

Periodo del 28 de agosto al 10 de setiembre 2023

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA QUINCENA DEL 31 DE JULIO AL 13 DE AGOSTO 2023

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.

En la figura 1 se puede observar, a partir de datos preliminares de 112 estaciones meteorológicas, el acumulado quincenal de lluvias sobre el territorio nacional. Periodo en el cual el IMN contabiliza 2 ondas tropicales.

Los promedios de lluvia acumulada a nivel diario varían según la región cañera. Se tuvieron valores acumulados de lluvia diaria entre 1 – 41.5 mm y días sin lluvia (16 y 19) en la **Región Guanacaste Este**; mientras la **Región Guanacaste Oeste** se registraron entre 1 – 55.9 mm; en la **Región Norte** se reportó entre 1 – 39.2 mm. La **Región Puntarenas** presentó entre 1 – 24.5 mm, excepto el día 22-23 (86.8 y 85.1 mm respectivamente) y día sin lluvia (16). La **Región Sur** mostró entre 1 – 52.6 mm y día sin lluvia (15). La **Región Turrialba** acumuló lluvias entre 1 – 28.3 mm y días sin lluvia (14-15, 18-20 y 25-26). La **Región Valle Central** tuvo entre 1 – 25.8 mm, excepto el día 14 (67.0 mm) y días sin lluvia (15-16).

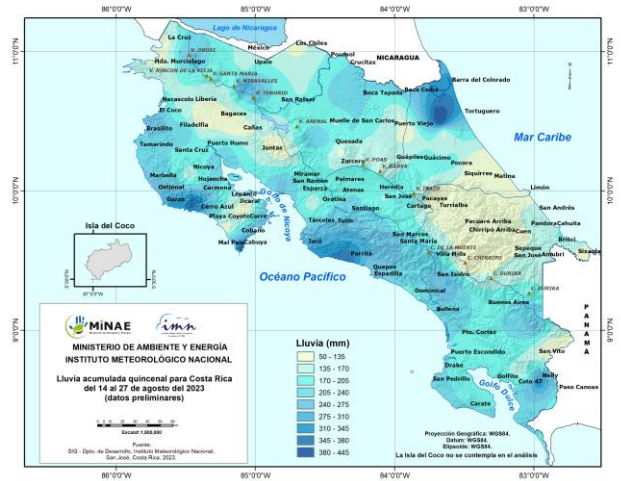


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la quincena del 14 de agosto al 27 de agosto del 2023.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS DEL 28 DE AGOSTO AL 03 DE SETIEMBRE

De la figura 2 a la figura 8, se muestran los valores diarios pronosticados de las variables lluvia (mm), velocidad del viento (km/h) y temperaturas extremas (°C) para las regiones azucareras. La **Región Norte** mantendrá viento variable (Este-Oeste) el lunes, seguido de viento del Este; temperatura media más cálida y lluvia levemente deficitaria. La **Región Guanacaste (Este y Oeste)** presentará viento variable (Este-Oeste) el lunes, seguido de viento del Este que presentará reducción paulatina desde el viernes hasta el domingo; temperatura media más cálida de lo normal; con lluvias levemente deficitarias, que se percibirán aún más deficitarias en la Península de Nicoya. En la **Región Sur** se espera viento variable (Este-Oeste) con máximo el miércoles; temperatura media más cálida de lo normal y lluvia deficitaria. El **Valle Central (Este y Oeste)** tendrá viento variable (Este-Oeste) el lunes, seguido de viento del Este; con temperatura media más cálida de lo normal y lluvia levemente deficitaria. Para la **Región Turrialba (Alta y Baja)** se prevé variable (Este-Oeste) con dominancia del Este; temperatura media más cálida de lo normal y lluvia deficitaria. La **Región Puntarenas** mantendrá viento variable (Este-Oeste), con temperatura media más cálida y lluvia deficitaria.

