



Revista Industrial  
y Agrícola de  
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea  
1851-3018

Tomo 101 (2):  
17-23; 2024



ESTACION EXPERIMENTAL  
AGROINDUSTRIAL  
OBISPO COLOMBRES  
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150  
T4101XAC - Las Talitas.  
Tucumán, Argentina.

# Emisiones de gases de efecto invernadero de prácticas agrícolas en caña de azúcar, Tucumán, Argentina

Javier Tonatto \*, P. Lorena Garolera De Nucci\*, Luis G. Alonso\*, Enrique Feijóo\* y Eduardo R. Romero\*

\* Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, William Cross 3150, Las Talitas – Tucumán, Argentina, Tel: (54 381) 452 1000. Email: jtonatto@eeaoc.org.ar

## RESUMEN

En la búsqueda de sistemas agrícolas sustentables es necesario cuantificar los impactos ambientales de las diversas prácticas de manejo para tomar decisiones sobre la sustentabilidad agrícola y lograr resultados ecológicos positivos. El objetivo del presente trabajo es estimar las emisiones de GEI en la producción del cultivo de caña de azúcar en las condiciones agroecológicas de una localidad de la provincia de Tucumán, mediante el empleo de diferentes fertilizantes nitrogenados y teniendo en cuenta la recolección del RAC para potencial uso bioenergético en un ingenio azucarero. Se consideraron las labores culturales, el consumo de combustible diésel, la aplicación de agroquímicos y la labor de cosecha para obtener una cantidad definida de materia prima bajo dos sistemas, según el tipo de fertilizante nitrogenado empleado: nitrato de amonio calcáreo (CAN) (67,5 kg N/ha) y urea (115 kg N/ha). Las emisiones de GEI se estimaron empleando una herramienta denominada Cool Farm Tool versión 2.0 (2003). Las emisiones totales por unidad de superficie fueron 1628 kg CO<sub>2</sub>e/ha al emplear CAN, mientras que al emplear urea resultaron en 2346 kg CO<sub>2</sub>e/ha. Las emisiones de GEI expresadas en relación a la producción de caña de azúcar obtenida al emplear CAN fueron 24,08 kg CO<sub>2</sub>e/t caña MF; y 35,26 kg CO<sub>2</sub>e/t caña MF al emplear urea. Las labores correspondientes al acondicionamiento del RAC para su potencial aprovechamiento fueron estimadas en 83,5 kg CO<sub>2</sub>e/ha en ambos sistemas. Los resultados manifiestan una disminución en la estimación de emisiones de GEI asociados al uso de una práctica de fertilización alternativa empleando CAN como fuente de nitrógeno. Se combinan beneficios propios de su etapa de producción y uso en campo, con ventajas agronómicas y operativas durante su aplicación. Se observa la relevancia que adquieren en ambos sistemas las emisiones relacionadas con el uso de combustible diésel en las operaciones agrícolas, representando entre el 33% y el 44% del total de las emisiones.

**Palabras clave:** nutrientes, agricultura, sustentabilidad, RAC, herramientas.

## ABSTRACT

### Greenhouse gas emissions from agricultural practices in sugar cane, Tucumán, Argentina

In the search for sustainable agricultural systems, it is essential to quantify the environmental impacts of various management practices to make informed decisions about agricultural sustainability and achieve positive ecological outcomes. The objective of this study is to estimate greenhouse gas (GHG) emissions in sugarcane production under the agroecological conditions of a location in Tucumán province. Different nitrogen fertilizers use was considered as well as the collection of harvest residues for potential bioenergy purposes in a sugar mill. Cultural practices, diesel fuel consumption, the use of agrochemicals, and the harvesting process were considered to obtain a defined amount of feedstock under two systems based on the type of nitrogen fertilizer used: calcium ammonium nitrate (CAN) (67.5 kg N/ha) and urea (115 kg N/ha). GHG emissions were

Fecha de  
recepción:  
27/09/2024

Fecha de  
aceptación:  
11/06/2025

estimated using Cool Farm Tool (version 2.0). Total emissions per unit area were 1628 kg CO<sub>2</sub>e/ha when using CAN, while using urea resulted in 2346 kg CO<sub>2</sub>e/ha. GHG emissions expressed in relation to the sugar cane production obtained when using CAN were 24.08 kg CO<sub>2</sub>e/t cane and 35.26 kg CO<sub>2</sub>e/t cane when using urea. The emissions associated with harvest residues collection for potential use were estimated at 83.5 kg CO<sub>2</sub>e/ha in both systems. The results indicate a reduction in the estimated GHG emissions associated with the use of an alternative fertilizer as CAN. This practice combines benefits from its production stage and field use, as well as agronomic and operational advantages during its application stage. The significance of emissions related to diesel use in agricultural operations is highlighted in both systems.

