

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con el apoyo del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar de LAICA (DIECA-LAICA), presenta el boletín agroclimático para caña de azúcar.

En este se incorpora el análisis del tiempo, pronósticos, notas técnicas y recomendaciones con el objetivo de guiar al productor cañero hacia una agricultura climáticamente inteligente.

IMN

www.imn.ac.cr
2222-5616

Avenida 9 y Calle 17
Barrio Aranjuez,
Frente al costado Noroeste del
Hospital Calderón Guardia.
San José, Costa Rica

LAICA

www.laica.co.cr
2284-6000

Avenida 15 y calle 3
Barrio Tournón
San Francisco, Goicoechea
San José, Costa Rica

TENDENCIA SEMANAL PARA LAS REGIONES CAÑERAS EN JUNIO 2024

Se prevén que las altas temperaturas medias se mantengan a lo largo del mes de junio en gran parte de las regiones azucareras. El siguiente cuadro detalla semana a semana lo esperado para mayo en cada región productiva.

Región cañera	Semana: 3-9	Semana: 10-16	Semana: 17-23	Semana: 24-30
Guanacaste (Este y Oeste)	Lluvia normal Muy cálido Ventoso	Lluvioso Muy cálido Viento normal	Lluvioso Cálido (Este). Temperatura normal (Oeste) Viento normal	Lluvia normal Temperatura normal Viento normal
Puntarenas	Lluvia normal Muy cálido Ventoso	Lluvioso Cálido Viento normal	Lluvia normal Temperatura normal Viento normal	Lluvia normal Temperatura normal Viento normal
Región Sur	Lluvia normal Muy cálido Ventoso	Lluvia normal Muy cálido Viento normal	Lluvioso Cálido Viento normal	Lluvia normal Temperatura normal Viento normal
Región Norte	Lluvia normal Muy cálido Ventoso	Lluvia normal Muy cálido Viento normal	Lluvia normal Muy cálido Viento normal	Lluvia normal Cálido Viento normal
Valle Central (Este y Oeste)	Lluvia normal Muy cálido Viento normal	Lluvia normal Muy cálido Viento normal	Lluvioso Cálido Viento normal	Lluvia normal Cálido Viento normal
Turrialba (Alta y Baja)	Lluvia normal Muy cálido Viento normal	Lluvioso Muy cálido Viento normal	Lluvia normal Muy cálido Viento normal	Lluvioso Cálido Viento normal

“Tránsito de ondas tropicales: OT#8 para el 12 de junio, OT#9 para el 13-14 de junio y OT#10 para el 15-16 de junio. Sin presencia de polvo Sahariano en la primera quincena.”

CONDICIONES DEL MES PREVIO: MAYO 2024

Durante el mes de mayo la **Región Puntarenas** mostró el mayor acumulado de lluvia diaria, pero fue **Región Sur** quien presentó una mayor cantidad de días con lluvia superior a 50 mm. **Región Guanacaste Este** y **Región Norte** muestran las mayores amplitudes térmicas. **Región Guanacaste Oeste** registro vientos máximos de bastante regulares en el mes, por encima de 12 m/s. por debajo de 13 m/s. **Región Norte** fue la segunda en acumular más grados día; mientras **Región Turrialba** fue la que menor cantidad logro acumular; en tanto **Región Valle Central** y **Región Sur** prácticamente se igualan. Las figuras 1 a 7 muestran a detalle el comportamiento diario durante marzo, promediado por cada región productiva cañera del país, específicamente de aquellos elementos climáticos de interés para el sector cañero nacional. Donde las variables observadas son lluvia y ráfagas de viento también llamado viento máximo; mientras las demás son estimadas.

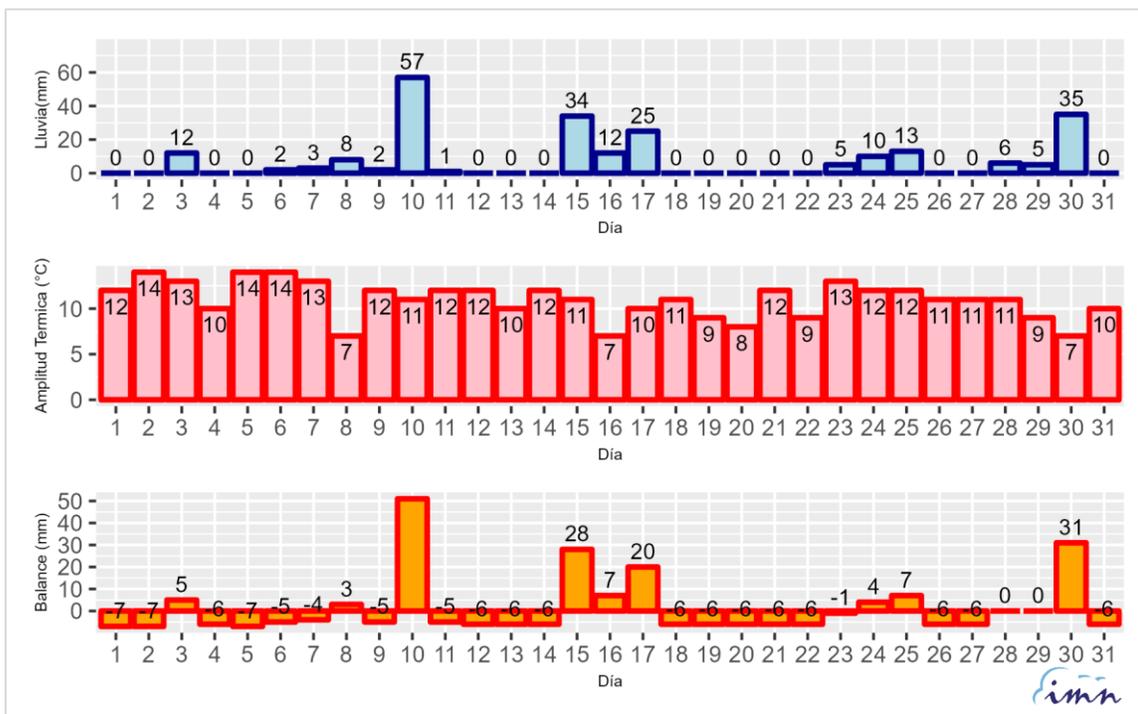


Figura 1.a. Promedio regional diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm) para mayo 2024 en la región cañera Guanacaste Este.

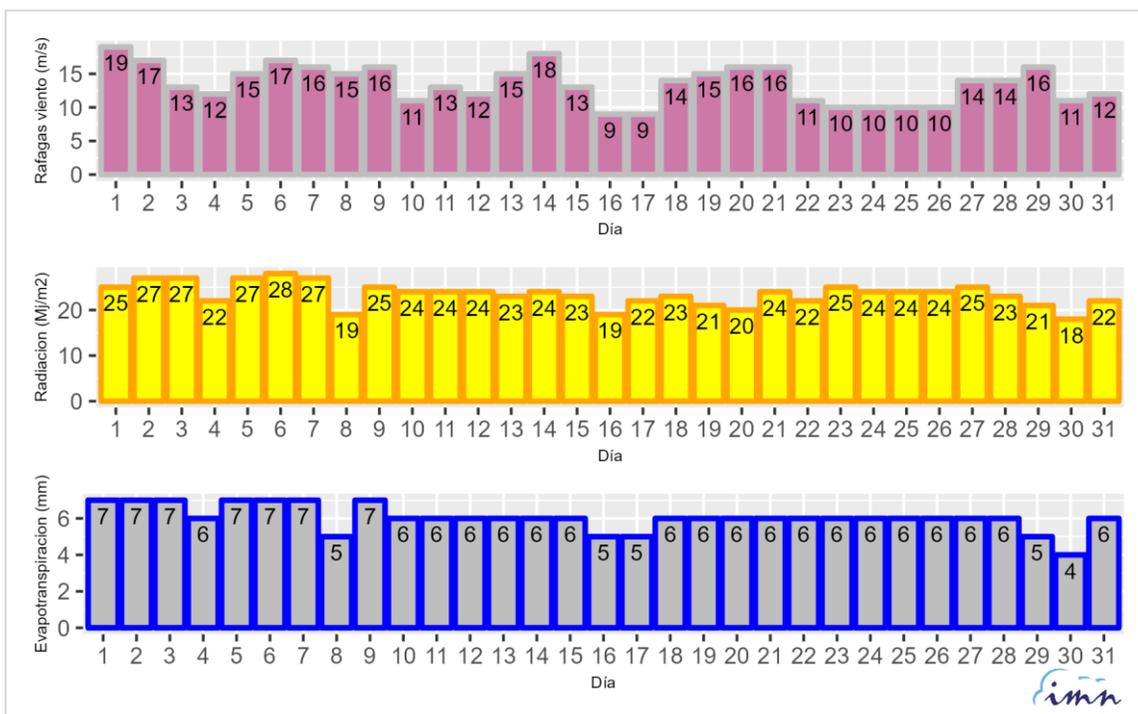


Figura 1.b. Promedio regional diario de viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m²) y evapotranspiración referencia (mm) para mayo 2024 en la región cañera Guanacaste Este.

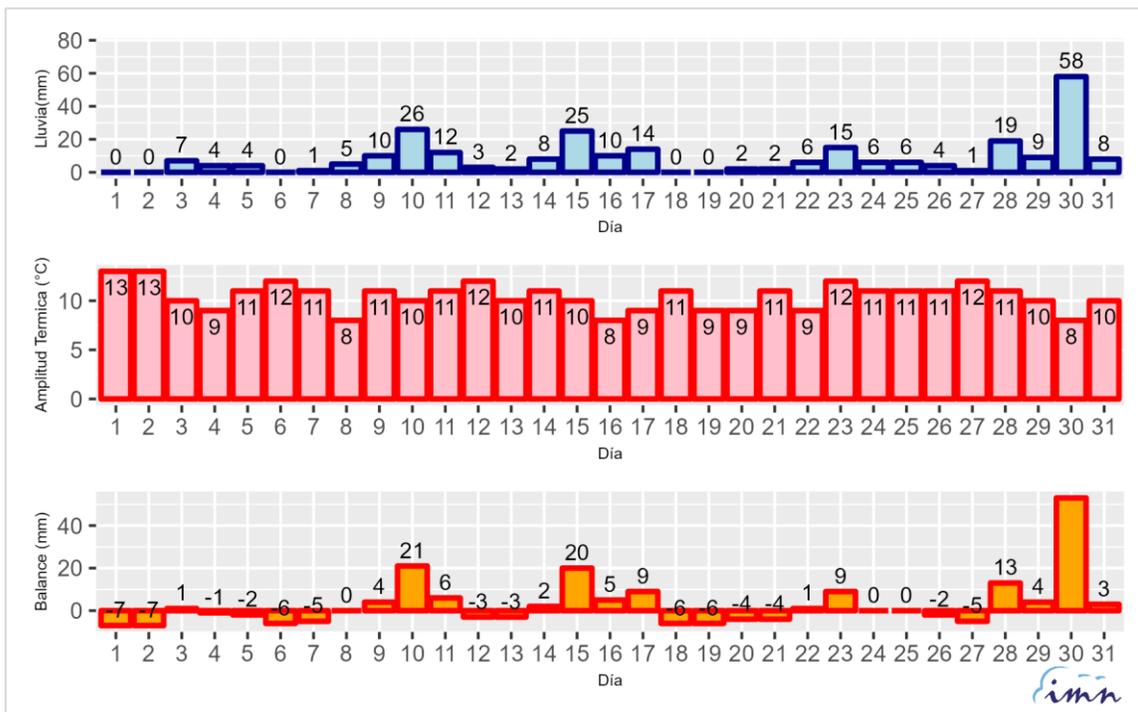


Figura 2.a. Promedio regional diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm) para mayo 2024 en la región cañera Guanacaste Oeste.

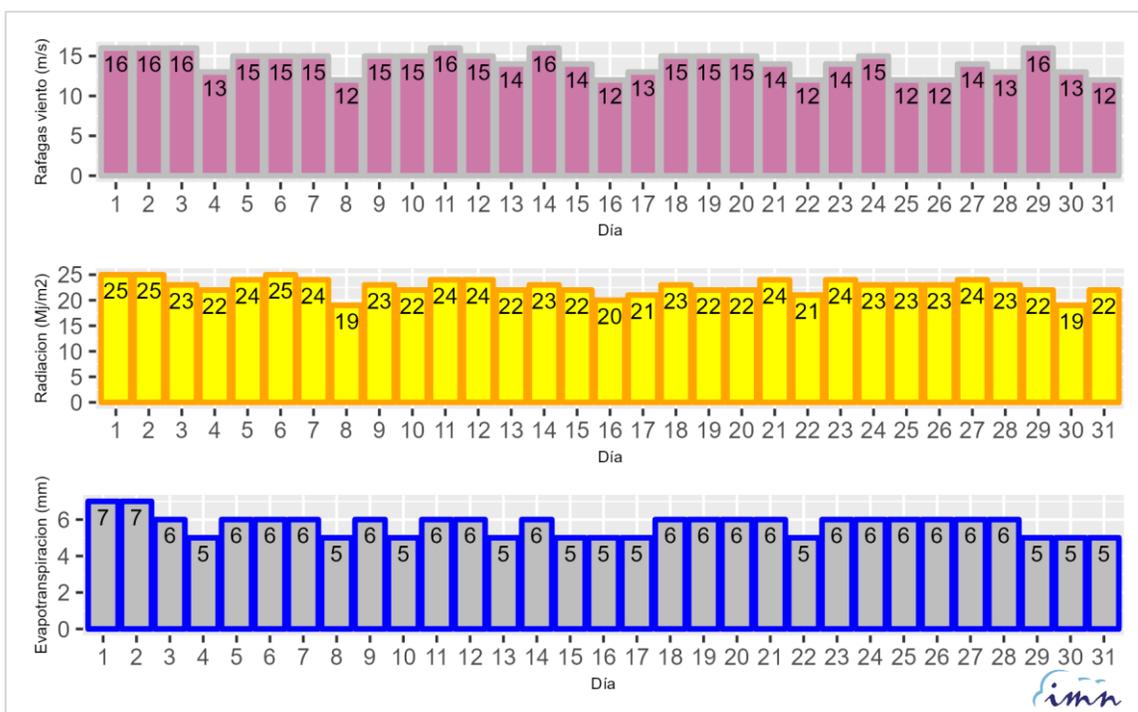


Figura 2.b. Promedio regional diario de viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m²) y evapotranspiración referencia (mm) para mayo 2024 en la región cañera Guanacaste Oeste.

Junio 2024 - Volumen 1 – Número 3

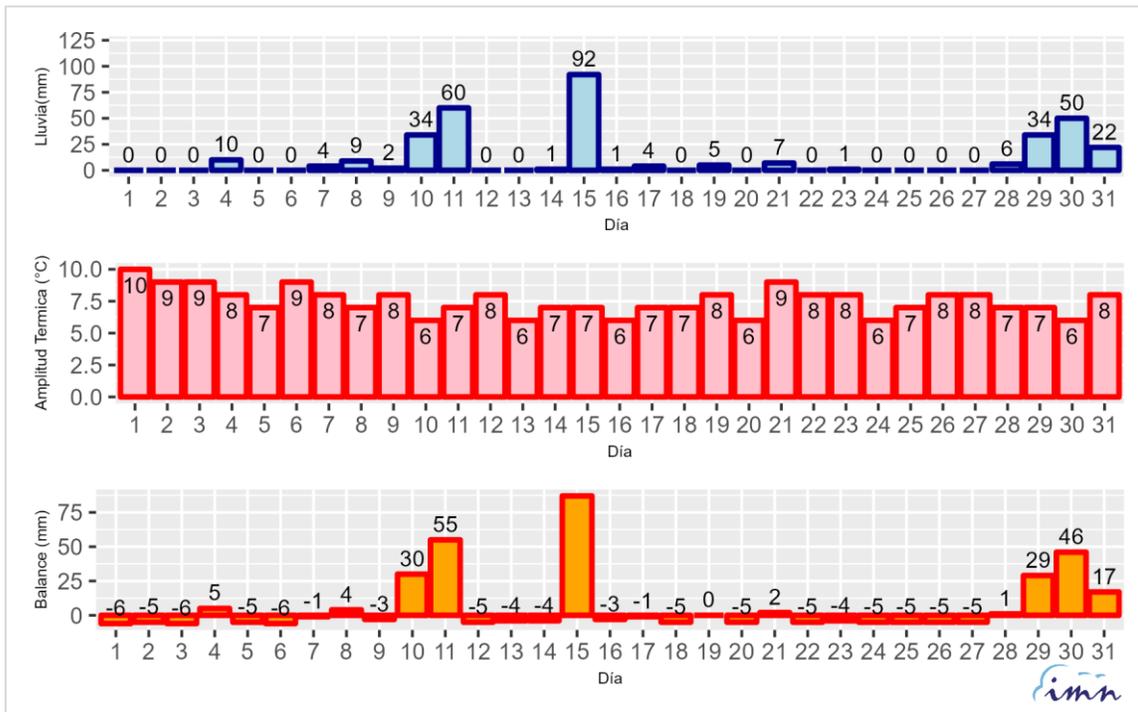


Figura 3.a. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm) para mayo 2024 en la región cañera Puntarenas.