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

Agosto 2023 - Volumen 5 – Número 17

*“Tránsito de la onda tropical #32 este viernes.
Sin presencia considerable de polvo Sahariano sobre el país.”*

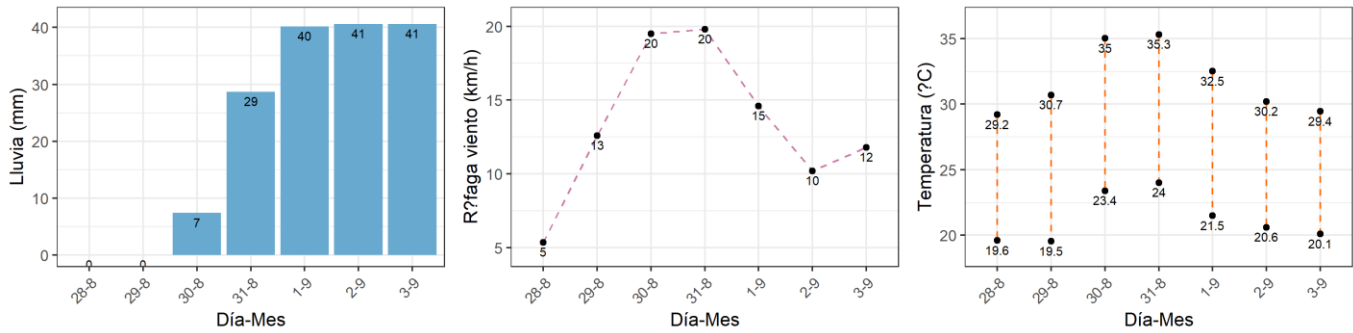


Figura 2. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de agosto al 03 de setiembre en la región cañera Guanacaste Este.

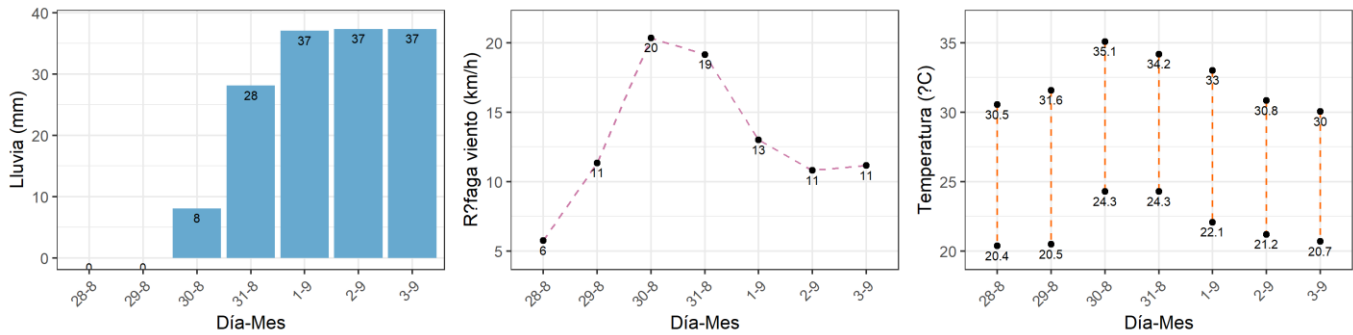


Figura 3 Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de agosto al 03 de setiembre en la región cañera Guanacaste Oeste.