**Key words:** fertilizers, sustainability, biomass.

## INTRODUCCIÓN

Según el informe más reciente del Joint Research Centre (JRC) - European Commission (2024), las emisiones globales de gases de efecto invernadero alcanzaron un récord de 53,0 Gt CO<sub>2</sub>e en 2023, con el sector agrícola y uso del suelo representando una fracción muy relevante de estas (Crippa *et al.*, 2024). Al analizar las tendencias de emisiones antropogénicas netas de gases de efecto invernadero (GEI), responsables del calentamiento global, se observa que han aumentado desde 2010 en todos los sectores principales a nivel mundial. Según los informes más recientes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Pörtner *et al.*, 2022), las principales actividades que emiten GEI son, en valores aproximados, las siguientes:

- 34% (20 Gt CO<sub>2</sub>-eq) del total de emisiones antropogénicas netas de GEI provenientes del sector de suministro de energía
- 24% (14 Gt CO<sub>2</sub>-eq) de la industria
- 22% (13 Gt CO<sub>2</sub>-eq) de la agricultura, la silvicultura y otros uso del suelo
- 15% (8,7 Gt CO<sub>2</sub>-eq) del transporte
- 6% (3,3 Gt CO<sub>2</sub>-eq) del sector de la construcción

Claramente se manifiestan la relevancia del sector relacionado con energía y actividades agrícolas y la oportunidad de realizar aportes efectivos para la mitigación de sus efectos. Además, está ampliamente documentada la estrecha vinculación de las economías con las fuentes de energía fósiles, situación agravada por aumentos en la población mundial y en la demanda de energía. Esto ha generado preocupación desde el sector político, económico y ambiental (Bilgili *et al.*, 2017).

Las contribuciones regionales a las emisiones globales de GEI mantienen notables diferencias entre ellas, con emisiones nacionales per cápita que reflejan en parte diferentes etapas de desarrollo (Pörtner *et al.*, 2022). Por ello es que se ha dado un mayor énfasis al cambio climático a nivel regional, evaluando riesgos, medidas de adaptación y toma de decisiones a nivel local. Sin embargo, es necesario aclarar que una de las principales debilidades de los inventarios nacionales es la escasa disponibilidad de datos regionales o específicos por cultivo, lo que limita la precisión de las políticas de mitigación sectoriales (Crippa *et al.*, 2024).

Actualmente, la biomasa es globalmente reconocida como una fuente de energía renovable fiable, la cual puede almacenarse y aportar beneficios como la protección del medio ambiente, la generación de nuevos puestos de trabajo, la integración de comunidades energéticamente vulnerables y la conversión de residuos en recursos. Gracias a las diversas condiciones agroecológicas y las ventajas competitivas de su agroindustria, Argentina es un gran productor de biomasa con potencial energético.

A nivel nacional, el reporte del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero atribuye al sector agrícola, ganadero y forestal el 39% de las emisiones informadas (MayDS, 2022). Además del indiscutible desafío que plantea el cambio climático y el calentamiento global, el sector agrícola enfrenta el de proveer alimentos a una población en aumento, garantizando su seguridad alimentaria.

La agroindustria sucro-alcoholera se caracteriza por ser capaz de producir alimentos, biocombustibles y derivados o subproductos factibles de ser aprovechados para la generación de energía renovable y otras aplicaciones.

En Argentina, el cultivo de la caña de azúcar se ubica en la región noroeste del país. Actualmente, esa producción se realiza en 23 ingenios azucareros activos, de los cuales 15 están ubicados en la provincia de Tucumán, donde la superficie sembrada con caña de azúcar es de casi 276.400 ha (Fandos *et al.*, 2021). Además, se produce etanol como co-producto en destilerías anexas a ingenios azucareros (no todas deshidratan), que utilizan mieles del proceso de fabricación de azúcar y a veces parte del jugo directo de la caña como materia prima. Esta industria es una de las principales actividades socio-económicas de Tucumán y generadora de empleo, especialmente en época de cosecha. La industria azucarera no es energéticamente autónoma, aunque tiene todas las posibilidades de serlo. Tradicionalmente, el bagazo (residuo fibroso obtenido después de la extracción del jugo) se utiliza como combustible en calderas de biomasa para la generación de vapor y energía eléctrica para el autoabastecimiento de la industria sucroalcoholera (Feijóo *et al.*, 2022).

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es uno de los cultivos energéticos más reconocidos, con un alto potencial para la producción de biomasa (40 – 150 t/ha MF). Una fracción de esta biomasa (porciones inmaduras del tallo y hojas de la planta), denominada RAC (resi-

duo agrícola de cosecha), no se utiliza para la producción de azúcar/alcohol y se deja en el campo durante la operación de cosecha. Localmente ha sido estimada en 151 kg de materia seca por tonelada de caña de azúcar molible (materia fresca) (Romero *et al.*, 2009).