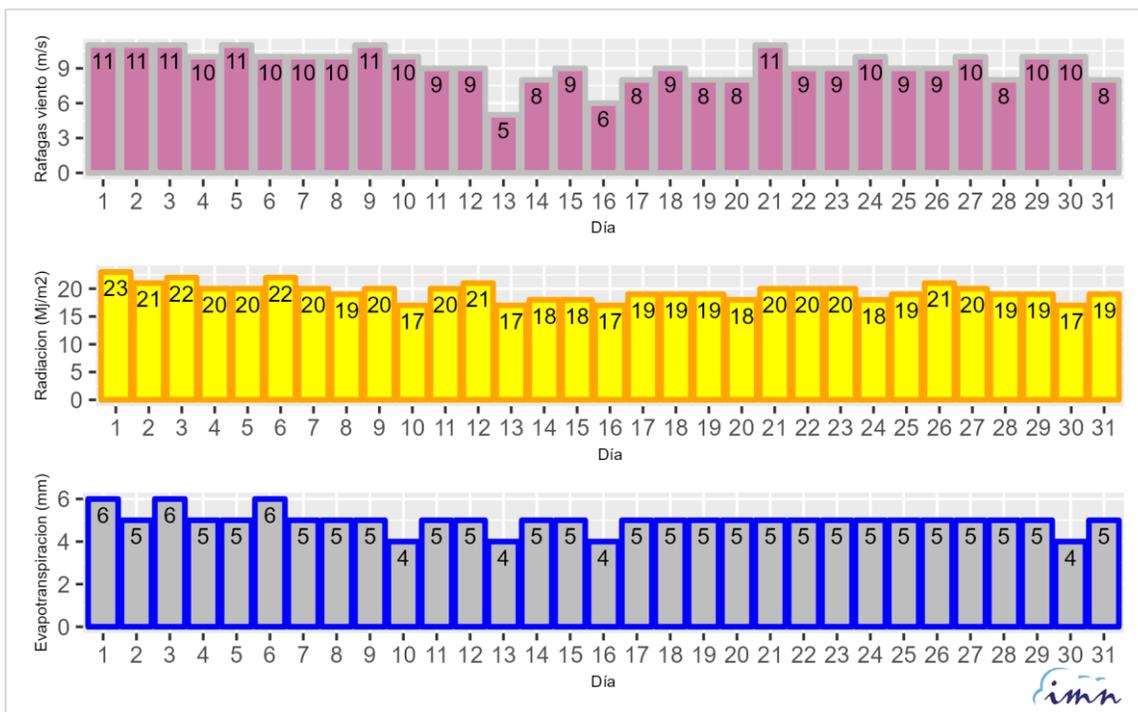


Figura 3.b. Promedio diario de viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m²) y evapotranspiración referencia (mm) para mayo 2024 en la región cañera Puntarenas.

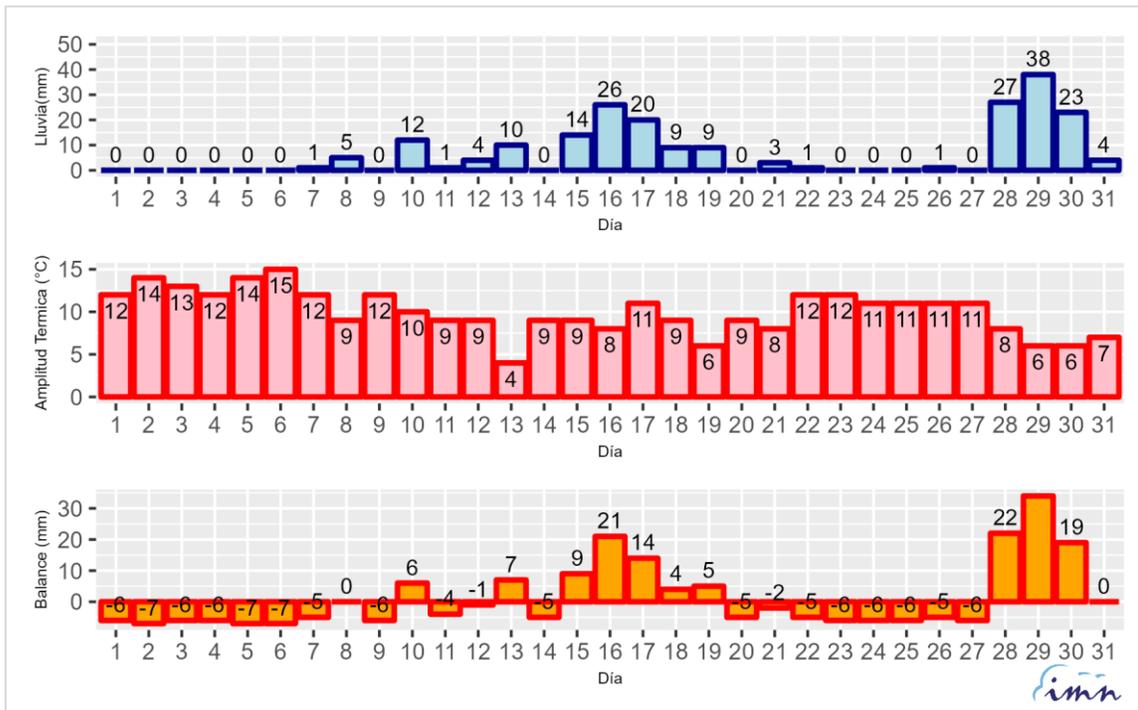


Figura 4.a. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm) para mayo 2024 en la región cañera **Región Norte**.

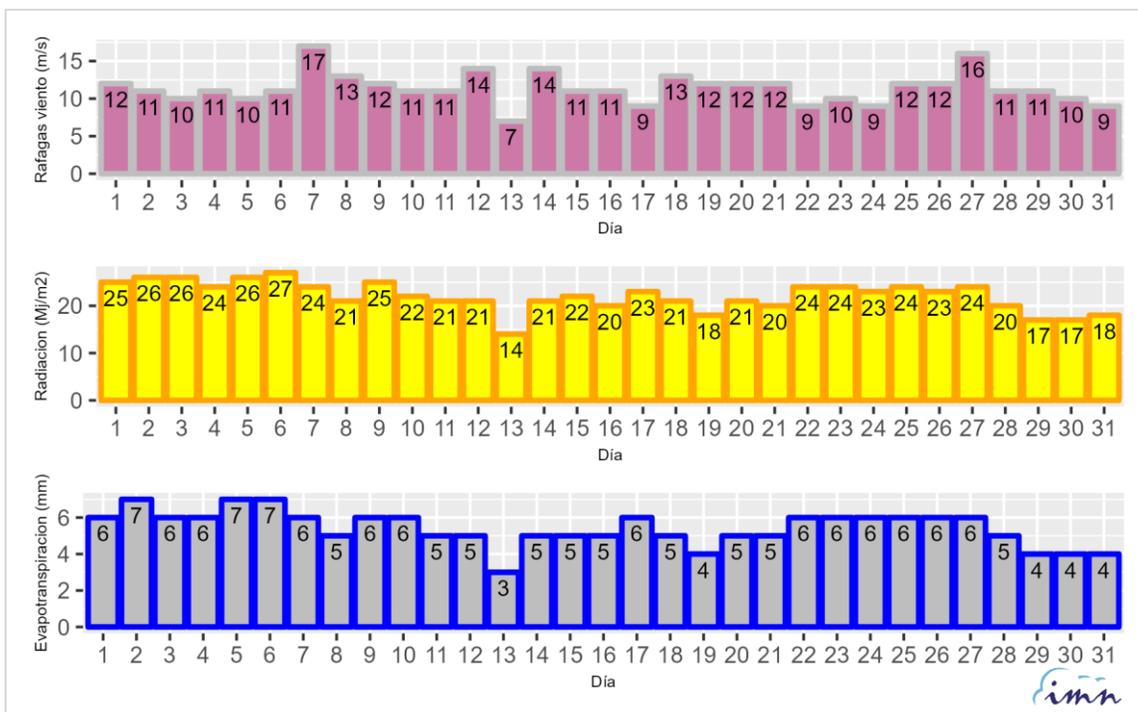


Figura 4.b. Promedio diario de viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m²) y evapotranspiración referencia (mm) para mayo 2024 en la región cañera **Región Norte**.

Junio 2024 - Volumen 1 – Número 3

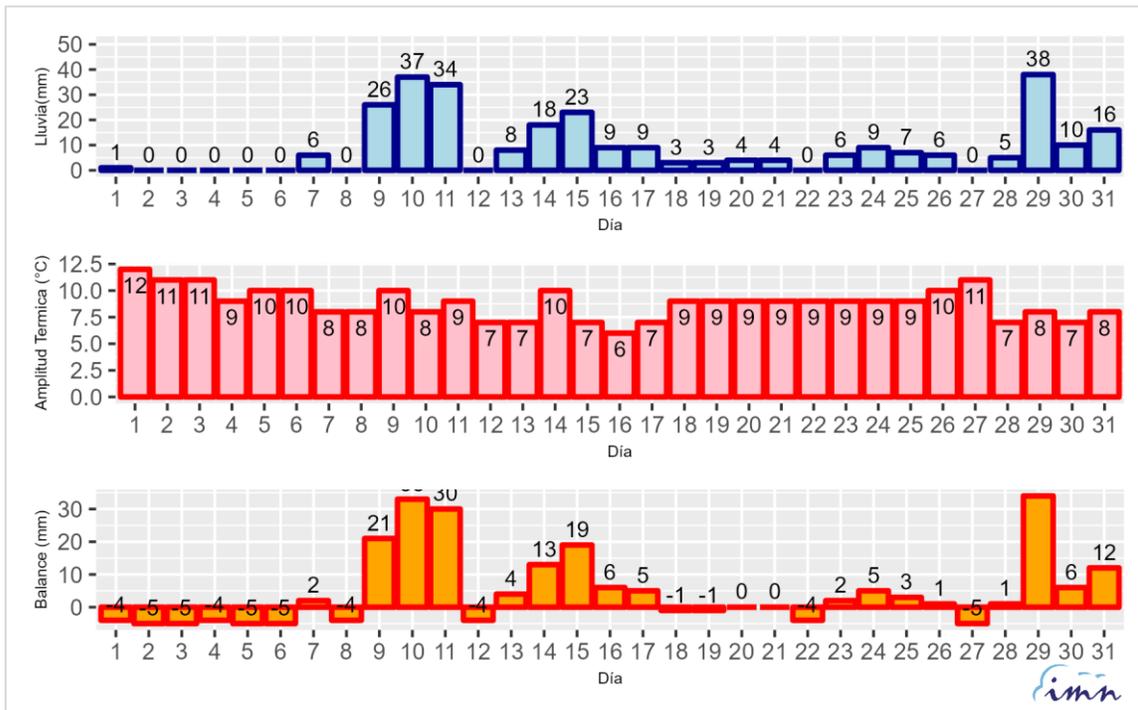


Figura 5.a. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm) para mayo 2024 en la región cañera Valle Central (Este y Oeste).

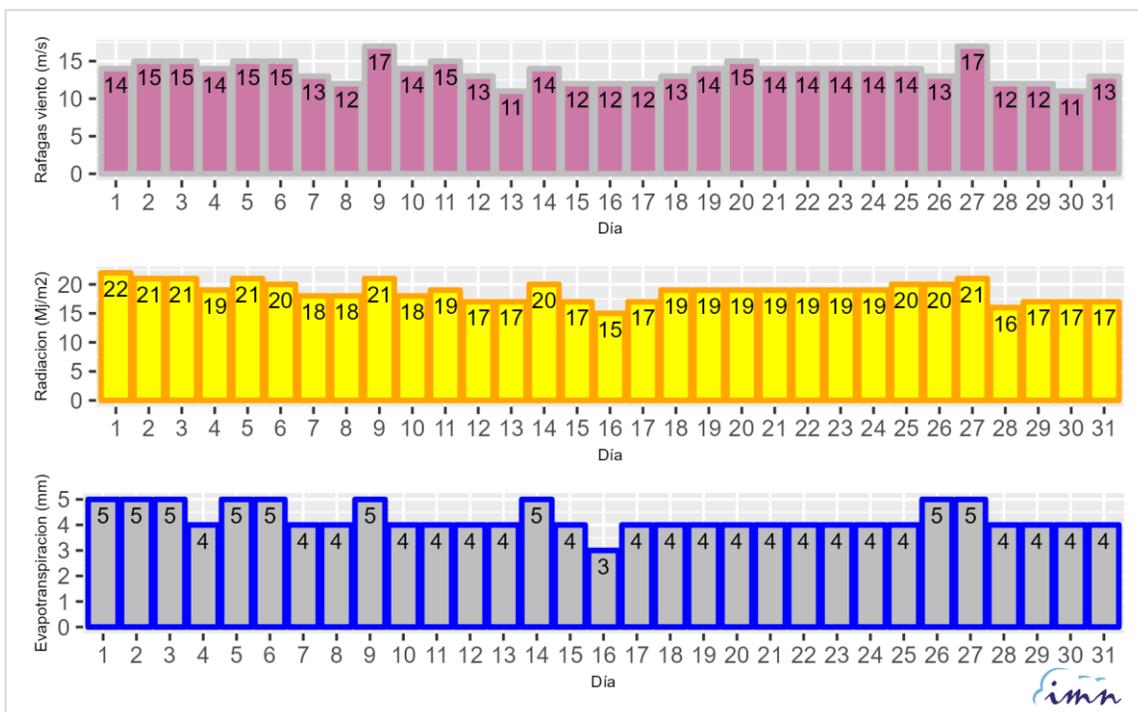


Figura 5.b. Promedio diario de viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m²) y evapotranspiración referencia (mm) para mayo 2024 en la región cañera Valle Central (Este y Oeste).

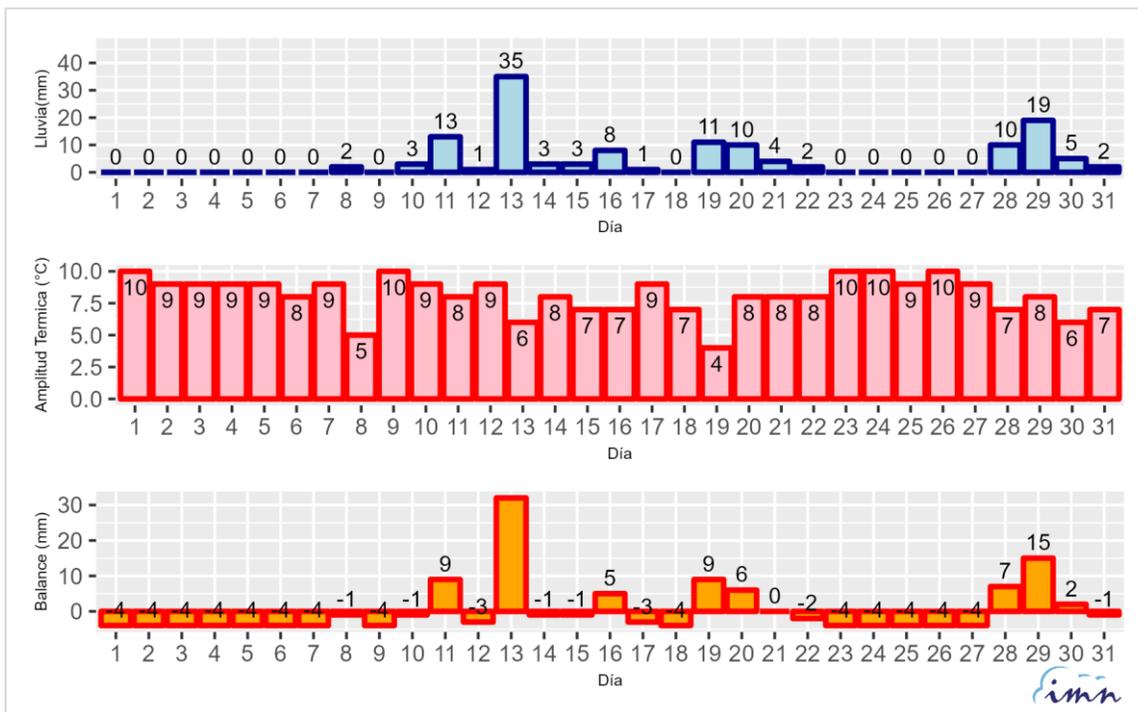


Figura 6. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm) para mayo 2024 en la región cañera Turrialba (Alta y Baja).

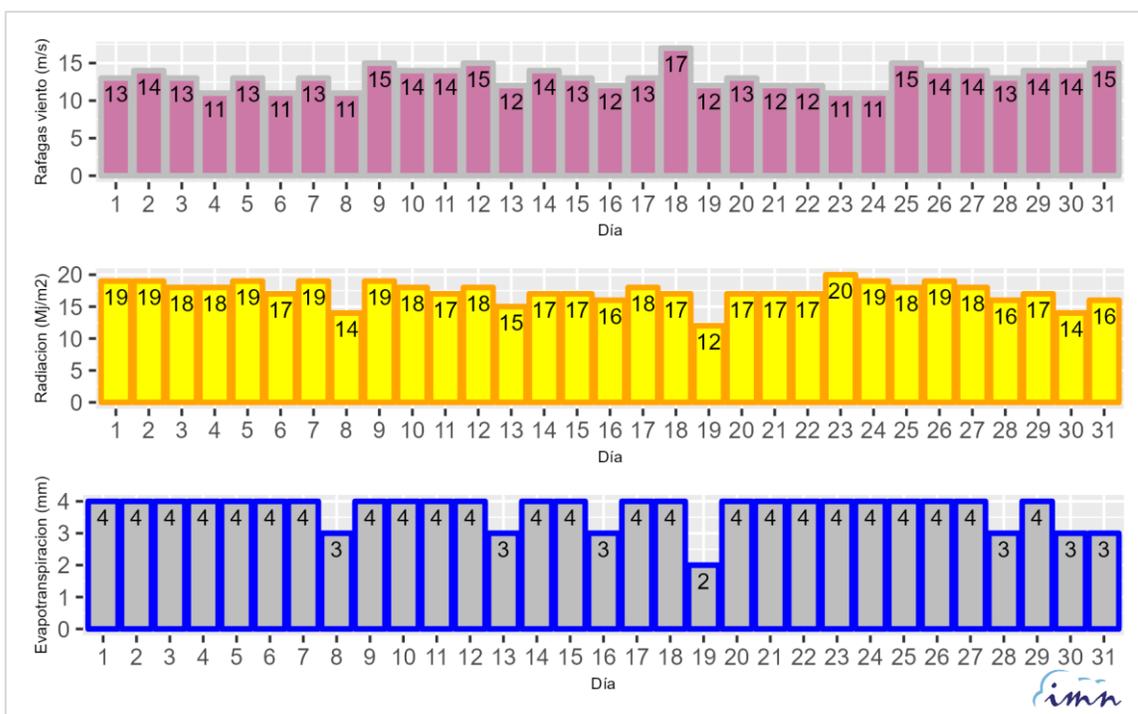


Figura 6. Promedio diario de viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m²) y evapotranspiración referencia (mm) para mayo 2024 en la región cañera Turrialba (Alta y Baja).