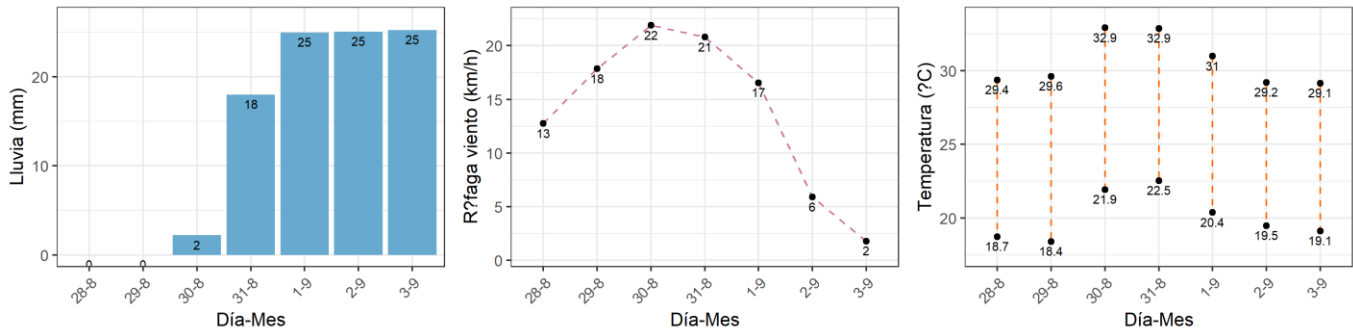


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de agosto al 03 de setiembre en la región cañera Puntarenas.

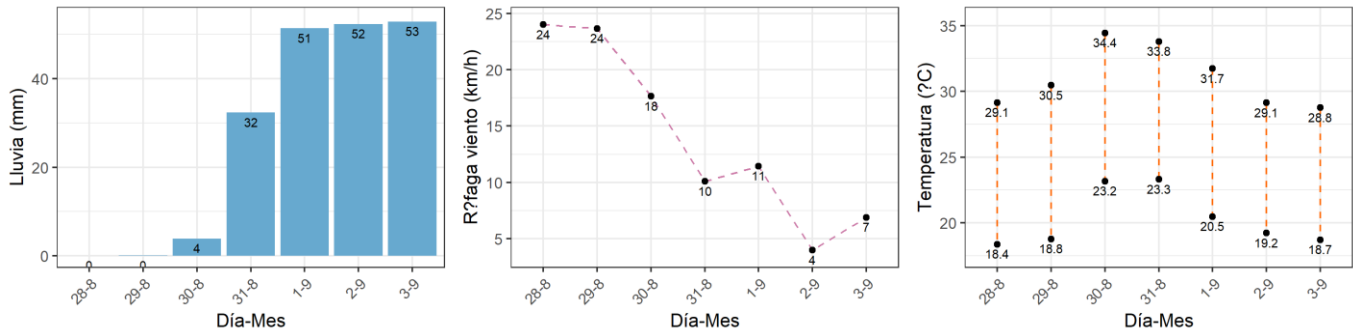


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de agosto al 03 de setiembre en la región cañera Región Norte.

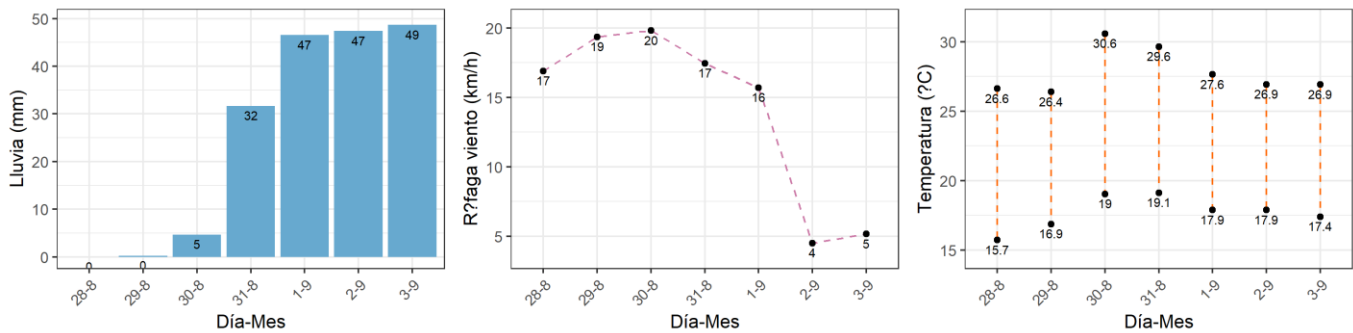


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de agosto al 03 de setiembre en la región cañera Valle Central (Este y Oeste).