Gracias al elevado porcentaje de adopción del manejo de caña sustentable, el 98,1% de la superficie de la provincia es cosechada en verde (Aybar Guchea, 2020). Esto implica que los cañaverales no son quemados previamente a la cosecha y el RAC generado durante la cosecha generalmente es mantenido sobre la superficie del suelo. Así, se logran beneficios como el reciclado de nutrientes, la reducción de riesgos de erosión de suelos, la conservación de humedad edáfica, mejoras en el control de malezas y un mayor desarrollo de microorganismos degradadores de materia orgánica y fijadores de nitrógeno, entre otros (Alonso *et al.*, 2005; Tortora *et al.*, 2013). Paralelamente, y considerando el creciente interés por las fuentes de energía renovables y su aprovechamiento en el mismo lugar donde se producen, estudios locales desarrollaron tecnologías para el manejo del RAC y su utilización, en diferentes proporciones, para la cogeneración o generación de energía en la industria local (Casen *et al.*, 2011; Golato *et al.*, 2017). Existen antecedentes locales de estudios de sustentabilidad para el sector sucro-alcoholero que investigaron emisiones de GEI pero sin contemplar la posibilidad de acondicionar el RAC para un potencial aprovechamiento energético (Chalco Vera, 2020; Acreche y Valeiro, 2013). Otros trabajos evaluaron los indicadores uso de energía y EROI para diferentes sistemas de manejo y alcances (Acreche y Valeiro, 2013; Tonatto *et al.*, 2019; Feijóo, 2022).

En la búsqueda de sistemas agrícolas sustentables, a nivel global se trabaja constantemente para favorecer la adopción de medidas conservacionistas. Sin embargo, en muchos casos se han encontrado resultados contradictorios o inciertos en relación con la sustentabilidad y la producción de los sistemas agrícolas al adoptar estas medidas, con una gran influencia de las condiciones ambientales locales y de manejo (Guo C. *et al.*, 2022). Esto pone en evidencia la necesidad de contar con datos detallados a nivel regional y por actividad específica, especialmente en sectores productivos como la caña de azúcar, donde aún existen brechas de información sobre prácticas agrícolas y su impacto ambiental para tomar decisiones sobre la sustentabilidad agrícola y lograr resultados ecológicos positivos.

El objetivo del presente trabajo es estimar las emisiones de GEI en la producción del cultivo de caña de azúcar en las condiciones agroecológicas de una localidad de la provincia de Tucumán, mediante el empleo de diferentes fertilizantes nitrogenados y teniendo en cuenta la recolección del RAC para un potencial uso bioenergético en un ingenio azucarero.

## ■ MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio plantea un modelo teórico basado en un ensayo de fertilización realizado en una plantación ubicada en la localidad de Acherai (Tucumán, Argentina) que corresponde a un ciclo de cultivo de 12 meses (período 2020/2021) y a ensayos de prácticas de

enfardado de RAC realizados en diferentes localidades de la provincia (Feijóo *et al.*, 2022). Se incluyen las labores culturales, el consumo de combustible diésel, la aplicación de agroquímicos y la labor de cosecha para obtener una cantidad definida de materia prima: 64,15 t de caña/ha (materia fresca) y 9,7 t RAC/ha (materia seca) (Figura 1). El análisis incluye las actividades en el campo, así como la procedencia de los fertilizantes empleados, la distancia recorrida desde la planta de elaboración hasta el sitio de uso final y el tipo de transporte.

La unidad de referencia para la comparación de los sistemas bajo estudio es la producción de 1 ha implantada con el cultivo de caña de azúcar.

A fin de mantener los beneficios ambientales y edáficos que la conservación de RAC sobre la superficie del suelo ofrece, se consideró la recuperación del 50% de la biomasa residual en 4,85 t RAC/ha (materia seca), y las correspondientes tareas realizadas en el campo: i- hilerado de biomasa; ii- enfardado prismático; y iii- carga y movimiento interno de los fardos. La dimensión de los fardos prismáticos producidos fue de 0,80 x 0,90 x 2,10 metros con una densidad de 170 a 210 kg/m<sup>3</sup>.

Queda excluido del análisis el transporte de la materia prima obtenida al ingenio, debido a la diversidad de plantas industriales disponibles y la variabilidad en la distancia a recorrer en cada caso, así como el proceso de aprovechamiento bioenergético en industria.