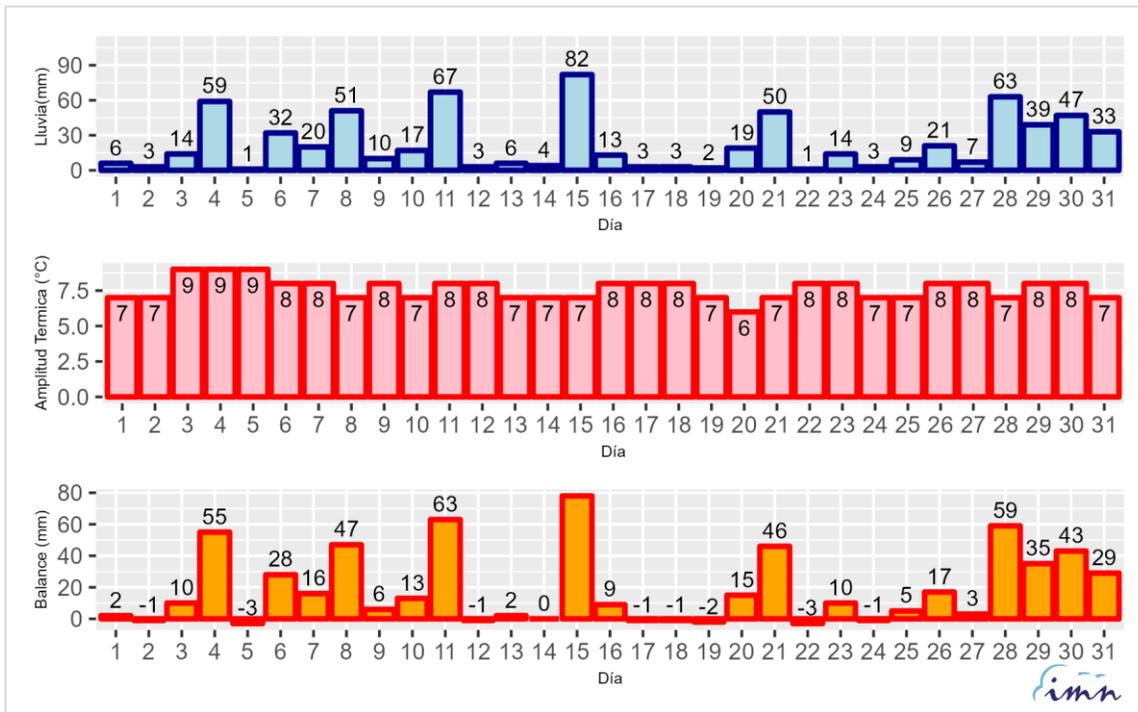


Figura 7.a. Promedio diario de precipitación (mm), amplitud térmica (°C), balance hídrico (mm) para mayo 2024 en la región cañera Región Sur.

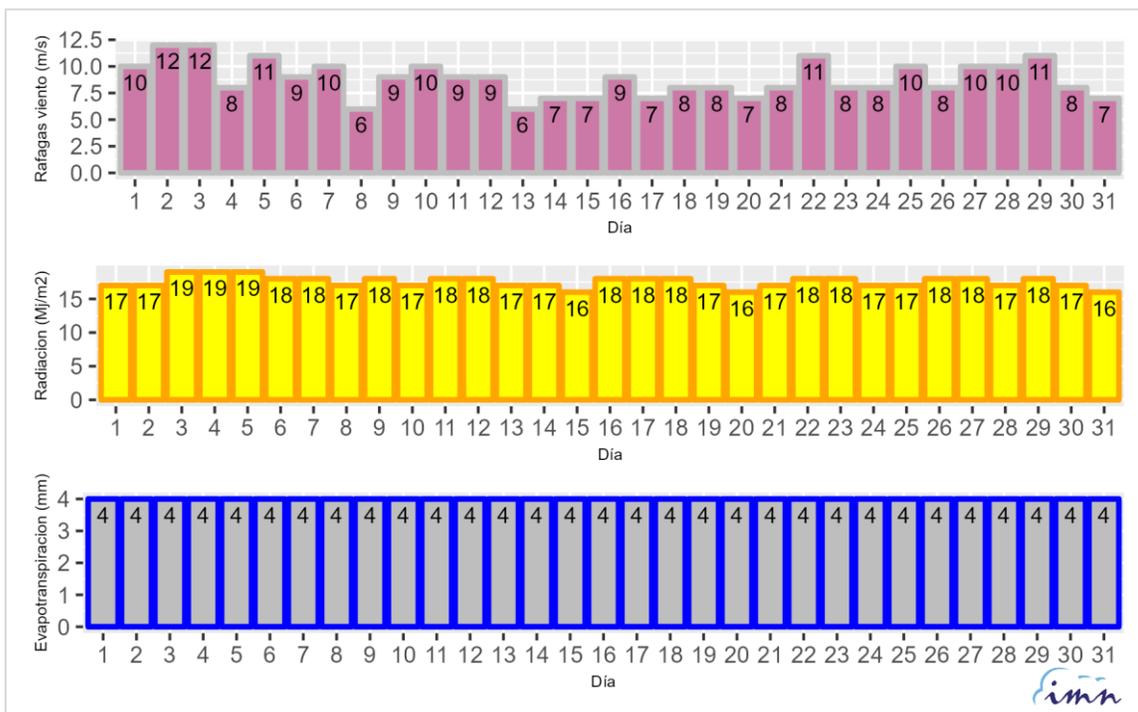


Figura 7.b. Promedio diario de viento máximo (m/s), radiación solar (MJ/m²) y evapotranspiración referencia (mm) para mayo 2024 en la región cañera Región Sur.

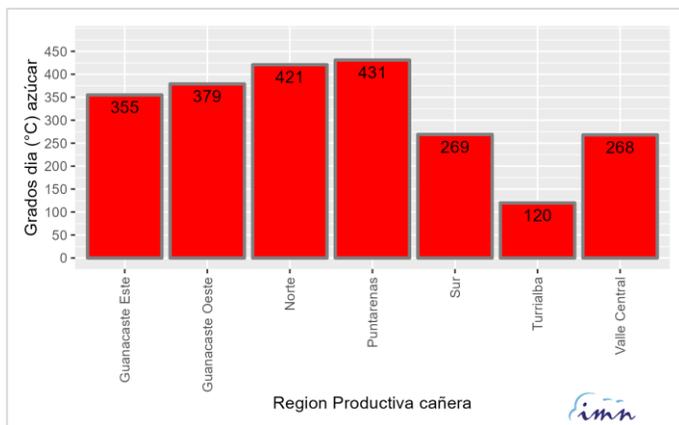


Figura 8. Grados día (°C) por región cañera para mayo 2024 en la región cañeras.

HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

De acuerdo con Central America Flash Flood Guidance System (CAFFG), el cual estima la humedad en los primeros 30 cm de suelo, durante la semana del 01 al 05 de mayo, se presentaron condiciones de baja humedad en la mayoría de los suelos de todas las regiones productoras (entre 0% a 30%), solamente la Región Sur tuvo entre 30-95%.

Del 06 al 12 de mayo, la Región Sur siguió teniendo condiciones de alta humedad (30%-95%), las regiones Guanacaste Oeste y Este, Valle Central mostraron entre 30% y 65% de saturación; las regiones Norte y Turrialba tuvieron entre 0% a 30%

En el periodo del 13 al 19 de mayo se mantuvieron las mismas condiciones que la semana anterior. Sin embargo, hacia el fin de semana la humedad en los suelos aumentó en todas las regiones productoras.

Para la semana del 20 al 26 de mayo, la Región Sur presentó entre 30% y 85% de humedad, mientras que en el resto de las regiones cañeras entre 30% y 65%. En los últimos días del mes, del 27 al 31 de mayo, se presentó baja humedad en la mayoría de las zonas productoras (0% a 30%) pero aumentó al finalizar el mes, en donde se llegó a tener entre 65% a 100% en la Región Sur y entre 30% a 90% en las demás regiones.

Como se observa en la figura 9, la Región Guanacaste Oeste está entre 45% y 90% de saturación mientras que la Región Guanacaste Este tiene entre 45% y 75%. La Región Puntarenas presenta entre 30% y 60% de humedad, la Región Norte está entre 30% y 75%, las regiones Valle Central Oeste y Este tienen entre 45% y 60%. La Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) tiene entre 45% y 90% y la región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) presenta entre 45% y 75%. La Región Sur varía entre 30% y 100% de humedad.

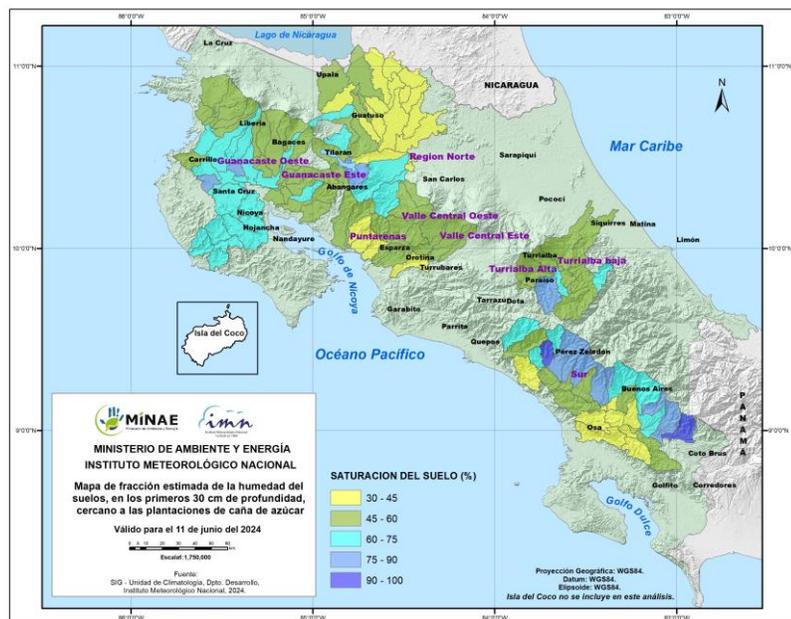


Figura 9. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 11 de junio de 2024.

IMN LE RECOMIENDAN

Mantenerse informado con los avisos emitidos por el IMN en:



@IMNCR

Instituto Meteorológico Nacional CR



@InstitutoMeteorologicoNacional

www.imn.ac.cr

NOTA TÉCNICA

El bagazo de la caña de azúcar: fuente potencial de energía renovable

Ing. Agr. Marco A. Chaves Solera, MSc.

chavessolera@gmail.com

Especialista en el cultivo de la Caña de Azúcar

Introducción

Pese al dinámico y dramático desarrollo tecnológico alcanzado y consolidado en la actualidad, la sistemática y consistente corriente aperturista observada en el comercio mundial, la formación de bloques y la acelerada suscripción de tratados comerciales, la polarización de las economías, la pérdida de autonomía de muchas naciones, la búsqueda imaginativa en procura de identificar nuevas, mejores y más rentables formas de hacer negocios; todo aunado a los graves problemas de carácter socioeconómico y ambiental generados por el cambio de paradigmas, prioridades y manera de conducirse las naciones, los gobiernos y las personas en afectación directa de su propio bienestar, provoca que paradójicamente dos tópicos estratégicos destaquen y distingan por el tratamiento especial y particular que reciben: *la energía y los alimentos*.

Los países con visión y lectura clara de futuro y dotados de algún poder de decisión e independencia en el trazado y ejecución de sus políticas públicas, conciben como asuntos estratégicos de prioridad nacional y hasta con carácter de “innegociable” los factores asociados con la **Seguridad Alimentaria** y la **Seguridad Energética**, por considerarlos trascendentales e indispensables para la estabilidad de la nación. Es definitivo que ambas estrategias resultan definitivas para el desarrollo sostenible y equilibrado de cualquier nación, pues sin ellas se pierde control, estabilidad, capacidad y poder de decisión, pero, sobre todo, se pierde independencia

cayendo por ende en la indeseable dependencia externa o de grupos con otros intereses que no son los de la mayoría.

Esta realidad ha mantenido por muchos años una añeja y casi irresoluta disputa entre los grupos y sectores que consideran que es mejor o no que sea la empresa privada nacional e internacional, y no el Estado, la encargada de atender esos dos incuestionables eslabones del desarrollo; llegando inclusive hasta proponer porcentajes de independencia o dependencia en materia alimentaria y energética nacional, como se le quiera ver. El tema por su fondo ha generado agrias y exacerbadas posiciones doctrinarias y hasta dogmáticas en defensa de la autonomía del Estado unos, o en promoción de la apertura a la competencia y participación privada, otros.

La amplia experiencia capitalizada a nivel nacional y mundial ha demostrado que la situación, perspectivas y posibilidades de cada país de actuar y decidir con éxito en esas materias es muy propia de su estructura, condiciones, visión de futuro, contingencias y potenciales en torno a capacidad de inversión financiera, tecnología disponible, eficiencia, rentabilidad y facultad operativa de control, mantenimiento y crecimiento, entre otras. Lo cierto del caso es que la realidad exige independientemente de cualquier posición que se decida adoptar, disponer para toda la población de alimentos de calidad accesibles en el momento y lugar oportunos; como también contar con un esquema energético moderno,

sostenible, ecoeficiente, rentable y sobre todo ajustado a las necesidades actuales y futuras del país.

Costa Rica ha sido sin lugar a duda un país ejemplar en el campo energético, que logró por propia decisión a través del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), fundado en 1949, imponer una sana independencia capaz de satisfacer a cabalidad por muchas décadas las necesidades nacionales; sin embargo, los eventos recientes y perspectivas futuras generan serias dudas sobre la capacidad y estabilidad futura del sistema vigente. Como es conocido el país privilegió la generación de energías limpias a partir mayoritariamente de fuentes hidráulicas complementadas con las eólicas, geotérmicas y fotovoltaicas más recientemente; quedando las biomásicas en grado muy inferior con relativamente poco apoyo y leve acogida. Más recientemente el empleo de energía térmica generada a partir de recurso fósil mediante la “quema de bunker y diesel” ha tomado relevancia creciente.

El Cuadro 1 expone un interesante expediente internacional que ubicó y clasificó en el 2021 de manera polarizada virtud de su condición interna, los países que, dado en porcentaje, mayor y menor producción de energía eléctrica generaron en ese año a base de fuentes limpias, no contaminantes (agua, tierra, viento, luz). Costa Rica cabe destacar estuvo manteniendo por muchos años posiciones privilegiadas en este revelador indicador, número uno en el 2021 con un extraordinario porcentaje del 99,2; lo cual sin embargo hay en los dos últimos periodos decaído significativamente, por motivo de tener que emplear por causas presuntamente de fuerza mayor, fuentes fósiles en la Planta Térmica de Garabito, Puntarenas, para generar electricidad. Lo anterior debido a la insuficiencia observada en la lluvia caída, los caudales de agua recibidos y recolectados en las plantas de generación eléctrica ubicadas en todo el territorio nacional. Es definitivo y demostrado que los patrones tradicionales de lluvia han cambiado drásticamente en cuanto a cantidad y distribución de la lluvia precipitada, lo que justifica y amerita una responsable planificación estratégica de fuentes generadoras para contabilizar la relación oferta-demanda eléctrica y ejecutar los ajustes pertinentes y obligados del caso.

El abrupto pero consistente cambio climático, las imperiosas necesidades de inversión exorbitante necesarias implementar, las limitaciones presupuestarias, el retardo tecnológico, el incremento acelerado del consumo, la ineficiencia relativa del sistema en algunas áreas, razones políticas y hasta doctrinarias vienen exhortando e incidiendo cada vez con mayor énfasis por

provocar un cambio de fondo en el tema energético. Es en este punto donde cabe preguntarse y analizar con absoluta objetividad, seriedad y responsabilidad a los responsables de esa materia ¿Qué se ha hecho bien? ¿Qué se ha hecho mal? ¿Dónde estamos fallando? ¿Cuáles son las perspectivas de sostenibilidad y mejora del sistema energético actual? ¿Qué puede y debe hacerse para modernizar el sistema, blindarlo y darle sostenibilidad futura para satisfacción de las necesidades nacionales?

Cuadro 1. Año 2021.

Países con MAYOR % mundial de producción de energía eléctrica a base de fuentes no contaminantes

Países con MENOR % mundial de producción de energía eléctrica a base de fuentes no contaminantes

N°	País	% Energía Limpia	N°	País	% Energía Limpia
1	Costa Rica	99,2	43	Israel	4,2
2	Suiza	99,0	42	Sudáfrica	11,3
3	Noruega	98,2	41	Polonia	15,1
4	Suecia	97,9	40	Indonesia	17,5
5	Francia	90,5	39	Malasia	17,9

Fuente: Índice de Competitividad Internacional, 2021.

La República. net

La energía proveniente de fuentes biomásicas como es el caso del bagazo de caña surge en esta coyuntura como una interesante oportunidad de contribuir con el inexcusable esfuerzo nacional por realizar, para procurar diversificar para solventar y atenuar los problemas generados por el cambio climático. Eventos como el “Fenómeno de El Niño” vislumbran una disminución significativa y sostenida de los índices de lluvia futuros, lo cual provocaría déficit en los caudales de alimentación de las reservas hídricas, acentuando la crisis energética sobre todo en el periodo más seco del año (enero-abril). Cabe mencionar que esta tecnología no es en absoluto desconocida en el país, pues por muchos años se ha cogenerado energía para uso propio de los ingenios azucareros nacionales, algunos de los cuales la han incorporado a la red nacional mediante convenio con el ICE.

Con el objeto de abordar el tema de manera simple y comprensible para conocer más desde la perspectiva técnica fundada en el potencial energético intrínseco contenido en el bagazo y los residuos vegetales de la caña de azúcar, como fuente biomásica para cogenerar electricidad, se formula el

presente documento. El texto no profundiza en elementos de índole institucional y sobre política de usarlo o no, pues no es fin del mismo.

Biomasa cañera

Como cualquier otro vegetal, la planta de caña de azúcar posee características, atributos y propiedades que posibilitan y potencian interesantes oportunidades para su aprovechamiento y explotación comercial. Por origen, estructura y conformación genética la caña es productora de importantes cantidades de biomasa de composición y calidad diversa, lo que, aunado a los residuos y derivados obtenidos a partir de su procesamiento industrial para fabricar azúcar, la ubican dentro del grupo selecto de “plantas excepcionales” y con enorme potencial futuro de uso virtud de las oportunidades que ofrece.

Como apuntara y demostrara Chaves (1985ab, 2001, 2007, 2023b) la agroindustria cañero-azucarera nacional genera en su fase primaria de producción y posterior de transformación, una cantidad importante de materiales lignocelulósicos que ofrecen diversas oportunidades de empleo y aprovechamiento con incorporación de valor agregado, y atenuación de los impactos ambientales que por su mal uso se puedan provocar, como acontece en el caso de otras importantes y reconocidas actividades agroindustriales. La actividad azucarera mundial y nacional ha logrado incorporar buena parte de sus residuos y derivados en una ejemplar economía circular, dónde la mayoría de lo que se produce se aprovecha, no se deshecha, poco se pierde y menos contamina. Con la caña todo se aprovecha.

