORMACIÓN:

<https://analisisciclodevida.wixsite.com/inicio>  
[cyklos@herrera.unt.edu.ar](mailto:cyklos@herrera.unt.edu.ar)

Ing. Patricia Garolera De Nucci  
[pgarolera@eeaoc.org.ar](mailto:pgarolera@eeaoc.org.ar)



**MUCHAS GRACIAS**

[sustentabilidad@eeaoc.org.ar](mailto:sustentabilidad@eeaoc.org.ar)



Siendo Tucumán una provincia productora de bienes que se consumen tanto en mercados nacionales como internacionales, es imperioso que la voluntad política y la motivación de la empresa privada logren concretar la aplicación de estas herramientas. Con esto se garantizará una producción/consumo sustentable además de cumplir con exigencias para permanencia de productos en mercados cada vez más exigentes en términos de sustentabilidad (HAP- Huella ambiental de producto, HAO – Huella ambiental de la Organización, entre otras, que Europa ya cuenta).

## RENOVABIO

### **Discusión sobre mercado de combustibles**

**Aprobación del Programa Renovabio en dic/2017 (Ley n° 13.576/2019)**

**Inicio del Programa en dic/2019**

### **Objetivos del Programa:**

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de transporte
- Estímulo a ganancia en eficiencia económica y ambiental en la producción de biocombustibles
- Expansión y mayor previsibilidad para la participación de los biocombustibles en la matriz nacional

en la matriz nacional

- Expansión y mayor previsibilidad para la participación de los biocombustibles

# HOW DOES RENOVABIO WORK?



Biofuel  
liters



Biofuel  
liters



Biofuel  
liters



Produce

Certification  
+ CBio issue

Avoided emission = producer's environmental energy efficiency score