Al ser la caña de azúcar un cultivo semi-perenne (caña planta + 4 socas), se consideró para el período mencionado la fracción de insumos correspondiente utilizada en la plantación del cultivo. Se analizaron dos sistemas según el tipo de fertilizante nitrogenado empleado:

- **Sistema 1:** nitrato de amonio calcáreo (CAN) a razón de 67,5 kg N/ha.

- **Sistema 2:** urea a razón de 115 kg N/ha.

Cabe destacar que, si bien las dosis en términos de unidades de nitrógeno difieren, permiten obtener resultados agronómicos equivalentes, según lo reportado por Leggio Neme *et al.* (2018) en una serie de ensayos realizados localmente. Esto se basa en una serie de ventajas que ofrece el CAN, entre ellas formas químicas de rápida disponibilidad para el cultivo, menores pérdidas por volatilización y por ende una mayor eficiencia agronómica.

Esta última opción corresponde a un manejo agronómico tradicional a nivel local y es un caso teórico para este estudio que se realizó con el fin de comparar el desempeño de estos dos sistemas de manejo. No se consideraron otras fuentes de nutrientes para el cultivo.

Respecto del método de aplicación de los fertilizantes, al emplear urea como fuente de N, esta debe ser incorporada en el suelo, por lo que conlleva el uso de equipos con mayor requerimiento de potencia y menor capacidad de trabajo (163 HP y 1,3 ha/h). Al emplear nitrato de amonio calcáreo como fuente de N, es factible la aplicación en superficie empleando abonadoras neumáticas con un menor requerimiento de potencia y mayor capacidad de trabajo (92 HP y 4 a 6,5 ha/h).

Respecto del frente de cosecha, el mismo incluye una máquina cosechadora integral y dos tractores para la movilización de carros autovolcables.

A fin de estimar las emisiones de GEI, se empleó una herramienta de amplia aplicación a nivel internacional

## Sistema de cultivo y aprovechamiento bioenergético Caña de azúcar

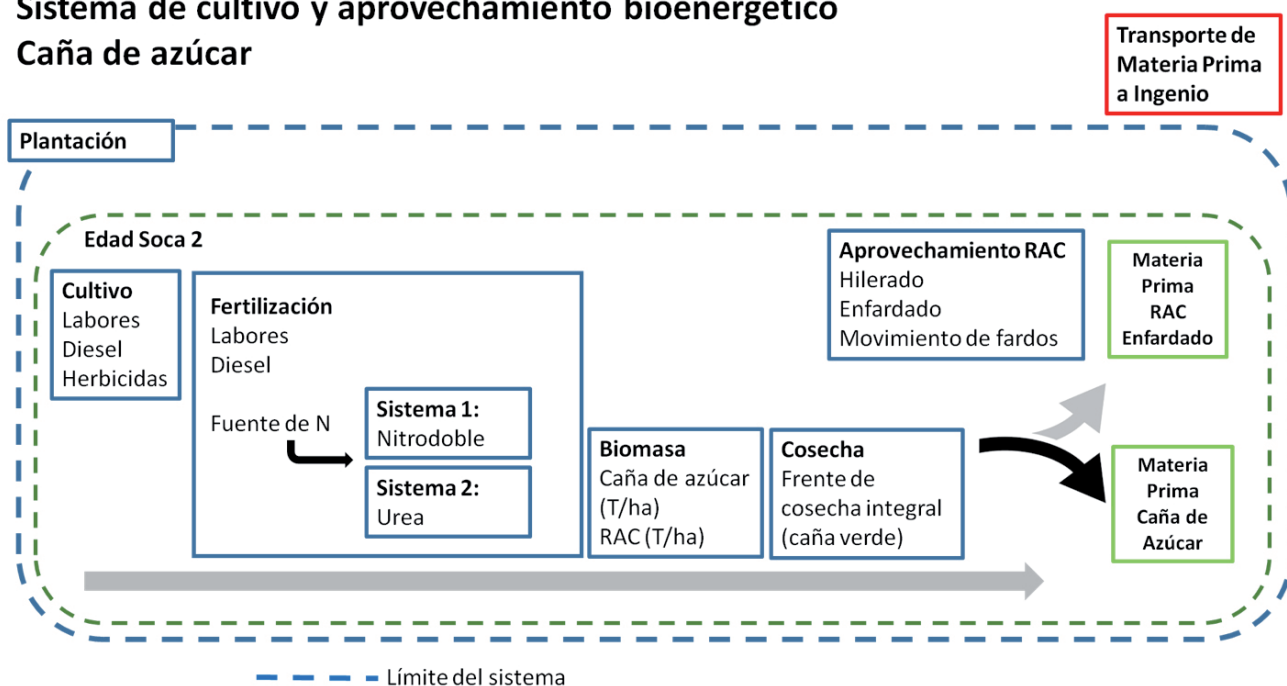


Figura 1. Límite de los sistemas considerados para el cultivo de caña de azúcar: sistema 1 (empleando nitrato de amonio calcáreo) y sistema 2 (empleando urea).

denominada Cool Farm Tool (versión 2.0) a través de una plataforma en línea (Cool Farm Alliance, 2023). En ella se consideran las características climatológicas del sitio, los insumos de producción y otras prácticas de gestión en campo, con las cargas ambientales asociadas a los sistemas de producción. Si bien esta herramienta no sigue una norma en particular, está alineada con diversos estándares y protocolos (IPCC principalmente) para la estimación de GEI.