Recabando al respecto es posible identificar numerosos “productos” resultantes de la actividad primaria desarrollada en el campo y también en la fábrica, de naturaleza sólida, líquida y hasta gaseosa, como son entre otros los siguientes: Residuos Agrícolas de Cosecha conocidos como RAC constituidos por hojas (verdes y secas), cogollo, tallos residuales, mamones (tallos no industriales) y restos de cepas e inflorescencia (panícula). En la fase de procesamiento de la materia prima (caña) se genera bagazo y bagacillo y restos vegetales procedentes del campo como los mencionados anteriormente. Una vez obtenido el jugo y propiamente en la fase activa de cristalización y fabricación del azúcar se obtienen residuales y derivados como son: cachaza (torta de filtro), melaza (miel final), cenizas (caldera), aguas de lavado de la caña, aguas del proceso fabril (columna barométrica), vapor y vinazas si hubiese destilación de alcohol, entre otros.

En el caso que aquí nos interesa nos referiremos exclusivamente al Bagazo y los Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC) virtud de verse de alguna manera también vinculados y posibilitados con la iniciativa cogeneradora.

¿Qué es el bagazo de caña?

Muchas definiciones y acepciones se podrían colocar para tratar de describir ¿Qué es el bagazo? pues caben explicaciones y calificaciones diversas planteadas desde diferentes perspectivas como son la botánica, comercial, económica, energética, ambiental y productiva, entre otras; sin embargo, para satisfacer el objetivo procurado en el presente caso pueden anotarse las siguientes:

- Se le conoce como bagazo de caña al residuo que queda una vez extraído el jugo azucarado de la caña.
- El bagazo es el material que queda como residuo de la caña de azúcar, una vez que se ha extraído de ésta el jugo que contiene.
- El bagazo es el residuo fibroso que queda de la caña tras sacarle el jugo azucarado (utilizado para producir endulzantes y otros derivados).
- El bagazo es el residuo del proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña, el remanente de los tallos de la caña después de ser extraído el jugo azucarado que ésta contiene (Aguilar, 2011).
- El bagazo de caña es un material 100% natural, considerado un subproducto, pues se obtiene a partir de los residuos de la caña dulce, el producto principal por el cual se cultiva.
- El bagazo (o megazo) es el subproducto o residuo de la molienda o difusión de la caña, la fibra leñosa de la caña en el que permanecen el jugo residual y la humedad provenientes del proceso de extracción (Chen, 1991).
- El bagazo es el residuo fibroso que se obtiene de los molinos del central azucarero durante el proceso de extracción del jugo para la fabricación de azúcar (ICIDCA, 1986).
- El bagazo es un residuo lignocelulósico fibroso que se obtiene del último molino del tándem azucarero, está formado por un conjunto heterogéneo de partículas de diferentes tamaños que oscilan entre 1,0 y 25,0 mm, con un promedio de aproximadamente 20 mm (ICIDCA/GEPLACEA/PNUD, 1988).
- Es el producto que se obtiene en el último molino del tándem, está formado por un conjunto de partículas de diferentes tamaños cuyo promedio oscila alrededor de 2,5 mm (ICIDCA/GEPLACEA/PNUD, 1990).

- El bagazo de caña es la mayor fuente de fibra para la industria de pulpa y papel (Aguilar, 2011).
- Residuo de la industria azucarera que se consigue a bajo costo y por su alto valor calorífico puede ser aprovechado en la generación de energía, en la fabricación de papel y en la limpieza de aguas.
- Residuo agroindustrial renovable de la caña de azúcar, utilizado como materia prima para la generación de bioenergía y comercialización a industrias dedicadas a la producción de papel.
- El bagazo de caña es un residuo generado en el proceso de producción de azúcar y alcohol; que, aunque tradicionalmente se consideraba un desperdicio, en la actualidad se le ha reconocido su potencial como fuente valiosa de materia prima para diversas aplicaciones en la agroindustria.
- Es el residuo obligado recuperado luego de moler la caña y proceder con la extracción del jugo por cualquier medio, molino, maza o prensa para fabricar azúcar.
- Corresponde al remanente de los tallos de la caña después de extraer el jugo azucarado que ésta contiene. Tradicionalmente se ha empleado como materia prima para la producción de energía en las calderas de los ingenios (Chaves, 2023b).

Por su origen la palabra “bagazo” proviene del francés *bagasse* que significa residuo, aunque originalmente aludía a los desechos que se generaban cuando las aceitunas eran molidas para extraer el aceite. Con el transcurrir de los años, el bagazo aplicó genéricamente para referirse a los residuos fibrosos que surgen como consecuencia de procesar y moler la caña en las fábricas para extraer el jugo requerido para elaborar azúcar.

En términos prácticos y razonables podemos (opinión personal fundamentada) inferir y concluir que el bagazo es un residuo obligado del proceso de fabricación del azúcar a partir de la caña, empleada en este caso como materia prima. No es como algunos han querido tendenciosamente interpretar para otros fines, un derivado, un desecho o basura vegetal; tampoco un producto, un subproducto o un coproducto por cuanto esas connotaciones incorporan valor agregado y económico al residuo; lo cual es cierto, pero va aplicado a una fase posterior vinculada con el destino y uso que se le dé al mismo. Es un hecho incuestionable e irrefutable que no puede obtenerse jugo a partir de la caña sin generar de manera obligada el bagazo como residuo; como tampoco puede extraerse jugo de una naranja sin generar el residuo “estopa”, por lo cual califican

como “obligados”. Otras interpretaciones no son a criterio del autor convincentes.

En la práctica agrícola, sobre todo, no tanto en la fabril, se tiende a considerar como sinónimos, afines y similares desde una valoración física, al bagazo con la fibra industrial, lo cual no es correcto, pues el concepto de bagazo es más amplio al estar compuesto básicamente por cuatro fracciones cuya participación es variable, entre las cuales se encuentra precisamente la fibra, como se expone en el Cuadro 2 y la Figura 1. Este elemento obliga marcar el límite correspondiente; nótese la importancia que presenta el contenido de humedad en el bagazo.

Cuadro 2.
Fracciones que componen el Bagazo.

Componente	%
Fibra o Bagazo	45
Sólidos Insolubles	2 - 3
Sólidos solubles	2 - 3
Agua	50

Fuente: ICIDCA/GEPLACEA/PNUD (1988).



Figura 1. Bagazo residual de caña de azúcar.

Es claro con base en la información anterior inferir que el bagazo residual constituyente básico de la caña de azúcar, se compone principalmente de fibra, sólidos insolubles, sólidos solubles y agua, descritos como sigue:

- a) **Fibra:** es una materia orgánica insoluble en agua que se encuentra en estado sólido presente en el tallo de la caña. Muestra gran heterogeneidad desde la perspectiva morfológica y química. Esta fracción es la que en específico aporta los elementos estructurales que favorecen su uso posterior.
- b) **Sólidos insolubles:** son las sustancias inorgánicas que se pueden encontrar en el bagazo, como tierra, coloides y piedras pequeñas. Está influenciada por la cosecha y el suelo.
- c) **Sólidos solubles:** referido a las sustancias que se pueden disolver en el agua, como es el caso de la sacarosa. Hay algunas ceras que pueden encontrarse en el bagazo.
- d) **Agua:** componente originado por la absorción que hace el bagazo de moléculas de agua, sobre todo a causa de la humedad presente y también por efecto de capilaridad.

De acuerdo con Saraswathi *et al* (2019) ratificado por Jácome *et al* (2023), el bagazo de la caña de azúcar contiene fracciones de celulosa, hemicelulosa y lignina en proporciones del 38,4%, 23,2% y 25%, respectivamente.

Lo relativo a composición puede ser muy variable pues son muchas las variables que intervienen en su contenido, sobre todo en lo concerniente a las tres fracciones ya indicadas; sin embargo, en los Cuadros 3 y 4 se presenta una aproximación expuesta por Correa (1988) en lo concerniente a composición física y composición química.

Cuadro 3. Composición Física del bagazo de caña.

Componentes Orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> Fibra (celulosa) Hemicelulosa Lignina 	(45 - 60%)
Sólidos No Solubles	<ul style="list-style-type: none"> Tierra Piedras Sustancias coloidales 	(2 - 3%)
Sólidos Solubles	<ul style="list-style-type: none"> Ceras Pectinas Ácidos grasos 	(2 - 3%)
Agua	<ul style="list-style-type: none"> Generada por absorción a través de puentes de hidrógeno y por capilaridad 	(50%)

Fuente: Correa (1988).

Cuadro 4. Composición Química del Bagazo de caña.

Componente	Bagazo Integral	Fracción Fibrosa	Fracción Médula
Celulosa	45,0	47,7	41,2
Pentosanos	25,0	25,0	25,0
Lignina (klason)	20,7	19,0	21,7
Extractivos alcohol-benceno	2,7	2,4	2,9
Solub. H ₂ O caliente	4,1	3,4	4,3
Solub. H ₂ O fría	2,2	2,2	3,0
Solub. NaCH (1,0%)	34,9	32,0	36,0
Cenizas	2,6	1,4	5,5

Fuente: Correa (1988).

En el Cuadro 5 se presenta a manera de comprobación el resultado de una ficha de caracterización técnica del bagazo obtenida por una empresa azucarera comercial colombiana. El criterio y resultados es vinculante en cuanto a las características del residuo.

Cuadro 5. Ficha Técnica de Bagazo de Caña de Azúcar.

Información Específica				
Composición:	Material lignocelulósico constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina.			
Uso previsto:	Combustible para calderas, producción de papel y otros usos agrícolas			
Criterios de Evaluación Físicoquímicos	Métodos de Ensayo	Unidad	Especificación	
			Mínimo	Máximo
Humedad Total	Gravimétrico	% En masa	48	50
Cenizas	Gravimétrico	%	6	12
Poder Calorífico	Termodinámico	BTU/lb Base seca	6.300	6.800
Azufre Total	Absorción atómica	% en masa		0,10
Carbono	Fotometría	% en masa	35	45
Sólidos Disueltos	Gravimétrico	%		3
Hidrógeno	Destilación kjeldahl	%		5,3
Nitrógeno	Destilación kjeldahl	%		0,80

Fuente: Ingenio Carmelita Colombia (<https://ingeniocarmelita.com/bagazo/>). Consultado el viernes 31 de mayo 2024.

De acuerdo con Subirós (1995) "El bagazo que sale del último molino está constituido por cuatro fracciones: cerca del 50%

corresponde al agua que retiene el material; el 45% está constituido por fibra y corresponde a la fracción orgánica insoluble en agua; presenta una gran heterogeneidad física y morfológica y es la que se utiliza como componente estructural de otros derivados. Otra fracción está compuesta de piedras, tierra y materiales extraños, cuyo porcentaje está influido por la manera como se realiza la cosecha. En promedio, oscila entre el 2 y 3%. El último componente está constituido por los sólidos solubles, que son los que no fue posible extraer y que varían entre el 2 y 3%; (ej. Pol, Brix) y otros componentes, pero en una baja proporción.”

En esencia el bagazo es la fibra residual de la caña generada luego de la molienda, es un combustible natural empleado para producir vapor en las fábricas azucareras. Su tamaño es uniforme con una longitud promedio de 5 a 7,5 cm no excediendo los 2 cm de ancho. El rango de densidad varía entre 120-160 kg/m³. Consiste de fibra, agua, sólidos solubles y cenizas por lo cual es importante conocer su composición química pues afecta y condiciona su uso como combustible. El bagazo también contiene elementos considerados como materia extraña, clasificados como: materia extraña mineral y vegetal. La primera, está constituida por Si, Mg, Ca, Na, K, óxidos de S, Fe, entre otros. La segunda, por residuos de cosecha como hojas secas o verdes, cogollos, mamones, lalas y cepas.

Los residuos lignocelulósicos (bagazo y RAC) obtenidos a partir de la cosecha y la molienda de la caña se han utilizado durante muchos años con fines primordialmente energéticos para generar vapor en calderas, como materia prima para la producción de etanol de segunda generación; y también, como insumo natural para fabricar papel. El bagazo es empleado en la producción de energía como butanol y biogás; así también, las cenizas del bagazo son ocupadas como aditivos en la construcción. Es un material importante en las biorrefinerías y es empleado como biofertilizante.

Su empleo como alimento de bovinos está muy difundido y aceptado mundialmente; siendo una fuente de fibra con alto valor energético, lo cual, sin embargo, debido a la presencia de compuestos como lignina y hemicelulosa, hacen que su digestibilidad sea baja (aproximadamente del 25%), limitando su uso como alimento para el ganado. Para su consumo es necesario realizar un pretratamiento que permita solubilizar parcialmente la hemicelulosa y hacerla más digestible. Este pretratamiento se conoce como caña hidrolizada y se realiza mediante el empleo de compuestos químicos.

En definitiva, son muchos, diversos y muy importantes los usos comerciales que se le da al bagazo, como apuntara Chaves (2023b) con gran detalle. Se ha encontrado que los diferentes elementos morfológicos del bagazo se encuentran contenidos en proporciones variables cuando son determinados en base seca y caña limpia, como se aprecia en el Cuadro 6. El contenido de fibra del bagazo integral determinado en base seca se estima de acuerdo con ICIDCA/GEPLA/PND (1988) próximo al 60% y la médula cercana al 30%; siendo el 10% restante tierra, materiales solubles, finos y otros.

Cuadro 6. Elementos morfológicos del bagazo de caña.

Elementos *	%
Fibras largas de la corteza	50
Parénquima	30
Haces fibrovasculares	15
Células epidérmicas	5

Fuente: ICIDCA/GEPLA/PND (1988).

* Base seca caña limpia.

Como es conocido en los vegetales como la caña la epidermis es una capa celular fina que recubre el tallo en la parte externa, actuando como protector impermeabilizante del jugo. La corteza por su parte está compuesta de fibras muy lignificadas tipificada mediante indicadores diferenciadores, como son: ancho de la pared celular, longitud y grado de rigidez, los cuales actúan protegiendo el tallo de los efectos e impactos exteriores. Su función principal es la de servir de anclaje y sostén a la planta de caña. En la sección interna del tallo se tiene el parénquima, tejido importante cuya función es almacenar el jugo conteniendo el azúcar elaborado por la planta. En el interior de este tejido se encuentran los haces fibrovasculares, constituidos por fibras y vasos que complementan la función de sostén con la de conducción de los nutrimentos y productos elaborados a lo largo del tallo. Como puede concebirse, cuando la caña es procesada y pasada por los molinos en el ingenio, todo ese ordenamiento e integralidad estructural se pierde, tornando casi indiferentes las diferentes fracciones.

Procurando como asunto de interés establecer un patrón biométrico comparativo diferenciador de los tipos de fibra entre diferentes especies vegetales, respecto a la caña de azúcar, se presenta el Cuadro 7, en el cual la caña como gramínea se compara con otras tres especies arbóreas (pino,

eucalipto y haya común). Se concluye de esos resultados la necesidad de profundizar más en el tema pues las diferencias son importantes, mostrando el Pino (*Pinus silvestris*) los valores más altos y el Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) los más bajos en algunos indicadores específicos. Puede asimismo inferirse, que la caña de azúcar está dotada de un sistema fibroso apropiado, cuando comparado inclusive con especies arbóreas de crecimiento secundario.

Cuadro 7. Características biométricas de diferentes tipos de fibra según especie de planta.

Tipo de fibra	Nombre científico	Longitud promedio (mm)	Diámetro promedio (µm)	Diámetro lumen (µm)	Ancho pared (µm)	Relación de delgadez	Índice de flexibilidad
Caña de Azúcar	<i>Saccharum spp</i>	1,5	20	12,0	4,0	75	0,60
Pino	<i>Pinus silvestris</i> *	2,9	28	21,0	3,0	100	0,75
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i> *	1,0	13	9,8	1,6	77	0,75
Haya común	<i>Fagus silvática</i> *	1,5	14	7,4	3,3	107	0,52

Fuente: ICIDCA-GEPLACEA-PNUD (1988).

* Corresponde a especies de plantas arbóreas.

Surge en este punto de inmediato la inquietud y duda válida sobre ¿Cuál es la propiedad fibrosa propiamente dentro de la especie *Saccharum*? El Cuadro 8 expone el resultado de la caracterización biométrica aplicada a cuatro reconocidas variedades comerciales de caña de azúcar de muy amplio uso mundial y nacional en torno al tema. Es evidente que se dan marcadas diferencias entre las mismas, lo cual viene asociado a los progenitores que les dieron origen, máxime si alguno de sus parentales correspondía a especies diferentes al *S. officinarum*, caracterizadas por su alta fibra.

Cuadro 8. Características biométricas del bagazo en diferentes variedades comerciales de caña de azúcar.

Variedad de caña	Promedio		Ancho pared (µm)	Relación de delgadez	Índice de flexibilidad
	longitud (mm)	Diámetro (µm)			
Ja 60-5	1,13	23	9,9	49,1	0,56
B 43-62	1,26	22	11,2	57,2	0,49
H 32-8560	0,81	18		45,0	
H 44-3098	1,97	19		56,3	

Fuente: ICIDCA-GEPLACEA-PNUD (1988).

Todos los clones han sido cultivados de manera sobresaliente en Costa Rica.

¿Dónde se genera el bagazo?

Como fue anteriormente definido y conceptualizado, el bagazo constituye el residuo obligado generado durante el proceso de fabricación del azúcar extraído a partir de la materia prima (caña) que es procesada y molida en el ingenio. Constituye el remanente sólido que queda de los tallos de la caña después de ser molidos y ser recuperado el jugo azucarado que éstos

contienen. Posteriormente, este bagazo alimenta las calderas donde se quema generando vapor de alta presión empleado en otras etapas del proceso, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Molienda de materia prima y obtención de bagazo residual .

La cantidad y calidad del bagazo generada y recuperada durante el proceso de molienda de la caña depende de varios factores relacionados, como son:

- Tecnología fabril empleada
- Características de la variedad cultivada
- Calidad de la materia prima producida, cosechada y procesada
- Condición y capacidad de los equipos de molienda empleados en el ingenio
- Condiciones de clima prevalecientes durante la cosecha, transporte y molienda de la caña

Producción nacional de bagazo

Para estimar e interpretar con buen grado de certeza la cantidad de bagazo que potencialmente puede producir la planta de caña de azúcar, resulta imprescindible en primera instancia, conocer el potencial de producción de Materia Seca (M.S.) generado, correspondiente a la fracción que queda de una muestra del vegetal fresco (Materia Verde), luego que se le ha extraído el agua. En el Cuadro 9 se expone un comparativo de ese potencial relacionando la caña producida en tres condiciones diferentes en relación con otras plantas y cultivos tradicionales de uso comercial muy conocidas.