Dicha herramienta es ampliamente utilizada en diversos cultivos, con antecedentes en caña de azúcar a nivel de estudios sectoriales como Huella de Carbono y Huella de Agua en Mauricio (Sachse and Kowalewski, 2021), y emisiones de GEI en grupos de productores de India (Adeel *et al.*, 2025).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las emisiones totales por unidad de superficie fueron 1628 kg CO<sub>2</sub>e/ha al emplear CAN, mientras que al emplear urea resultaron en 2346 kg CO<sub>2</sub>e/ha. Las emisiones de GEI expresadas en relación a la producción de caña de azúcar obtenida al emplear CAN fueron 24,08 kg CO<sub>2</sub>e/t caña y 35,26 kg CO<sub>2</sub>e/t caña al emplear urea.

La Figura 2 muestra las principales contribuciones a las emisiones de GEI del cultivo de caña de azúcar empleando dichos fertilizantes.

Se destaca un efecto favorable al usar CAN como fuente de N, ya que las emisiones originadas en el suelo por el uso de fertilizantes se reducen en 53,7% respecto de la urea. Esta diferencia estaría relacionada al mayor uso

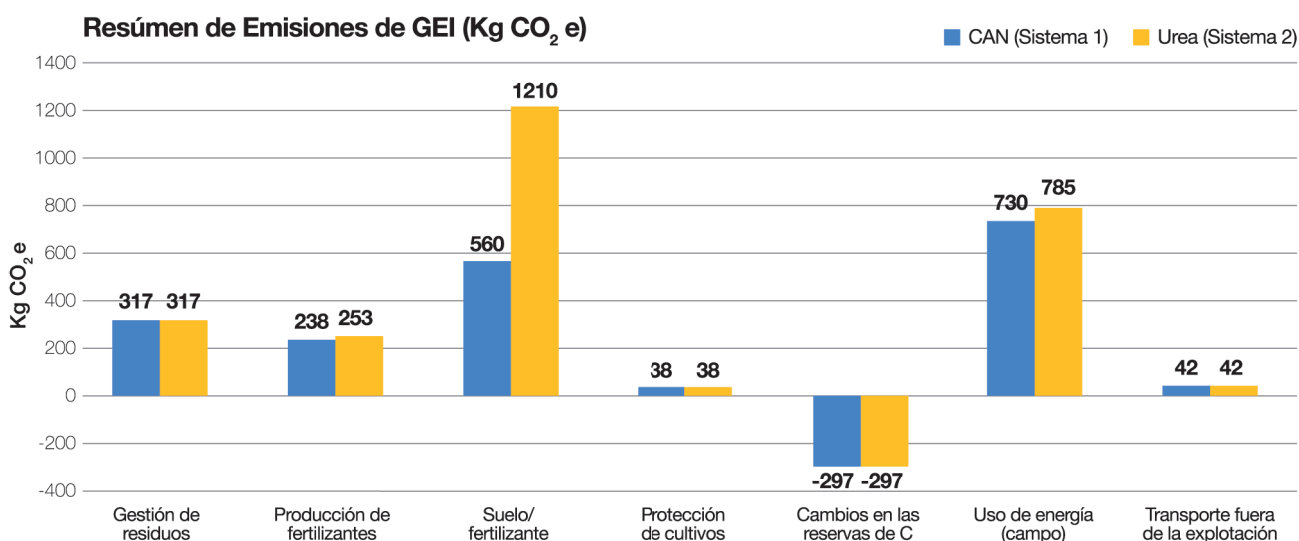


Figura 2. Emisiones totales de GEI por hectárea para los distintos procesos que intervienen en el cultivo de caña de azúcar.

de nutrientes, eficiencia agronómica y baja volatilización asociados a dicho producto (Leggio Neme, 2018).

Al considerar las labores correspondientes al acondicionamiento del RAC para su potencial aprovechamiento, las emisiones estimadas fueron de 83,5 kg CO<sub>2</sub>e/ha en ambos sistemas.

Se evidencia un efecto positivo de los sistemas de manejo al capturar C en el suelo como resultado de su contenido original de materia orgánica (MO 2,36%), al cambio en el sistema de labranza registrado en los últimos 10 años (labranza convencional a labranza reducida) y al aporte de RAC conservado en el suelo. Se estimó un valor de 296 kg CO<sub>2</sub>e/ha capturados por cada uno de los sistemas estudiados (representado por Cambios en las Reservas de Carbono en la Figura 2).

Las emisiones correspondientes al manejo de RAC en campo se estimaron en 317 kg CO<sub>2</sub>e/ha (representado por Gestión de Residuos en la Figura 2), relacionados al aporte de residuos agrícola de cosecha y su conservación en la superficie del suelo, su contenido de N y proceso de mineralización.

Los autores Acreche y Valeiro (2013) analizaron dos sistemas tecnológicos aplicados: bajo/medio (rendimiento cultural medio de 60 t/ha, cosecha manual y mecanizada) y medio/alto (rendimiento cultural medio de 68 t/ha y cosecha mecanizada) en Argentina. En dicho estudio se estimaron 1824 y 2231 kg CO<sub>2</sub>e/ha/año, correspondientes a 30,4 kg CO<sub>2</sub>e/t caña y 32,8 kg CO<sub>2</sub>e/t caña para el sistema bajo/medio y medio/alto, respectivamente. Por su parte Macedo *et al.* (2008) estimó las emisiones de GEI para la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar en Brasil con valores de 35,5 kg CO<sub>2</sub>e/t caña y proyecciones de 29,6 kg CO<sub>2</sub>e/t caña en 2020 durante la etapa agrícola. Resultados similares fueron reportados por De Figueiredo (2011) en Brasil.

Las emisiones correspondientes al empleo de los fertilizantes están influenciadas por condiciones ambientales y edáficas, la composición y la dosis del fertilizante empleado, así como por las prácticas de fertilización. Por ello, es posible encontrar reportes internacionales con resultados contrastantes (Rahman *et al.*, 2021; Harty *et al.*, 2016).

Cabe destacar que los reportes citados presentan algunas diferencias referidas a los sistemas estudiados que comprenden el uso exclusivo de urea y de fertilizantes con P, por ejemplo. Además, estos reportes se basaron en estudios complejos que implicaron un relevamiento exhaustivo en cada etapa de la actividad considerada y un relevamiento a escala regional.

En la Figura 3 se presenta el porcentaje de emisiones correspondiente a las labores agrícolas y el consumo de combustible diésel asociado.

Se destaca claramente el rol preponderante de la cosecha mecanizada en verde debido al elevado consumo de diésel (1,8 – 2 lt diésel/t caña cosechada para el frente de cosecha completo), representando entre 56,3% y 60,3% del total de emisiones por consumo de combustible diésel en el caso del sistema 1 y en el caso del sistema 2, respectivamente.

Sin embargo, resulta interesante destacar la diferencia en aporte de emisiones según el tipo de fertilizante usado:

- **En el Sistema 1:** al emplear CAN, la participación porcentual es 0,8% respecto del total originado por el uso de combustible. Dicho valor favorable se basa en la capacidad de trabajo de los equipos de fertilización neumáticos (abarcando múltiples surcos de cultivo por cada paso de maquinaria) con una baja demanda de potencia.
- **En el Sistema 2:** al emplear urea, la participación es de 7,8%, valor asociado a una aplicación de producto incorporado en el suelo con una menor capacidad de trabajo y mayor demanda de potencia.

## CONCLUSIONES

Los resultados manifiestan una disminución en la estimación de emisiones de GEI asociados al uso de una práctica de fertilización alternativa empleando CAN como fuente de nitrógeno. Se combinan beneficios propios de su etapa de producción y uso en campo, ventajas agronómicas que permiten el uso de menos unidades de N y operativas durante su etapa de aplicación. Además, se observa la relevancia que adquiere en ambos sistemas