Cuadro 9. Cantidad de Materia seca producida por hectárea por año por diferentes cultivos.

Cultivo	Materia Seca	
	medida en:	Producción (t/ha/año)
Caña de azúcar (bajo rendimiento 43 t/ha/año)	Planta completa	15,5
Caña de azúcar (alto rendimiento 103 t/ha/año)	Planta completa	38,0
Caña de azúcar (según se cultiva en Hawaïi)	Planta completa	90,0
Maíz (una cosecha al año)	Planta completa (incluye mazorca y granos)	9,5
Trigo	Planta completa (incluye la espiga)	5,5
Arroz	Planta completa: Tecnología vieja	4,0
	Tecnología nueva	9,5
Remolacha azucarera	Planta completa	12,0
Pastos tropicales	Pangola	20,0
	Pasto elefante	35,0

Fuente: Hudson (1975); ICIDCA (1986).

Como puede comprobarse, la producción de M.S. va en definitiva directamente asociada y correlacionada con el nivel de tecnología incorporado en la producción del cultivo, traducido en incremento de la productividad agrícola (t caña/ha); lo cual en el caso particular de la caña de azúcar pasa de 15,5 toneladas de M.S./ha/año con un rendimiento bajo de apenas 43 toneladas de caña/ha, a 38,9 toneladas cuando ésta se incrementa a 103 toneladas de caña/ha. Se anota en el mismo cuadro la condición excepcional de cultivo en Hawaïi, donde como es conocido las producciones son muy elevadas virtud de que las plantaciones se generan con variedades propias y especiales (sigla H), con ciclos vegetativos de 24 y más meses, lo cual pese a ser anualizado, se refleja en los índices de rendimiento de M.S. Pocos cultivos están en capacidad siquiera de aproximarse a la caña, excepto los pastos tropicales de corta, en cuanto a la producción de M.S.

No se debe sin embargo en todo esto, dejar de visualizarse y ponderarse la **relación directa que existe entre contenido de materia seca, fibra y bagazo** generado, lo cual trasciende y puede ser explicado en buena parte en los orígenes genéticos y taxonómicos del cultivo, como se aprecia en el Cuadro 10 y amplía en el Cuadro 11 referido a géneros y especies de la planta.

Cuadro 10. Caracterización de origen y genética de las especies del género *Saccharum*.

Especie	Origen	Cromosomas	Contenido fibra (%)	Contenido sacarosa (%)
<i>S. spontaneum</i> L. *	Diverso	2n = 40-128	Muy alta 25-40	Muy baja 1-4
<i>S. robustum</i> Brandes & Jesé ex Grassl *	Papua-Nueva Guinea, Indonesia	2n = 60-194, usual 80	Muy alta 20-35	Baja 3-7
<i>S. barberi</i> Jeswiet	Norte de La India	2n = 81-124	Alta 10-15	Media 13-17
<i>S. sinense</i> Roxb.	China	2n = 110-120	Alta 10-15	Media 12-15
<i>S. edule</i> Hassk.	Papua-Nueva Guinea	2n = 60,80 hasta 122	Baja ?	Baja 3-8
<i>S. officinarum</i> L.	La India (?)	2n = 80	Baja 5-15	Alta 18-25
Variedades comerciales: Híbridos de: <i>S. officinarum</i> x <i>S. spontaneum</i>	Diversa	2n = 100 -140	Alta	Alta

* Especies silvestres. Fuente: Chaves (2018); Moore et al (2014).

Cuadro 11. Valores medios de sacarosa, azúcares reductores y fibra del complejo *Saccharum*.

Géneros / Especies	N° Clones	Sacarosa	Azúcares Reductores	Fibra
<i>Erianthus maximus</i>	3	2,24 ± 0,44	0,73 ± 0,23	26,4 ± 0,9
<i>E. arundinaceus</i>	2	0,62 ± 0,16	0,61 ± 0,17	30,3 ± 0,3
<i>Miscanthus floridulus</i>	5	3,03 ± 0,56	0,79 ± 0,24	51,0 ± 2,0
<i>Saccharum</i>	10	3,96 ± 0,46	0,44 ± 0,20	33,9 ± 2,1
<i>S. spontaneum</i>	30	5,35 ± 0,38	1,66 ± 0,06	31,8 ± 0,9
<i>S. robustum</i>	10	7,73 ± 0,83	0,27 ± 0,02	24,8 ± 1,6
<i>S. sinense</i>	2	13,45 ± 0,02	0,38 ± 0,08	12,8 ± 2,0
<i>S. officinarum</i>	25	17,48 ± 0,35	0,32 ± 0,02	9,8 ± 0,4

Fuente: ICIDCA-GEPLACIA-PNUD (1990); Chaves (2023b).

Asegura Chaves (2023b) al respecto, que “Esa diversidad génica le provee a la planta de caña un enorme potencial de cruzamiento y combinación que se expresa en características diferenciadas, como se anota en el Cuadro 11 para el área foliar, la tasa de asimilación fotosintética, la duración del ciclo vegetativo y consecuentemente su periodo de crecimiento, todo lo cual interviene y define su potencial para producir materia verde y con ello sobre los rendimientos agroindustriales del cultivo”.

Amplia el mismo autor en torno al tema, manifestando, que “Todo lo anterior asociado a elementos anatómicos, fisiológicos, metabólicos y genéticos, propios y particulares de la planta, es que la caña de azúcar es considerada un vegetal excepcional que posee los mecanismos suficientes y eficientes para inducir la producción de biomasa y la concentración de sacarosa en sus tallos en cantidades apreciables y comerciales. Esto debido a estar dotada, como apuntara Chaves (2020b, 2023a), de un eficiente sistema fotosintético caracterizado por poseer un Ciclo C4 (vía del ácido dicarboxílico) que sintetiza la

sacarosa a partir de azúcares simples (glucosa y fructuosa) de manera muy eficiente”.

Queda así demostrado que los atributos, propiedades y evidentes ventajas que presenta la planta de caña de azúcar respecto a otras, en cuanto a la cantidad y calidad de la biomasa que produce, vienen derivadas y asociadas con las características genético-anatómicas de origen que la tipifican, como lo han indicado Chaves (2018, 2019b, 2020b, 2023ab) y Moore *et al* (2014).

En lo específico el Cuadro 12 muestra lo que la experiencia cubana recolectó al segregar una cosecha comercial de caña equivalente a 100 toneladas por hectárea, en sus fracciones componentes. Es notorio, como concluyeran los autores del reporte al respecto: *“La producción de paja, hojas y cogollo en la caña varía apreciablemente; en estas cantidades influyen las variedades, el sistema de riego, la época de recolección y otras. La caña es capaz de convertir gran cantidad de energía solar en energía química, cuando se cosecha en lugares donde existen condiciones climáticas adecuadas para su crecimiento”.* A lo anterior debe sumarse la influencia determinante que tiene el sistema de cosecha utilizado en sus fases de corta, recolección, carga y transporte de la materia prima sobre la producción de materia seca final; particularmente en lo referente a si es manual o mecánica, cortada en verde o quemada, entre otras.

Cuadro 12. Composición de la caña de azúcar según fracción, estimada por cada 100 toneladas.

Componente	Toneladas	%
Hojas y paja	42,9	39,6
Bagazo 50% humedad	27,5	25,4
Cogollo	18,4	17,0
Azúcar	12,5	11,5
Miel final 88° Brix	3,6	3,3
Cachaza 77% humedad	3,4	3,2

Fuente: ICIDCA (1986). Adaptado por el autor.

De acuerdo con Subirós (1995), la composición vegetativa de la caña de azúcar es durante su fase de madurez de 71,8% de tallos molederos, 12,6% de cogollos, 6,9% de mamones y el 8,7% restante, el cual, asevera, está compuesto de hojas y otros materiales vegetales.

Conocer con exactitud la cantidad de bagazo producida en el país durante un periodo anual de molienda y una zafra no

resulta la verdad fácil de realizar, pues no hay una estadística oficial específica de este indicador; al menos el autor del presente documento la desconoce o no tiene acceso a la misma. Estructurarla tampoco significa una labor titánica imposible de realizar, pues es claro que cada ingenio lleva su propia contabilidad; es por tanto asunto de recolectar la información en cada una de las fuentes que la generan, entendiéndose, cada uno de los 10 ingenios azucareros que operan y están activos en la actualidad.

Sin embargo, la amplia experiencia y largo recorrido pragmático de muchos años seguido por la agroindustria mundial y nacional del azúcar, han determinado y comprobado con buen suceso formas opcionales para poder estimarlo de manera indirecta con un grado de exactitud bastante aceptable. El principio se fundamenta en la relación que existe entre el contenido porcentual de **Fibra % Caña** determinado en el laboratorio a partir de la materia prima procesada, lo cual puede traducirse por afinidad al **Bagazo % Caña** recuperado luego de la molienda. Aceptando la validez de ese principio teórico, puede entonces habilitarse a partir de la **Fibra % Caña** el estimado del **Bagazo % Caña** producido. Resulta entonces necesario e ineludible tener que conocer la **Fibra % Caña** para poder estimar el **Bagazo % Caña**.

La **Fibra** se define según Chaves *et al* (2018), como *“...la materia seca e insoluble en agua que contiene la caña. La definición incluye todos los materiales insolubles como la tierra y las piedras; es mejor conocida como Fibra Industrial. La verdadera Fibra o celulosa no se determina en el control de fábrica. La Fibra (%) Caña es la cantidad de Fibra Industrial referida a cien partes de caña expresada como porcentaje.”*

Con ese objetivo y carente de información sobre bagazo recuperado, se presenta en el Cuadro 13 el resultado de un interesante estudio desarrollado por Chaves y compañeros en el 2018 (Chaves *et al* 2018, 2019b), por medio del cual se analizó para 15 zafra consecutivas del periodo 2004-2018 aplicado a las seis regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar, los valores oficiales promedio de **Fibra % Caña** nacional. Se considera por tanto absolutamente confiable y muy representativa la información allí consignada para realizar el ejercicio de estimación pretendido.

En el Cuadro 13 exponen Chaves y *compañeros* (2018) de manera resumida y expresa, los valores correspondientes a los indicadores estadísticos de posición y dispersión más eficientes para calificar el comportamiento de la **Fibra (%) Caña** obtenido

a partir del promedio anual para cada localidad productora (6 regiones y 4 subregiones) aplicado a las 15 zafras estudiadas durante el periodo 2004-2018. El resultado de esa valoración evidencia como relevante, lo siguiente: “...como se deduce de su índice de desviación estándar y coeficiente de variación, los cuales en todas las localidades fueron inferiores a 1,20% y 7,2%, respectivamente. Los valores de las 8 localidades se ubicaron en sus extremos, entre un máximo de 19,92% obtenido en el Pacífico Central (D) en la Zafra 2008-09 y un mínimo de 13,07% verificado en la Zona Norte (C) en la Zafra 2005-06, lo que marca una diferencia de importantes 6,85 unidades porcentuales de Fibra. Los valores fueron mayoritariamente consistentes a lo interno de la región en el Valle Central (B), ubicándose en las 15 zafras evaluadas entre 15,34% (Zafra 2015-16) y 14,34% (Zafra 2009-10) para una diferencia de apenas 1,0%, una desviación estándar de 0,29% y un coeficiente de variación del 1,97%, que son muy bajos como demostración de estabilidad. En sentido contrario, la Zona Oeste de Guanacaste (E) presenta las Fibras más variables del país con un máximo de 18,94% (Zafra 2010-11) y un mínimo de 14,91% (Zafra 2018-19) para una diferencia de 4,03 unidades porcentuales, una desviación de 1,20% y un CV del 7,20%, el mayor de todos. La estabilidad de los contenidos de Fibra en el tiempo interpretada por medio de la desviación estándar y el CV (%), no por su valor nominal, denota el siguiente orden por zona de más estable a menos estable considerando que lo deseable es tener en este caso un valor bajo: Valle Central > Zona Media Turrialba > Zona Sur > Zona Este Guanacaste > Zona Alta Juan Viñas > Zona Norte > Puntarenas > Zona Oeste Guanacaste.”

Cuadro 13: Contenidos promedio de FIBRA (%) CAÑA según Región productora de caña de azúcar en Costa Rica. Periodo 2004 - 2018 (15 Zafras).

Indicador	Turrialba-Juan Viñas *			Valle Central	Región Norte	Pacífico Central	Guanacaste **			Región Sur	Nacional
	Zona Media	Zona Alta	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona Oeste	Zona Este	Zona E	Zona F	
Promedio	14,03	15,01	14,53	14,83	14,59	18,12	16,73	17,65	17,03	15,08	15,55
Valor Máximo	15,52	15,98	15,35	15,34	15,60	19,92	18,94	19,60	18,87	16,51	16,04
Valor Mínimo	13,47	13,23	13,57	14,34	13,07	17,05	14,91	16,70	15,78	14,05	15,09
Desviación St	0,49	0,68	0,41	0,29	0,72	0,93	1,20	0,71	0,87	0,60	0,27
CV (%)	3,47	4,55	2,84	1,97	4,95	5,12	7,20	4,02	5,09	3,96	1,70

Fuente: Departamento Técnico LAICA (2019); Chaves et al (2018); Chaves (2019b).

Es conocido en Costa Rica que los contenidos de Fibra de la caña son muy variables entre localidades productoras virtud de que los entornos donde se produce la materia prima de los ingenios es muy disímil y heterogénea, esto cuando caracterizada en relación a factores y elementos básicos asociados con el clima, los suelos, la duración del ciclo vegetativo (meses), las variedades sembradas, la condición de fitosanidad, el manejo agronómico prestado a las plantaciones, los sistemas de cosecha empleados y la condición tecnológica del campo y las fábricas que procesan la caña (Chaves 2019abc, 2020ac, 2022).

Todo eso induce y provoca variaciones significativas en la Fibra determinada en las entregas de caña comercial, las cuales fluctúan en el país por lo general entre valores de 13% y 20% para una media nacional próxima al 15%. En el estudio realizado durante 15 zafras por Chaves et al (2018), esos índices fueron nominalmente de 13,07% como máximo observado en la Zona Norte (Región C) y 19,92% en el Pacífico Central (Región D) para un promedio nacional de 15,55% cuya desviación estándar fue de 0,27% para un coeficiente de variación del 1,70%.

Como se indicó, la experiencia nacional ha revelado que la cantidad de Bagazo % Caña recuperado en las fábricas fluctúa entre 28 y 32% dependiendo del contenido de Fibra presente. A más Fibra más bagazo, siendo válida por consecuencia la relación inversa. Se estima que cañas con Fibras altas entre 17-18% favorecen recuperaciones de bagazo del 32%; en tanto que las Fibras bajas inferiores a 14% la recuperación es cercana al 28%, lo que establece una media nacional en el orden del 30%. En su estimación Chaves (2001) utilizó una media de conversión nacional del 32% correspondiente a 320 kg de bagazo recuperado por tonelada de caña procesada, a partir de lo cual reportó para la zafra 1999-2000 un total de 1.076.121 toneladas de bagazo producido luego de moler un total de 3.362.878 toneladas de caña.

Según Díaz (2008) la cantidad de bagazo % en caña varía entre 24 y 28% del peso de la caña, aproximadamente una cuarta parte, a partir de lo cual puede entonces estimarse que la cantidad de bagazo que puede esperarse recuperar de una tonelada de caña es de aproximadamente 250 kilogramos (25%), como lo indicaran Rabou y compañeros citados por ese autor. Agrega que en el Ingenio Valdéz de El Ecuador, se encontró en el bagazo un promedio de 30% de bagazo en caña. Correa (1988) reporta por su parte en Cuba, que el bagazo que sale de los molinos una vez extraído el azúcar, representa algo más de 0,25 toneladas con 48% de humedad, o sea 250 kg/t (25%) de caña molida; agrega que con relación al azúcar el índice es del orden de 2,3 toneladas de bagazo húmedo por tonelada de azúcar crudo.

En acopio a la información anterior se presenta en el Cuadro 14 una relación proporcional entre los contenidos promedio de Fibra % Caña y la cantidad de Bagazo residual potencialmente esperable recuperar en el ingenio. En términos generales la literatura indica que el bagazo representa en promedio y de manera aproximada, como se anotó, cerca del 30% del total de la caña comercial con Fibras % Caña del 15%. El cuadro incorporó una gradualidad buscando mayor exactitud.

Cuadro 14.
Índice teórico de conversión Fibra % Caña a Bagazo *

Fibra % Caña	% Bagazo Generado	Producción en Kg por tonelada de caña procesada
< 14	28	280
14 - 15	29	290
15 -16	30	300
16 - 17	31	310
> 17	32	320

* Criterio técnico del autor y el Sr. Luis Bermúdez Acuña, basado en literatura internacional y experiencia nacional.

Cuadro 15. Cantidad de CAÑA PROCESADA en los Ingenios nacionales durante el Período 2019-2023.*

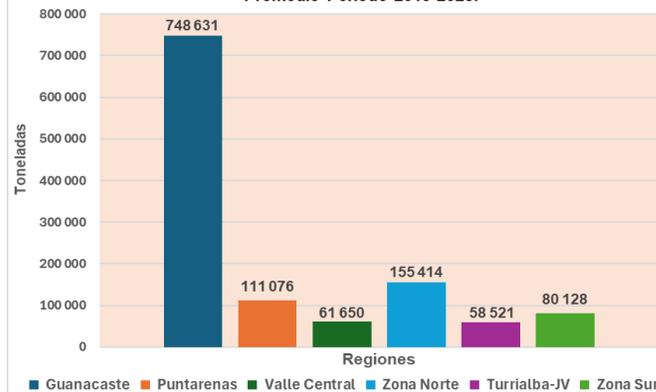
Región	Zafra					Promedio	Desv. St	CV (%)
	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2023-2024			
Guanacaste	2 355 412	2 363 605	2 327 282	2 021 926	2 629 137	2 339 472	192 731,1	8,2
Puntarenas	379 362	346 134	334 092	311 510	364 459	347 112	23 575,2	6,8
Valle Central	329 207	244 937	201 154	167 860	157 735	220 179	62 447,6	28,4
Zona Norte	548 320	561 747	571 520	476 337	521 625	535 910	34 183,7	6,4
Turrialba-JV **	199 663	209 052	201 954	201 312	197 000	201 796	4 011,6	2,0
Zona Sur	280 159	269 544	261 888	243 822	280 054	267 093	13 515,4	8,2
Total - País	4 092 123	3 995 020	3 897 888	3 422 767	4 150 010	3 911 562	259 049,2	6,6
Promedio	682 020	665 837	649 648	570 461	691 668			
Desv. Estándar	755 905,40	767 932,03	760 709,14	656 723,85	874 544,96			
CV (%)	110,83	115,33	117,10	115,12	126,44			

* Dado en Toneladas Métricas.