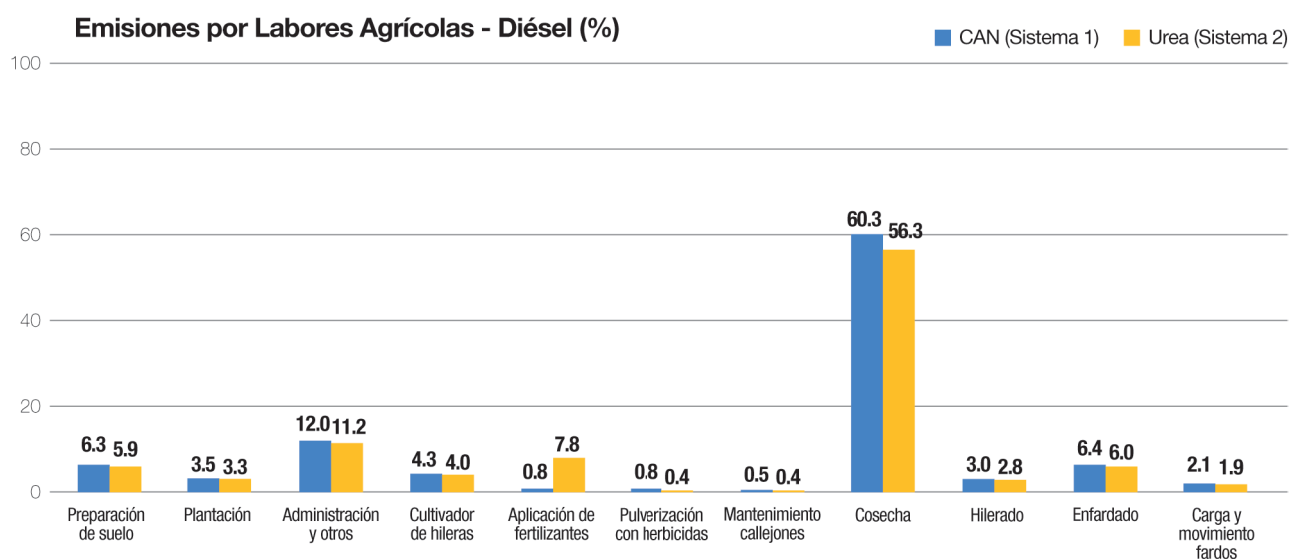


Figura 3. Porcentaje de emisiones de GEI correspondientes a las labores agrícolas y su consumo de combustible diésel asociado.



el uso de energía a través del combustible diésel, lo que hace necesario un adecuado dimensionamiento del parque de maquinaria, así como el control constante y la optimización de las operaciones agrícolas.

La herramienta CFT presenta ciertas limitaciones para el ajuste del análisis, pero se destaca su facilidad de empleo para el sector agrícola en general, siendo un recurso de fácil acceso y con información adecuadamente organizada para su análisis. Si bien los resultados no reemplazan un estudio más amplio como es un análisis de ciclo de vida, esta aplicación de la herramienta ofrece resultados útiles para la optimización de prácticas agrícolas. Además, resulta interesante plantear su empleo de manera previa a la realización de operaciones para poder realizar ajustes bajo un enfoque de sustentabilidad.

A fin de contribuir al mejor ajuste de los resultados obtenidos por modelos, queda manifiesta la necesidad de obtener datos locales de series de tiempo prolongadas.

El presente trabajo se desarrolló en el marco de un convenio de I+D+i entre Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres y YARA Argentina.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Acreche, Martín M. & Valeiro, Alejandro H., 2013.** "Greenhouse gases emissions and energy balances of a non-vertically integrated sugar and ethanol supply chain: A case study in Argentina," *Energy*, Elsevier. 54(C): 146-154. DOI: 10.1016/j.energy.2012.12.046
- Adeel, A.; P. Smith; S. H. Vetter; S. S. Otari & A. S. Jadhav 2025.** Assessing greenhouse gas emissions and energy consumption from 15 sugar cane farms in Karvir taluka, India using the cool farm tool. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. <https://doi.org/10.1002/ep.14612>
- Aybar Guchea, M.; S. Ostengo; M. A. Espinosa; P. Medina; J. Díaz; E. Chavanne; D. Costilla y M. I. Cuenya. 2020.** Reporte Agroindustrial 195. ISSN 2346-9102.
- Alonso, J.; E. Romero y J. Scandaliaris. 2005.** Cosecha en verde de la caña de azúcar y aprovechamiento de sus residuos. *Avance Agroind.* 26 (2): 22-28.
- Bilgili, F.; E. Koçak; U. Bulut and S. Kuşkaya. 2017.** Can biomass energy be an efficient policy tool for sustainable development?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 71: 830-845. ISSN 1364-0321.
- Casen, S. D.; E. R. Romero; J. Fernández de Ullivarri; P. Fernández González; A. Sánchez Ducca; D. Pérez; F. Soria; P. Digonzelli; L. Alonso y D. Duarte. 2011.** RAC potencialmente disponible en el área cañera de Tucumán y alternativas de enfardado. En: *Resúmenes de la Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar*, 17, Orán, Salta, R. Argentina, pp. 179-183.
- Chalco Vera, J.; Acreche, M. M.. 2020.** Emisiones provinciales de gases con efecto invernadero del sistema suelo-caña de azúcar de Tucumán. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 46(3): 339-346.
- Cool Farm Alliance. 2023.** Cool Farm Tool - Technical

Method Description - version CFT 2.0. Tool and description available at <https://coolfarmtool.org/>

- Crippa, M.; D. Guizzardi; F. Pagani; M. Muntean; E. Schaaf; E. Solazzo; ... & E. Vignati. 2024.** GHG emissions of all world countries (2023 report). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/4002897>
- De Figueiredo, E. and N. La Scala. 2011.** Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141 (1-2): 77-85, ISSN 0167-8809. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.014>.
- European Commission, Joint Research Centre, Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Monforti-Ferrario, F., Becker, W.E., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., Manca, G., Pisoni, E., Vignati, E. and Pekar, F.. 2024.** GHG emissions of all world countries, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/4002897>, JRC138862.
- Fandos, C.; P. Scandaliaris; J. Carreras Baldrés y F. Soria. 2021.** Dinámica de la cosecha de caña de azúcar en Tucumán, zafra 2021. 2021. Reporte Agroindustrial 229. ISSN 2346-9102.
- Feijóo, E. A.; R. A. Salazar; L. P. Garolera De Nucci; M. J. Tonatto y R. M. Ruiz. 2022.** Determinación de la tasa de retorno energética del RAC enfardado con fines energéticos en Tucumán. *Memorias de la XXII REUNIÓN TÉCNICA SATCA 2022*. 28 y 29 de noviembre de 2022.
- Golato, M.; E. Feijóo; F. Franck Colombres; D. Paz y G. Cárdenas. 2017.** Estudio preliminar del aprovechamiento de los residuos agrícolas de cosecha de la caña de azúcar como combustible adicional para calderas bagaceras de Tucumán (Argentina). *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 94 (2): 21-31. Recuperado en 14 de julio de 2023, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-30182017000200003&Ing=es&Ing=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182017000200003&Ing=es&Ing=es).
- Guo, C.; X. Liu & X. He. 2022.** A global meta-analysis of crop yield and agricultural greenhouse gas emissions under nitrogen fertilizer application. *Science of The Total Environment* 831, 154982.
- M. A. Harty, P.J. Forrester, C.J. Watson, K.L. McGeough, R. Carolan, C. Elliot, D. Krol, R.J. Laughlin, K.G. Richards, G.J. Lanigan. 2016.** Reducing nitrous oxide emissions by changing N fertiliser use from calcium ammonium nitrate (CAN) to urea based formulations. *Science of The Total Environment*. 563-564:576-86. ISSN 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.120>.
- Leggio Neme, M. F.; L. G. Alonso; P. E. Fernández González; B. Luque; D. Quintana; V. Paredes y E. R. Romero. 2018.** Evaluación del nitrato de amonio calcáreo como fertilizante nitrogenado en caña de azúcar en Tucumán, Argentina. *Memorias del XI Congreso ATALAC - TECNICAÑA - 2018*. Cali, Colombia.
- Macedo I. C.; J. E. A. Seabra and J. E. A. R. Silva. 2008.**

- Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy* 32: 582-595.
- MAYDS. 2022.** Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero: Argentina 2021. ISBN 978-987-8959-10-8.
- Rahman, N.; K. Richards; M. Marty; C. J. Watson; R. Carolan; D. Krol; G. J. Lanigan and P. J. Forrester. 2021.** Differing effects of increasing calcium ammonium nitrate, urea and urea + NBPT fertiliser rates on nitrous oxide emission factors at six temperate grassland sites in Ireland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 313 ISSN 0167-8809. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107382>.
- Romero, Eduardo R.; J. Scandaliaris; P. A. Digonzelli; L. G. Alonso; F. Leggio; J. A. Giardina; S. D. Casen; M. J. Tonattoier & J. Fernández de Ullivarri. 2009.** Effect of variety and cane yield on sugarcane potential trash. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 86 (1): 9-13.
- Pörtner, H. O.; D. D. Roberts; H. Adams; C. Adler; P. Aldunce; E. Ali, E. & J. Birkmann 2022.** *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability.* IPCC Sixth Assessment Report.
- Sachse, I. and E. Kowalewski. 2021.** Carbon and water footprint assessment of the Mauritian sugar cane sector. <https://mauritiusugar.mu/wp-content/uploads/2021/06/Report-Carbon-and-water-footprint-assessment-of-the-Mauritian-sugar-cane-sector-1.pdf>
- Tonatto, J.; P. Garolera De Nucci; E. Romero y M. Ruiz. 2019.** Use of energy in sugarcane production in Tucumán, Argentina.. Argentina. San Miguel de Tucumán. XXX ISSCT Congress Tucumán - Argentina 2019.
- Tortora M. L.; L. Vera; N. Grellet Naval; J. Fernández de Ullivarri; P. A. Digonzelli y E. R. Romero. 2013.** Effect of sugar cane trash blanketing on the development of microorganisms of agronomic and environmental interest. *Rev. ind. agric. Tucumán* 90 (1): 61-68.