** La última zafra de esta región corresponde a un estimado de producción. Al 03 de junio 2024 se han procesado 164.834 toneladas correspondientes al 83,67% del estimado. Se espera como expectativa cosechar 197.000 toneladas en el periodo restante de molienda. Fuente: LAICA (05 junio 2024).

Procurando establecer una inferencia bien aproximada sobre la cantidad de Bagazo % Caña recuperado en el país, se expone el Cuadro 15 mostrando un detalle de la caña producida y procesada por los ingenios nacionales durante el quinquenio 2019-2023. La información se presenta por zafra y región productora, ratificando la enorme disparidad que prevalece entre las mismas en todos los ámbitos. Son Guanacaste y la Región Norte las localidades geográficas que marcan diferencia al moler en la zafra 2023-24 el 63,3% y 12,6% de toda la caña nacional, respectivamente, para un 75,9 conjunto. En contraparte, la tradicional y pionera región del Valle Central es la que menos contribución aporta con apenas un 3,8% de toda la materia prima procesada en esa zafra.

Figura 3. Producción de Bagazo % Caña por región. Promedio Período 2019-2023.



Cuadro 16. Estimación de la cantidad de BAGAZO % CAÑA producida en los Ingenios nacionales durante el Período 2019-2023 (5 zafras). Dada en toneladas métricas.

Región	Kg bagazo/t caña *	Zafra **					Promedio	Desv. St	CV (%)
		2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2023-2024			
Guanacaste	32	753 731	756 354	744 730	647 016	841 324	748 631	68 954	9,21
Puntarenas	32	121 396	110 763	106 909	99 683	116 627	111 076	8 435	7,59
Valle Central	28	92 178	68 582	56 323	47 001	44 166	61 650	19 549	31,71
Zona Norte	29	159 013	162 907	165 741	138 138	151 271	155 414	11 083	7,13
Turrialba-JV	29	57 902	60 625	58 567	58 381	57 130	58 521	1 301	2,22
Zona Sur	30	84 048	80 863	78 566	73 147	84 016	80 128	4 533	5,66
Total - País	30	1 268 268	1 240 094	1 210 836	1 063 366	1 294 534	1 215 420	90 557	7,45
Promedio		211 378	206 682	201 806	177 228	215 756	202 570		
Desv. St		267 941	271 842	269 051	232 447	308 960	269 955		
CV (%)		126,8	131,5	133,3	131,2	143,2	133,3		

* Estimados con base en criterio indicado en los Cuadros 9 y 10 basados en el contenido promedio de Fibra % caña recuperado.

** Dado en Toneladas Métricas.

Fuente: Estimado por el autor (junio 2024) a partir del criterio técnico que vincula la Fibra % Caña con el Bagazo % Caña.

Consecuentes con lo anterior se presentan en el Cuadro 16 y la Figura 3 los valores estimados de producción de bagazo en Costa Rica, cuyo margen de variación para el quinquenio 2019-2023 se verificó entre los límites de 1.063.366 y 1.294.534 toneladas para un promedio nacional de 1.215.420 toneladas métricas.

Uso actual del bagazo en Costa Rica

El bagazo ha sido por tradición histórica un producto destinado casi exclusivamente a la generación de energía para acompañar el proceso industrial de fabricación de azúcar y obtención de derivados en los ingenios; con algunas derivaciones más recientes, pero siempre asociadas con la energía, vinculadas con la destilación de bioetanol y la cogeneración eléctrica. Cabe reseñar que en algunos momentos se procuró con poco suceso, su empleo como fertilizante en suelos arcillosos del orden Vertisol buscando aportar estructura física al terreno para su rehabilitación (Berrocal, 1988).

Informa Chaves (2023b) que el destino actual del bagazo es el siguiente:

- Casi la totalidad (≈95%) es utilizado en las calderas del propio ingenio para la generación de energía.
- Se emplea en algunos casos en la Cogeneración de Energía Eléctrica.
- Algún excedente (<5%) se deposita en el campo para su descomposición o almacena para uso futuro.
- El denominado "bagacillo" se emplea para uso pecuario.

El bagazo es un residuo muy importante y de alto valor económico y estratégico debido a que se emplea para arrancar el ingenio al iniciar la zafra con energía propia relativamente barata, evitando tener que emplear energía eléctrica de alto costo de la red nacional. Estos motivos insinúan y sugieren que sería muy importante poder almacenarlo y tenerlo dispuesto para la zafra siguiente, lo cual sin embargo no siempre ocurre.

Se considera entonces que cerca del 3 al 5% del total del bagazo equivalente a cerca de 44.300 y 60.700 toneladas no se "quema" en las calderas de los ingenios en cada zafra, por lo que constituye un remanente neto. Las razones que provocan ese excedente son debidas a circunstancias como:

- a) El gran volumen (toneladas) generado

- b) La naturaleza y características del material
- c) Dificultad para almacenarlas en condiciones apropiadas virtud del área implicada
- d) Alto riesgo de almacenarlas por peligro de conflagración que pudiera acontecer
- e) Imposibilidad de darles algún tratamiento adicional especial
- f) Los altos costos relacionados

Otras razones también favorecen el excedente indicado, como son:

- g) Las calderas de muchas fábricas son viejas e ineficientes, lo que limita el proceso energético
- h) La quema del bagazo se hace día a día
- i) La tecnología de calderas no ha evolucionado en el país, salvo algunas pocas excepciones
- j) La inversión implicada en mejorar la eficiencia del sistema de producción de energía es alta

Cogeneración eléctrica a partir de bagazo

Una vez caracterizado y tipificado el bagazo como residuo obligado del proceso de molienda de la caña, surge la inquietante pregunta ¿Cómo se obtiene la energía? La respuesta es muy simple pero trascendente en consideración del enorme potencial que ofrece ese recurso natural, para satisfacer y cubrir necesidades que con el paso de los años se convierten en estratégicas y muy necesarias para toda la sociedad. Lo más atractivo de la opción es que el bagazo constituye una fuente limpia y renovable de energía.

Una vez que la materia prima (caña) es cosechada en el campo es transportada, recibida y preparada para molienda en el ingenio, debiendo la misma pasar por un proceso de extracción del jugo contenido en los tallos mediante el uso de molinos instalados de manera secuencial (*tandem*), en los cuales la compresión mecánica aplicada logra extraer el jugo que luego pasará a la fase de fabricación del azúcar. El sistema de extracción en los ingenios azucareros está conformado por una serie de molinos cuya cantidad varía según la fábrica, compuestos cada uno por tres rodillos de acero surcados que presan y comprimen de forma mecánica los tallos de la caña previamente desmenuzada mediante desfibradores, extrayendo su jugo (Figura 2). La desfibradora permite obtener fibras que facilitan la eficiente extracción del jugo en los molinos, por mayor exposición de las mismas.

Junio 2024 - Volumen 1 – Número 3

Al final y sin entrar en mayores detalles se tiene la separación de las fracciones líquida (jugo) y sólida representada por el bagazo residual; las cuales prosiguen tratamientos con rutas separadas cuyos destinos son muy diferentes: evaporadores y cristalizadores en el caso del azúcar y las calderas en el bagazo. El jugo es concentrado y cocido hasta lograr la cristalización del azúcar y en las calderas se quema la fibra residual. Acontece que cuando el bagazo de la caña de azúcar ingresa y se quema en las calderas, se genera vapor de alta presión que necesitan las turbinas para accionar los generadores eléctricos. El vapor de alta presión convertido en energía térmica es conducido a una turbina donde se expande y da lugar a la producción de energía mecánica la cual es empleada para mover un generador eléctrico en los turbogeneradores donde se genera la energía eléctrica (Figura 5). De esta manera se transforma un combustible renovable de origen vegetal en energía eléctrica para el sostenimiento energético de la fábrica azucarera. En algunas circunstancias el excedente de energía eléctrica generado puede bajo condiciones especiales y acuerdo preestablecido, ser entregado a la red nacional de distribución pública administrada y operada por el ICE.

El bagazo es un combustible cuyo componente mayoritario es como fue indicado con anterioridad el agua. La cantidad de agua existente en un biocombustible se manifiesta como humedad, la cual constituye un factor que afecta de forma directa y decisiva su energía disponible, ya que el poder calorífico del bagazo disminuye a medida que aumenta el porcentaje de humedad, debido a que parte del calor desprendido durante la combustión del bagazo deberá emplearse para evaporar el agua proveniente de la humedad presente. En la literatura se reporta poca información sobre el poder calorífico del bagazo de acuerdo con el porcentaje de humedad aportado por las diferentes variedades comerciales de caña; lo que torna necesario realizar estudios comparativos de los poderes de combustión del bagazo obtenido a partir de las variedades de caña más utilizadas en la industria azucarera.

Según Subirós (1995), la cogeneración “Consiste en utilizar el bagazo sobrante (energía química) y convertirlo en energías mecánicas para transformarlo luego en energía eléctrica, mediante la utilización de turbogeneradores.”

La Figura 4 visualiza de manera gráfica, integral, comprensible y resumida todo el proceso sistémico campo-fábrica involucrado en la producción de bagazo, la generación eléctrica, la fabricación de azúcar y derivados. Asimismo, la

Figura 5 expone la forma en que se logra implementar la generación de energía eléctrica en un ingenio azucarero a partir de bagazo.

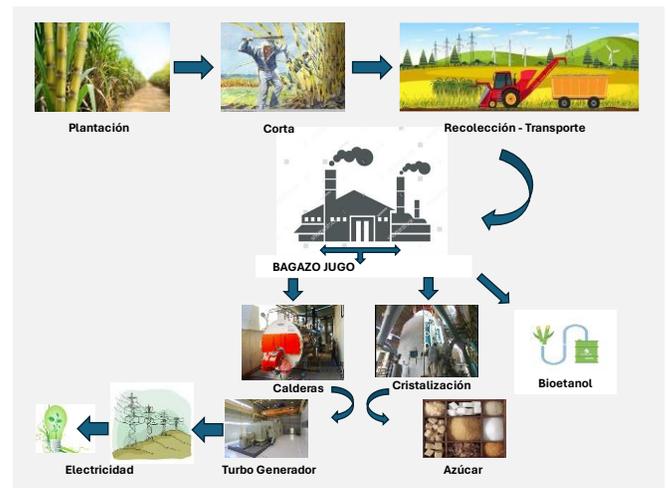


Figura 4. Ciclo comercial de fabricación de azúcar, derivados y cogeneración eléctrica.



Fuente: <https://x.com/AzucarHonduras/status/992499287308341249>

Figura 5. Generación de energía eléctrica a partir de bagazo de caña de azúcar.

Como parte de la experiencia nacional hace Subirós (1995) un interesante recuento histórico sobre el tema, indicando, que “La primera experiencia en la cogeneración de energía eléctrica la realizó la Cooperativa Victoria en 1988. Introdujo a la red nacional alrededor de 900 Kw/hora; sin embargo, esta experiencia consistió básicamente en una prueba cuyos resultados fueron satisfactorios.

En el periodo 1991-92, el Ingenio El Viejo, ubicado en Guanacaste, comenzó a operar una planta de cogeneración con

capacidad para producir 4 Mw/hora; fue la primera que funcionó en escala nacional y centroamericana. El costo de la inversión fue cerca de los \$300 millones. La producción total por periodos es aproximadamente de 6 millones de Kw/hora; se genera entre los meses de enero y abril, precisamente, cuando los niveles de los ríos bajan y por lo tanto baja la producción de energía hidroeléctrica. El precio que paga el estado por este rubro es en promedio de \$7,5 Kw/hora, lo que equivale a un ingreso aproximado a los \$45 millones por zafra. Los costos de mantenimiento y operación prácticamente se diluyen porque el personal que requiere es el mismo que opera la fábrica.” Todo eso aconteció a inicios de la década de los años 90.

Queda demostrado que, si bien la caña de azúcar tradicionalmente se ha cultivado con el único objeto de fabricar azúcar, la planta por estructura, composición y conformación está en posibilidad de generar una infinidad importante de productos alternativos que cuentan con enorme potencial para diversificar la economía de quienes la cosechan y procesan. Una fábrica moderna está en capacidad de transformar la materia prima en azúcar blanco, azúcar blanco especial, azúcar morena, azúcar refino, azúcar pulverizada, jarabes, alcohol (etanol), miel final (melaza) y operar en la industria del papel debido a su alto contenido de celulosa; además de cogenerar energía eléctrica. En síntesis, la caña de azúcar ofrece alimentos, combustible, energías renovables y productos que contribuyen al bienestar de la sociedad.

Calidad del bagazo y poder calórico

Definir calidades de un producto es relativo y depende en alto grado del objetivo y uso al que el mismo es destinado, sin embargo, algunas industrias determinan en el caso del bagazo de caña diferentes parámetros físico-químicos, como: humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad, flotabilidad, capacidad máxima de sorción; así como también la composición química elemental (C, H, O, N, S, humedad y cenizas dados en %), la composición técnica (sustancias volátiles, carbón fijo, humedad y cenizas) y la distribución granulométrica en cuanto a su caracterización energética, como apuntara Díaz (2008).

El Poder Calórico del bagazo de la caña de azúcar es un factor determinante en el balance térmico de cualquier fábrica azucarera. Dicho valor unido a su composición química elemental representa una de las propiedades más importantes para su empleo como combustible, sin embargo, la literatura reporta diferentes cifras dadas por diferentes autores. Plantea

Horst (1984) al respecto, que en el valor calórico del bagazo influye de manera determinante la variedad de la caña cultivada y procesada, la estructura del suelo, el riego, el tipo de fertilizante empleado y el grado de madurez (edad) de la caña a su cosecha; mientras que Hugot (1984) sugiere y reconoce que, aunque existen pequeñas diferencias como promedio, el valor calórico para el bagazo es más o menos el mismo para diferentes variedades y localidades.

En torno a la humedad contenida en el bagazo como variable determinante y de gran interés para calificar su calidad calorífica, se reportan de acuerdo con Díaz (2008) variaciones importantes en la literatura, anotando al respecto, que “El contenido de humedad del bagazo varía según la velocidad y la eficiencia de la molienda. En las Antillas el promedio es del 48 al 50% y los ingenios más modernos obtienen cifras que llegan al 45%. En Hawaii el contenido de humedad frecuentemente llega al 40% y menos a veces, debido a que muelen a velocidades mucho más lentas. En Colombia el contenido de humedad del bagazo está entre el 50% al 52%, en el ingenio Valdez durante las pruebas de balance térmico el promedio de humedad del bagazo osciló entre 49,36% hasta 53,26% o sea muy por encima de la media que es entre 48 y 50%”.

Indican complementariamente los conocedores del tema que si el contenido de Fibra en Caña es baja e insuficiente y el contenido de humedad del bagazo es por el contrario alta, aunado a que la fábrica de azúcar tenga una baja eficiencia en calderas por otras causas (obsolescencia, ineficiencia, mantenimiento, etc.), es entonces muy posible que las mismas no sean capaces de producir el bagazo suficiente requerido para generar el vapor que necesitan para el sostenimiento de su proceso fabril.

Reporta Díaz (2008) que los valores extremos del contenido medio de fibra en la caña se encuentran entre 10% y 16%; aunque por lo general caen entre el 12 y 14%. Indica adicionalmente, que el contenido de fibra en caña encontrado en el Ingenio Valdéz de El Ecuador durante las pruebas realizadas fue del orden del 13%. Como fue visto con anterioridad y expuesto en el Cuadro 13, en el caso de Costa Rica los valores de Fibra % Caña determinados en 15 zafras se ubicaron en el ámbito extremo de 13,07 y 19,92% para un promedio nacional de 15,55%.

Es concluyente de lo mencionado que la calidad del bagazo como residuo con valor energético y azucarero está relacionada con las características y el grado de maceración que reciba la

materia prima procesada, el porcentaje de fibra y el POL que contenga, el cual representa la cantidad de azúcar en solución con el agua presente en el bagazo. En este punto resulta importante señalar que la presencia de azúcar en la caña es en definitiva un factor deseado y muy favorable, ya que implica que la caña es rica y de buena calidad por su alto contenido de sacarosa; sin embargo, paradójicamente, cuando esa sacarosa está presente en el bagazo refleja entonces pérdidas netas de azúcar, por lo que se debe intervenir para que su contenido sea el menor posible, variando su valor entre el 2 y el 4%. Según Díaz (2008) en el ingenio Valdéz la sacarosa en el bagazo presenta una media de 3% de POL.

Pese a que el valor calórico del bagazo es considerado relativamente bajo al compararse con otros combustibles fósiles tradicionales, demuestra que puede competir y constituir una interesante alternativa energética virtud de su potencial, sobre todo en aquellos países como Costa Rica que no tienen disponibilidad de combustibles fósiles, pero son productores tradicionales de caña de azúcar. En el Cuadro 17 se anotan como referencia los valores del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar obtenidos por Oliva y Antolín (2003) en Cuba.

Cuadro 17. Poder calorífico del bagazo de caña.

Especificación	(kcal/kg)	(kJ/kg)
Superior (b.s.)	3.986	16.661,5
Inferior (b.s.)	3.715	15.528,7

Fuente: Oliva y Antolín (2003).

Cogeneración eléctrica

Es un procedimiento de naturaleza industrial mediante el cual se genera de forma simultánea energía eléctrica, mecánica y térmica, como apuntara Lizárraga (2020). En lo pragmático corresponde a la generación de energía como parte integral del proceso productivo, bien sea la fabricación de azúcar o la destilación de etanol. El sector azucarero ha sido señalado por estudios nacionales e internacionales como el recurso vegetal de mayor potencial de cogeneración por su alta disponibilidad y producción de biomasa, en especial el bagazo.

Destaca además el hecho de poder producir y disponer de esa energía en ciclos de tiempo relativamente cortos de un año y

hasta menos; pero, sobre todo, se distingue su disponibilidad en la época más seca del año (enero-abril) cuando las fuentes de generación hidroeléctrica del país están bajas por causa del verano. El cambio climático viene sin duda a agravar y comprometer seriamente la estabilidad y capacidad nacional de satisfacer la demanda energética.

Como es de todos conocido los ingenios azucareros en el mundo han utilizado desde sus inicios con muy buenos resultados, el bagazo de la caña como combustible (renovable) para alimentar y operar sus calderas, utilizando el vapor generado como energía para activar el funcionamiento de sus procesos fabriles. La cogeneración por esta razón utiliza la energía térmica que en forma de calor es producida por el bagazo cuando se quema en las calderas para generar vapor, que se convierte en energía mecánica, y luego, mediante el uso de turbogeneradores generar la energía eléctrica (Arias, 2017). En la operación el vapor de escape del turbogenerador se dirige al proceso productivo mientras que la electricidad es mayoritariamente utilizada para consumo propio, con la opción de incorporar el excedente a la red eléctrica nacional como los antecedentes del país lo demuestran (Figura 6). En esta operación el turbogenerador compuesto por un motor rotativo tiene la capacidad de transformar la energía cinética proveniente del vapor de agua en energía mecánica y convertirla luego en energía eléctrica.

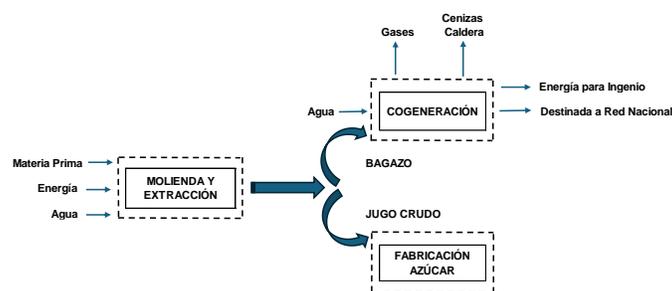


Figura 6. Fases de producción de azúcar, etanol y cogeneración eléctrica de un ingenio azucarero.

En una central eléctrica tradicional los humos residuales salen directamente por la chimenea mientras que, en una planta de cogeneración, los gases de escape se enfrían transmitiendo su energía a un circuito de agua caliente/vapor, una vez enfriados los gases de escape pasan a la chimenea, con el aprovechamiento del calor residual. Los sistemas de cogeneración presentan rendimientos globales del orden del 85% lo que implica que el aprovechamiento simultáneo de electricidad y calor favorezca la obtención de elevados índices de ahorro energético, así como una disminución importante de

la factura energética, sin alterar el proceso productivo. Ahorro energético que se incrementa notablemente si se utilizan energías residuales.

Sin entrar en mayor análisis es importante para fines comprensivos identificar los tipos de energía y términos actualmente en boga, algunas promovidas y estimuladas, otras criticadas y desestimuladas:

- A. **Energía no renovable:** son aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en cantidades limitadas, las cuales, una vez consumidas en su totalidad no pueden sustituirse, ya que no existe sistema de producción o de extracción económicamente viable y rentable. Es obtenida a partir de combustibles fósiles (petróleo y el gas natural), los cuales por su origen y naturaleza para renovarse requerían de millones de años, además de una elevada presión y temperatura de la tierra. Denominada también Convencional.
- B. **Energía renovable:** asociada con aquellas fuentes energéticas basadas en la utilización del sol, el viento, el agua, la geotermia o la biomasa vegetal o animal, entre otras. Se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles como sucede con las energías convencionales, sino recursos capaces de renovarse ilimitadamente. Es la que una vez producida, al dejar de usarse o agotarse se puede volver a producir.
- C. **Energía limpia:** son todas aquellas energías que no causan daños al planeta, entre las cuales pueden mencionarse la geotérmica, la hidráulica, la eólica y la energía solar, el uso de biomasa, biogás y la mareomotriz (aprovecha las mareas). Consiste en sistemas de producción energética que excluyen cualquier tipo de contaminación, principalmente por emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como el CO₂, N₂O y metano, causantes del cambio climático.
- D. **Biomasa:** es un tipo de energía renovable en la que se emplean materiales de origen vegetal o animal, de naturaleza y composición orgánica originada en un proceso biológico espontáneo o provocado. La energía de la biomasa vegetal proviene del sol mediante la fotosíntesis. El reino animal incorpora, transforma y modifica dicha energía.

Con base en lo anterior puede asegurarse que la energía eléctrica, el biogás y el bioetanol producidos a partir de la caña de azúcar corresponden a energías limpias y renovables.

En lo esencial el bagazo constituye el combustible natural propio y particular de la agroindustria azucarera permitiéndole convertirlo en un proceso auto energético que satisface a cabalidad sus necesidades operativas internas. En la descripción de la Ficha Técnica del análisis y caracterización de bagazo realizado en el Ingenio Carmelita de Colombia (Cuadro 5), se anotaron como índices de Poder Calórico determinado por método Termodinámico un mínimo-máximo de 6.300 y 6.800 BTU/lb Base seca, respectivamente. Indica Correa (1988) al respecto, que cuando se quema bagazo y se compara con otros combustibles, es por lo general aceptado desde el punto de vista de generación de vapor, la relación energética anotada en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Comparativo quema de Bagazo con otros combustibles.

1,0 tonelada métrica de bagazo (50% humedad)	■	196 kg de fuel-oil con un valor calórico de 9.800 kcal/kg (18.000 BTU/ lb)	■	231 m ³ de gas natural con un valor calórico de 8.300 kcal/kg (1.000 BTU/pie ³)
--	---	--	---	--

Fuente: Correa (1988).

Agrega ese autor que un ingenio medianamente balanceado requiere utilizar para sus operaciones alrededor del 58% del bagazo total producido, lo cual caso de optimizarse en el sentido energético, solo necesitaría consumir de un 50 a un 60%, generando excedentes de bagazo con potencial para dirigirlos al acompañamiento de otras industrias de derivados de alta calidad y aceptación comercial o en su caso a la cogeneración eléctrica.

Potencial energético de los Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC)

Luego de realizada la cosecha manual o mecanizada de cualquier plantación comercial de caña, queda depositado en el campo una gran cantidad de material biomásico denominado y conocido como **Residuo Agrícola de Cosecha (RAC)**, que puede ser dejado en el terreno para su descomposición, o también opcionalmente ser quemado por los productores lo que no es bueno y menos recomendable; lo cual depende de las facilidades existentes, el sistema de cosecha empleado (Chaves 2022) y la visión personal que tenga el agricultor al respecto.

La cantidad de material que queda depositado en el terreno es muy variable aunque la experiencia dicta que podría ubicarse en sistemas convencionales de mediana eficiencia entre 8 y 15 toneladas métricas por hectárea, dependiendo del grado de limpieza de la materia prima cosechada, lo cual como se indicó, depende de varios factores asociados con: la variedad sembrada, las condiciones prevalecientes de clima, facilidad y método de corta empleado (manual, mecánico), modalidad de cosecha (verde, quemada), edad a cosecha (meses), ciclo vegetativo (planta, retoño), productividad agrícola lograda (t/ha), entre otros. Sistemas de cosecha modernos y bien fiscalizados pueden bajar la cantidad de RAC producida a valores inferiores a 8 t/ha.

La presencia de material biomásico residual (RAC) depositado en el campo puede provocar efectos negativos como los siguientes:

- Las labores de preparación de terrenos en plantaciones en ciclo planta y manejo de retoños en socas pueden afectarse y comprometerse, debido a la presencia de un “colchón de residuos vegetales” en el campo que obstruye las prácticas agrícolas.
- Dificultar las labores de manejo agronómico de la plantación siguiente en lo concerniente a fertilización, control de malezas y riego, por la misma condición anterior.
- Se torna necesario incorporar más fertilizante y emplear más agroquímicos para lograr el mismo efecto.
- Las actividades mecánicas pueden verse intervenidas y afectadas en lo concerniente a calidad, tiempo y costo implicado.
- Puede darse una demora en la germinación, el brote, ahijamiento y retoñamiento de la plantación que provoca discontinuidad, induciendo disminución del rendimiento.
- La población de algunas plagas y enfermedades pueden verse favorecidas.
- Los costos asociados en el establecimiento y manejo de la plantación se ven incrementados interviniendo la rentabilidad final.

De no saberse manejar, los RAC pueden constituirse en un serio problema agro productivo con alcance y consecuencia medioambiental.

Como cualquier proceso natural, la presencia y permanencia de los RAC en el campo puede provocar también beneficios

alternativos visualizados y asociados con: aporte de materia orgánica, aumento de la actividad microbial, retención de humedad, control de la erosión, control de malezas, control biológico natural, entre otros; lo cual se considera puede interferir positivamente sobre la expectativa de obtener altas productividades de caña y sacarosa. Se estima con buena aproximación que el bagazo y los RAC almacenan en los cañaverales, un equivalente cercano a una tonelada de petróleo por cada tonelada de azúcar que puede producirse.

La práctica de quemar los RAC para controlar su volumen no es una decisión técnica correcta ni recomendable pues provoca afectación sobre el suelo, la biota, la biodiversidad y la atmósfera al liberar y emitir gases con efecto GEI como CO₂, NO_x, N₂O y CH₄, generando como consecuencia efectos adversos en la salud y el ecosistema. Se estima que la quema de una plantación comercial de caña puede reducir su biomasa entre 48 y 52%, lo que es sin lugar a duda muy significativo.

Toda esa biomasa que es quemada o en su caso dejada en el campo podría ser eventualmente aprovechada para la generación de energía como una alternativa renovable, diversificando con ello la matriz energética local y nacional, reduciendo y/o mitigando en algún grado importante los problemas mencionados anteriormente e incorporando adicionalmente valor agregado recuperable a los mismos. A nivel internacional varios países como Brasil, Colombia, Cuba, Argentina, México y Australia, entre otros, vienen empleando el RAC con ese fin.

Para satisfacer el objetivo de uso bioenergético deben en primera instancia resolverse algunas de las dificultades y limitantes intrínsecas asociadas con este tipo de material, como son:

1. Su bajo potencial energético en calderas, el cual no se iguala con el bagazo
2. Heterogeneidad en su valor y eficiencia calórica virtud de la naturaleza variable del material vegetal
3. Alto contenido de humedad
4. Alta densidad y volumen
5. Dificultad de manejo que presenta el material para recolección, transporte y almacenamiento, lo que ocasiona problemas de operación.

Las características de los RAC desde una visión física son de acuerdo con INTA (sf) Argentina las anotadas y descritas en el Cuadro 19, mucho de lo cual va determinado, como se infiere,

por el contenido de humedad presente, la densidad del material y el grado de picado aplicado. Sobre esa base se estima que el Poder Calorífico (PC) del residuo de caña de azúcar con 15% de humedad es de 3.100 Kcal/Kg; cuyo PC superior es de acuerdo con mediciones realizadas en la Estación Experimental Agrícola "Obispo Colombes" (EEAOC) de Tucumán, Argentina, de 3.500 a 3.600 Kcal/Kg MS. En dicho caso el PC inferior varió entre 2.300 y 2.400 Kcal/Kg Materia Seca (con 15% de humedad y entre un 10 y 11% de cenizas).

Cuadro 19. Características de los RAC: datos físicos.

Parámetros	Valores
Densidad a granel (kg/m ³) a 40-55% de humedad	25-40
Densidad picado (kg/m ³) a 40% humedad	80
Densidad empacado (kg/m ³) a 30% de humedad	170-225
Briqueta mediana densidad a 25 % humedad	400
Briqueta alta densidad a 25 % humedad	1200

Fuente: INTA (sf).

De manera complementaria se adjunta en el Cuadro 20 una caracterización química de contenido, que contribuye con identificar la composición de los RAC basada en C, O, N, H y S.

En cuanto al calor específico de combustión refiere el INTA que, si el contenido de humedad promedio de los RAC es de 25% después de transcurridos tres días de secado natural, el valor aproximado de su calor de combustión será entonces de 11.825 kJ/kg (2.824 Kcal/Kg).

Cuadro 20. Composición química de los RAC.

Contenido químico	RAC (%)
Carbono	48,28
Hidrógeno	5,55
Oxígeno	45,61
Nitrógeno	0,43
Azufre	0,13
Cenizas	9,5

Fuente: INTA (sf).

Como características deseables del material vegetal picado para ser utilizado como combustible, se considera que se tomar en cuenta que los RAC son más fáciles de manejar cuando no están verdes porque se vuelven frágiles. La humedad de los mismos se ha encontrado que varía considerablemente en función del tiempo transcurrido luego de cosechar la caña;

motivo por el cual se recomienda procesar los RAC con humedades inferiores al 50%.

Puede concluirse que los Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC) representan por el volumen producido una opción biomásica complementaria interesante para fines energéticos, poseedora sin embargo de más limitantes cuando comparados con respecto al bagazo que los tornan técnicamente más cuestionables para ese fin; esto virtud de su reconocido menor Poder Calórico y dificultades para su manejo y almacenamiento. En términos de eficiencia la mezcla RAC + Bagazo tampoco parece ser una buena opción técnica pues el efecto de eficiencia calórica se disminuye.

Genética de caña con orientación energética

Como fue demostrado por medio de los Cuadros 7, 8, 10 y 11, en términos estructurales y de composición fisicoquímica el bagazo de la caña de azúcar muestra diferencias importantes con respecto a otras plantas e inclusive intrínsecamente entre especies taxonómicas a lo interno del género *Saccharum*, lo que por consecuencia trasciende y expresa en las variedades comerciales fabricadas a partir de las mismas, como está demostrado. Progenitores de alta fibra transfieren esa condición a sus progenies.



Figura 7. Enfoque genético hacia la producción de alta fibra.

En lo pragmático muchos de los programas de mejoramiento genético en el mundo han redefinido sus métodos y criterios de selección de nuevos clones, reorientándolos en función de los objetivos y metas procuradas, los cuales se han modificado sustancialmente en las últimas tres décadas, principalmente. Si

el deseo es producir azúcar se trabaja en mejorar sacarosa y pureza; si el objetivo es etanol la concentración de sólidos totales (brix) adquiere relevancia. En el caso de la cogeneración eléctrica y la fabricación de papel, el indicador clave por optimizar es entonces el contenido de fibra y la producción de alta biomasa. Las estrategias e indicadores por evaluar en cada caso específico deben estar muy bien definidas (Figura 7). Todo lo anterior obviamente sin obviar ni desatender variables determinantes y comunes al cultivo independientemente de su destino, vinculadas con la fitosanidad, la tolerancia y resiliencia al clima y a la presencia de condiciones estresantes, adaptación a circunstancias de producción adversas, aceptación a la mecanización, floración, ciclo de maduración y ciclo vegetativo, entre otras.

Durante mucho tiempo algunos de esos requerimientos observados en las variedades de uso comercial se conseguían, como indica Chaves (2018), de forma intuitiva basada en criterios de selección prueba-error propios de la genética mendeliana. En la actualidad como resultado de los dinámicos y profundos avances alcanzados en biotecnología, aunado al desarrollo instrumental y metodológico, la investigación científica en el campo genético y azucarero mundial dispone de técnicas modernas y más precisas incorporando criterios que permiten la selección asistida por marcadores moleculares o la transgénica, como parte de las técnicas modernas que se han incorporado a la mejora de plantas.

Como apuntara Chaves (2018) *“Uno de los retos de futuro fundamentales de la agrogenómica, es fabricar variedades de plantas más ecoeficientes con el objeto de aumentar la producción sin incrementar los recursos de espacio, consumo de agua y uso de agroquímicos investidos al cultivarlas, todo en un contexto de cambio climático y de contexto comercial que dificultará la labor”*. Dicho enfoque es válido y perfectamente aplicable a cualquiera de las áreas de gestión tecno-productivas desarrolladas, como de hecho ya viene efectuándose en otros países y centros tecnológicos de investigación.

La modificación genética selectiva de cultivos mediante el empleo de procesos biotecnológicos constituye una de las muchas técnicas usadas a lo largo de la historia en la agricultura para mejorar las variedades de uso comercial. En la actualidad, el manejo del genoma de la planta de caña puede operarse de forma direccionada y controlada modificando sólo aquello que se quiere alterar para estimularlo o en su caso desactivarlo si fuera el caso. La búsqueda e identificación de variedades de

caña de alta fibra ($> 20\%$), deberá enfatizar si hubiese interés de disponerlos en el país, principalmente sobre el biotipo de planta requerido (Figura 8).

Los retos y desafíos sectoriales, institucionales, comerciales y tecnológicos planteados en la actualidad sobre el tema energético, establece varias demandas por atender orientadas a superar la insuficiencia eléctrica observada en el periodo seco del año, concebidas en la identificación y selección de materiales genéticos de alta fibra, capaces de complementar la oferta energética nacional con recursos limpios y renovables. Los centros e instituciones de investigación deberán si hubiese interés, incorporar y desarrollar próximamente estudios y protocolos en esa dirección.

En consecuencia, con esa interesante opción energética traducida hoy en necesidad nacional y oportunidad sectorial, DIECA procuró abordar el tema de las variedades de alta fibra de forma complementaria, pues la meta en mejora genética nacional siempre ha sido identificar y liberar variedades de alta sacarosa. En el año 2009 se importó bajo el auspicio del Convenio Cooperativo suscrito entre LAICA con el USDA, 25 clones procedentes de la Estación Experimental de Canal Point, ubicada en Florida, EUA, como se describe en el Cuadro 21. Con anterioridad y posteridad se habían mantenido interesantes acercamientos sobre el mismo tema con la Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucreenergético (RIDESA) de Brasil, pudiendo el autor inclusive visitar y conocer experiencias en ese país sobre el tópic y su desarrollo tecnológico-genético como se aprecia en la Figura 8.



Figura 8. Variedades de caña con alta producción de biomasa.

Lo cierto es que la iniciativa de investigar y desarrollar variedades de caña de alta fibra corre con dinamismo y éxito por el mundo, no así en el país, al menos desde la perspectiva genética y tecnológica, limitándose la agroindustria nacional a emplear el bagazo residual excedentario en cogenerar lo que contractualmente es posible para efectos nacionales. De ingresar a investigar en esta materia es imperativo en primera instancia desarrollar un protocolo específico conteniendo las variables e indicadores por evaluar, pues el cambio de paradigma con relación al sistema tradicional basado en sacarosa varía significativamente.

Cuadro 21. Clones procedentes de la Estación Experimental de Canal Point (CP), Florida, con potencial genético para la producción de biomasa y alta fibra- 2009.

N°	CLON	N°	CLON	N°	CLON
1	875-3 *	10	US 82-1655 *	19	US 85-1006
2	US 74-1010 *	11	US 84-1002	20	US 88-1002
3	US 74-1014	12	US 84-1009	21	US 88-1004
4	US 78-1009	13	US 84-1014	22	US 88-1006
5	US 78-1011 *	14	US 84-1017	23	US 88-1008
6	US 78-1012	15	US 84-1021	24	US 90-1092
7	US 78-1013 *	16	US 84-1047 *	25	US 04-1009
8	US 78-1014 *	17	US 84-1061		
9	US 81-27-5	18	US 84-1066 *		

* Clones adelantados a fase de prueba IV en USDA, Florida.

Importados por DIECA en enero del 2009.

Fuente: Chaves (2009).

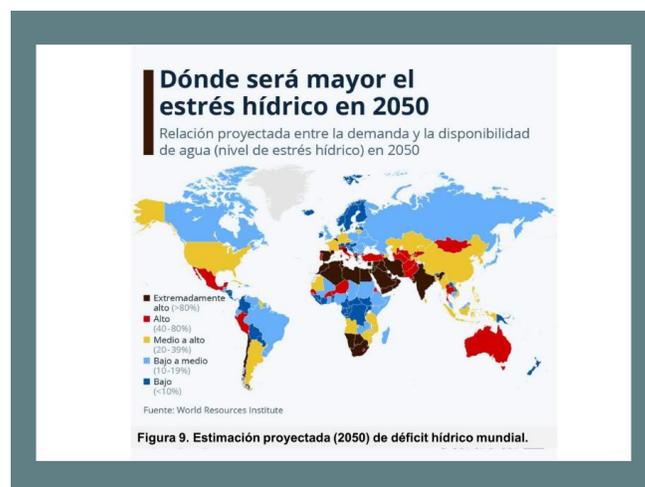
Uso potencial

Es un hecho comprobado que la producción energética basada en el petróleo y el carbón disminuye rápida y sistemáticamente y la energía nuclear decrece, mientras que los ciclos de cogeneración se mantienen y aumentan en aceptación. Una valoración objetiva de las tendencias energéticas mundiales apunta a que las renovables son el único ámbito de la energía que crece y se desarrolla de manera sostenida y con buena perspectiva de aceptación futura. Este hecho irrefutable aunado a los profundos impactos proyectados y ya comprobados a nivel mundial y nacional provocados por el Cambio Climático, auguran condiciones de sequía y estrés hídrico variables que de alguna manera impactarán a todos, como lo muestra la Figura 9, lo cual sugiere que aquellos países que como Costa Rica basan su matriz energética en el recurso agua, tendrán serios problemas. Es por tanto obligado, que la nación busque alternativas energéticas que puedan de alguna manera solventar esa posibilidad, pues el Cambio Climático es

inobjetablemente una realidad por confrontar. Tampoco puede ilusamente pensarse que será una fuente la solución, cuando lo razonable es pensar en el aporte de las diversas opciones renovables disponibles.

La combustión de la biomasa no incrementa la concentración atmosférica de carbono en favor del Cambio Climático por incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), porque solo devuelve a la atmósfera el carbono que fijó la planta durante su fase vegetativa de crecimiento. En este caso la biomasa aprovechable energéticamente son el bagazo y los RAC. El bagazo, los Residuos Agrícolas de la Cosecha (RAC) y la producción de biogás obtenida a partir de los residuos vegetales, líquidos azucarados y alcohólicos son fuentes potenciales importantes de combustible y energía alternativa posibles de obtener a partir de la actividad azucarera; la opción está ahí, debe valorarse y de ser viable y factible estimularse e implementarse. El bagazo podría ser también utilizado en la industria papelera como fuente de fibra, lo cual evitaría la indeseable tala de árboles, en afectación del ciclo del agua y promoción de la sequía y la desertificación.

Buena parte de la biomasa que es quemada en las 10 fábricas de azúcar activas actualmente en el país podría y debería racionalmente ser aprovechada como una alternativa de producción de energía biomásica limpia y renovable, contribuyendo de incrementarse y optimizarse, con la diversificación y mejora de la matriz energética nacional.



Conclusión

La historia revela que el hombre ha desarrollado una inconveniente y larga dependencia hacia los combustibles

fósiles, surgida desde la revolución industrial (siglo XVIII) y mantenida a la fecha, virtud de la eficiencia y satisfacción que los mismos mostraron como fuente energética utilizada en varias aplicaciones; lo cual, sin embargo, ahora se cuestiona virtud de la contaminación y afectación que los GEI provocan. Es a partir de este hecho que surge la imperiosa y obligada necesidad de buscar nuevas y mejores alternativas, cuya tendencia es desarrollar sistemas de generación de energía con fundamento en la utilización de energías limpias y renovables. La biomasa es un recurso que ofrece una gran posibilidad virtud de su disponibilidad en casi todo el mundo, motivo por el cual se ha consolidado la iniciativa de desarrollar e implementar tecnologías o procesos en esa orientación, de manera que se pueda aprovechar este recurso natural tan abundante y de fácil renovación.

El cambio climático está muy íntimamente ligado a las pautas de utilización de la energía. La primera forma de incidir en la reducción y mitigación del Cambio Climático es modificando las fuentes de energía tradicional y convencional basada en hidrocarburos fósiles que utilizamos. Es aquí donde vienen al caso los energéticos renovables y la energía generada a partir de la biomasa en particular. Esta es la única fuente de energía por completo neutra en CO₂, lo que significa e implica no aumentar el dióxido de carbono en la atmósfera. Los combustibles fósiles, el petróleo, el carbón y el gas natural contribuyen de manera directa y muy significativa con el calentamiento del planeta, lo que constituye un riesgo múltiple para la agricultura y demás actividades humanas. Los expertos proyectan basados en estimaciones confiables que las reservas de combustibles fósiles sólo durarán posiblemente otros 40 o 50 años, luego entrarán en crisis.

El cuidado de los ecosistemas basado en el uso de recursos provenientes de la biomasa, no tóxicos, renovables y biodegradables, debe ser la premisa por seguir en las estrategias de investigación público-privada nacional en materia energética. Entre las biomásas disponibles y producidas comercialmente, la caña de azúcar destaca por su elevada y eficiente capacidad de fotosíntesis y transformación. La necesidad de potenciar el uso de materiales biomásicos como el bagazo y los RAC de la caña es posible, ya que se dispone de la tecnología y las reservas potencialmente abundantes y de tendencia creciente si se deseara, lo cual estará dado por la decisión de incorporarlas como parte de las políticas públicas del país.

Las características fisicoquímicas e investigaciones realizadas en el mundo han determinado que el bagazo de caña de azúcar es una fuente considerable de biomasa, la cual es aprovechable para habilitar la cogeneración de energía eléctrica. La biomasa puede utilizarse también como fertilizante, materia prima en la producción de abonos orgánicos, la industrialización de papel y la destilación de biocombustibles. Además, cuando se combina con otros elementos de origen agrícola, puede emplearse para la elaboración de polímeros biodegradables, lo que sería beneficioso para el medio ambiente, como lo sugieren Chaves (2023b), Bolaños y Núñez (2022). Su empleo en la alimentación pecuaria es de igual manera muy beneficioso y rentable, aunque se requieren aditivos para compensar las deficiencias nutricionales que presenta.

La cogeneración bioenergética a partir del empleo de bagazo residual y los RAC de la caña constituye una tecnología conocida, viable y factible para la agroindustria cañero-azucarera por diversos motivos, pues: a) establece una independencia energética debido a que autoabastece el sistema operativo fabril, b) permite eliminar considerables y onerosos gastos por consumo eléctrico, c) es operada y generada a partir de la misma actividad productiva (economía circular), d) caso de convenirse y eficientizarse posibilita generar excedentes para incorporar a la red eléctrica nacional, e) incorpora valor agregado a residuos potencialmente problemáticos y f) posee ambientalmente gran aceptación virtud de su naturaleza renovable y biodegradable. El tema ha sido ya abordado y analizado en el país con interés en algunas oportunidades (Chaves 1993; Bermúdez y Chaves 2004), sin contar sin embargo con la continuidad y profundidad necesaria y requerida, como lo merece un asunto de tanta actualidad y trascendencia nacional.

El hecho de que casi el 68% de la capacidad energética instalada nacional es hidroeléctrica su estabilidad y crecimiento se torna muy vulnerable hacia futuro, debido a las grandes variaciones e inestabilidad climática observada. Esta realidad como ha sido visto en el presente año genera incertidumbre, zozobra y la posibilidad de llegar a tener que imponer posibles racionamientos de energía, lo que está aún por verse pese a estar en periodo lluvioso. Esta situación ha obligado actualmente al empleo de energía obtenida por vía térmica mediante el empleo de combustibles fósiles (bunker y diesel), con el perjuicio que en materia de costos, tarifas y ambiente genera. El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) cuenta con 11 unidades operativas en su Planta Térmica de Garabito,

ubicada en la Pitahaya, provincia de Puntarenas, la más importante del país por tamaño y aporte de electricidad producida mediante hidrocarburos.

La economía costarricense consume en la actualidad cerca de un 49% de energía proveniente del petróleo, lo que justifica y obliga trabajar en la diversificación de las fuentes de energía eléctrica mediante el empleo de recursos y tecnologías limpias y renovables, procurando alcanzar un desarrollo sostenible en sus tres grandes dimensiones: *social, económica y ambiental*. La diversificación energética y la descarbonización de la economía deben ser una meta estratégica nacional impostergable y no apenas parte del discurso político y ambiental.

Resulta necesario, obligado e ineludible trabajar con responsabilidad social, económica y ambiental para crear un sistema eléctrico robusto, diversificado, ecoeficiente, sostenible y competitivo que responda a las necesidades que impone el desarrollo. En esta coyuntura el potencial energético generado a partir de la biomasa cañera debe ser analizado y apoyado.

Literatura citada

- Aguilar Rivera N. 2011. Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. XII, Núm. p: 1189-197.
- Arias Polo, G.N. 2017. La Fábrica de Azúcar de Caña: Fuente de Energía Renovable. Generación y consumo de vapor, agua y electricidad. La Habana, Cuba. 427 p.
- Bermúdez Loría, A.Z.; Chaves Solera, M.A. 2004. Transcripción de Panel: Capacidad potencial para cogenerar energía y producir etanol por parte del sector azucarero costarricense. San José, Costa Rica. Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 30 setiembre. 38 p.
- Berrocal, M. 1988. Efecto de los residuos de la industria azúcar - alcoholera, bagazo, cachaza y vinaza, en la producción de caña y azúcar en un Vertisol de Guanacaste. Agronomía Costarricense 12 (2): 147-153.
- Bolaños Porras, J.; Núñez Chacón, K. 2022. Manejo y aprovechamiento de los desechos en la agroindustria cañera. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(3): 5-10, febrero.
- Correa, J.L. 1988. Preparación, Almacenamiento y Conservación del bagazo para la Industria de derivados. En: Subproductos y Derivados de la Agroindustria Azucarera. México D.F. Colección GEPLACEA, Serie DIVERSIFICACIÓN, Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar. p: 39-62.
- Chaves Solera, M.A. 1985a. Algunas nociones sobre la producción de residuos agroindustriales y la legislación vigente en Costa Rica para regular sus efectos contaminantes. En: Taller Regional Sobre Residuos Agrícolas y Agroindustriales en América Latina y El Caribe. Santiago, Chile, 1984. Memorias. Santiago de Chile, PNUMA/CEPAL/GEPLACEA, julio. 25 p.
- Chaves Solera, M.A. 1985b. Diagnóstico sobre la producción y utilización de los residuos agrícolas y agroindustriales en Costa Rica. En: Taller Regional sobre Residuos Agrícolas y Agroindustriales en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 1984. Memorias. Santiago de Chile, PNUMA/CEPAL/GEPLACEA, julio. p: 155-321.
- Chaves Solera, M.A. 1993. Antecedentes, situación actual y perspectivas de la agroindustria azucarera y alcoholera costarricense. En: Participación de DIECA en el IX Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, octubre. p: 1-116. *También en:* Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 9, San José, Costa Rica, 1993. Memoria: Sesiones de Actualización y Perspectivas. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, octubre. Volumen 1.116 p.
- Chaves Solera, M. 2001. Estimación de la cantidad de residuos y derivados producidos por la agroindustria azucarera costarricense. In: Seminar on Development of Environmentally Compatible Polymers from Biowaste. San José, Costa Rica, 2001. Proceedings. San José, UNA/POLIUNA/NIMC/Fukui University of Technology. February - March. p: 92-110.
- Chaves Solera, M. 2007. Producción potencial de residuos agroindustriales por el sector azucarero costarricense. En: Encuentro Nacional Sobre Uso de Derivados Agroindustriales de la Caña de Azúcar, 1, Liberia, Guanacaste, 2007. Memoria. San José, Dirección de Investigación de la Caña de Azúcar; Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

- (CYTED) y Escuela Agrícola de la Región Tropical Húmeda (EARTH)/ La Flor, Centro Daniel Oduber, 26-28 de junio.
- Chaves Solera, M.A. 2009. CIRCULAR Nº 02-2009. CLONES PARA BIOMASA. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, 29 de enero. 1 p.
- Chaves Solera, M.A. 2018. Genética aplicada a la mejora de las plantaciones comerciales de caña de caña de azúcar. En: Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 43 p.
- Chaves Solera, M.A.; Bermúdez Acuña, L.; Méndez Pérez, D.; Bolaños De Ford, F. 2018. Medición de los indicadores de calidad de la materia prima procesada por los Ingenios azucareros de Costa Rica durante el Periodo 2004-2016 (13 zafras). En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 2, Puntarenas, Costa Rica, 2018. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), junio 5 al 7, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 75 p. También en: Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 75 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, MA. 2019b. Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica. En: Seminario Internacional: Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica. Hotel Condovac La Costa, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2019. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 15, 16 y 17 de octubre, 2019. 114 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019c. Ambiente agroclimático y producción de caña de azúcar en Costa Rica. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020a. Implicaciones del clima en la calidad de la materia prima caña de azúcar. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(1): 5-12, enero.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. Atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar para enfrentar el cambio climático. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 5-14, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. Ambientes climáticos y producción competitiva de la caña de azúcar en Costa Rica. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(26): 5-12, diciembre-enero.
- Chaves Solera, M.A. 2022. Sistemas agrícolas de producción de caña de azúcar en Costa Rica: primera aproximación. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(20): 5-26, octubre.
- Chaves Solera, M.A. 2023a. Sistema fotosintético: motor natural de eficiencia de la caña de azúcar. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 5(5): 5-18, marzo.
- Chaves Solera, M.A. 2023b. Residuos y derivados de la agroindustria cañero-azucarera ¿Qué se produce? ¿Qué se genera? ¿Qué se aprovecha? Boletín Agroclimático (Costa Rica) 5(14): 5-29, julio.
- Chen, J.C.P. 1991. Manual del azúcar de caña. Para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados. Editorial LIMUSA, S.A. México D.F. p: 135-155.
- Díaz, R. 2008. Caracterización Energética del Bagazo de Caña de Azúcar del Ingenio Valdez. Ecuador. En: Curso Internacional: "Producción y Aprovechamiento Energético de Biomasa", septiembre 8 al 12 de 2008, Riobamba – Ecuador. 4 p.
- Horst, B. 1984. Generadores de vapor de bagazo, experiencias y tendencias. Power Station Building Industry, RDA.
- Hudson, J.C. 1975. Sugar cane: energy relationships with fossil fuels. The Sugar Journal 18(1): 12-14, oct.
- Hugot, E. 1984. Manual para Ingenieros Azucareros. México. Ed. Continental. 803 p
- ICIDCA. 1986. La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba. Editorial Científico-Técnica. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). 576 p.
- ICIDCA/GEPLACEA/PNUD. 1988. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. Primera reimpresión. México D.F. Colección

- GEPLACEA, Serie DIVERSIFICACIÓN, Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar. p: 32-40, 60-158.
- ICIDCA/GEPLACEA/PNUD. 1990. Bagazo. En: Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. Segunda edición. México D.F. Colección GEPLACEA, Serie DIVERSIFICACIÓN, Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar. p: 47-58, 85-220.
- INTA. sf. La caña de azúcar como cultivo energético. Argentina. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Sitio Argentino de Producción Animal. 18 p. Consultado el 3 de junio en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/Cania_azucar/34-Cana-De-Azucar-Como-Cultivo-Energetico.pdf
- Jácome Pilco, C.R.; García Culqui, R.M.; Guevara Narváez, L.A.; Moreta Guangasi, T.Y. 2023. Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. 593 Digital Publisher CEIT, 8(3): 134-148, mayo-junio.
- Lizárraga, R. 2020. Cogeneración de Energía. México. Universidad Tecnológica de Altamira.
- Moore, P.H.; Paterson, A.H.; Tew, T. 2014. Sugarcane: The Crop, the Plant, and Domestication. En: Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology. 2014. edited by Paul H. Moore, Frederick C. Botha. John Wiley & Sons, Inc. p: 1-17.
- Oliva Merencio, D.; Antolín, G. 2003. Caracterización del bagazo de caña de azúcar mediante análisis térmico. Información Tecnológica, January. Consultado el 02 de junio 2024 en: <https://www.researchgate.net/publication/273821584>
- Saraswathi, N.; Kit, L., Hui, C.; Ahmad, H.; Bin, A.; Boon, K.; Huang, M. 2019. Biobutanol production from sugarcane bagasse by *Clostridium beijerinckii* strains. Biotechnology and Applied Biochemistry, 67(5), 1-7. Consultado el 2 de junio 2024 en: <https://doi.org/10.1002/bab.1865>
- Subirós Ruiz, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica: EUNED. 448 p.

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

Producción

Karina Hernández Espinoza, Meteoróloga (Coordinadora y editora)
Katia Carvajal Tobar, Ingeniera Agrónoma
Nury Sanabria Valverde, Geógrafa
Marilyn Calvo Méndez, Geógrafa

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO
INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

Recomendaciones agrícolas

Erick Chavarría Soto, Ingeniera Agrónoma

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES
LIGA AGRÍCOLA INDUSTRIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Recuerde que puede acceder los boletines en
www.imn.ac.cr/boletin-agroclima y en
www.laica.co.cr