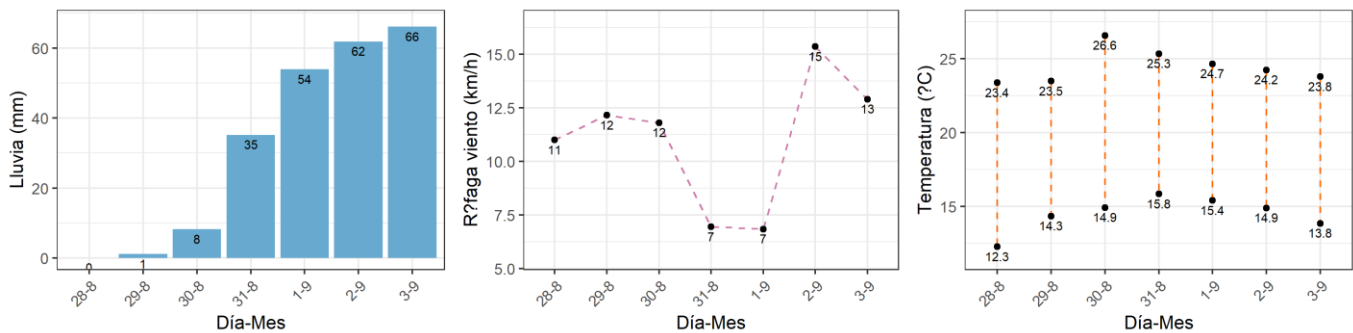


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de agosto al 03 de setiembre en la región cañera Turrialba (Alta y Baja).

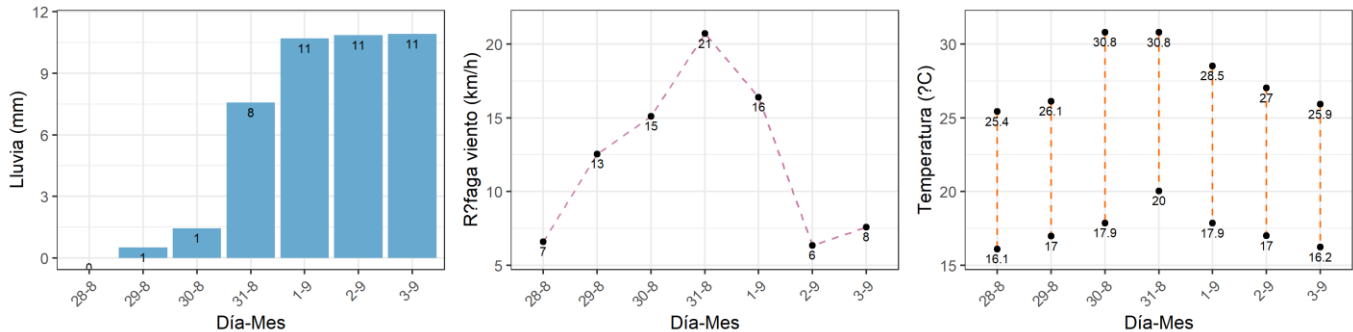


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 28 de agosto al 03 de setiembre en la región cañera Región Sur.

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 04 DE SETIEMBRE AL 10 DE SETIEMBRE

No se descarta afectación por onda tropical en el transcurso de la semana. La **Región Huetaar Norte** mantendrá viento del Este más acelerado de lo normal; temperatura media normal; con lluvia deficitaria. La **Región Chorotega (Este y Oeste)** presentará viento del Este más acelerado de lo normal; así como temperatura media más cálida al Oeste; con lluvia deficitaria. En la **Región Sur** evidenciará viento del Este más acelerado de lo normal; con temperatura media más cálida y lluvia deficitaria. La **Región Valle Central (Este y Oeste)** mostrará viento del Este más acelerado de lo normal; así como temperatura media normal y lluvia deficitaria. La **Región Turrialba (Alta y Baja)** tendrá viento del Este más acelerado de lo normal, temperatura media normal; con lluvia deficitarias particularmente en sectores montañosos y lluvia normal en sectores costeros. La **Región Puntarenas** mostrará viento del Este más acelerado de lo normal, temperatura media más cálida y lluvia deficitaria.

LAICA Y EL IMN LE RECOMIENDAN

Mantenerse informado con los avisos emitidos por el IMN en:

- @IMNCR
- Instituto Meteorológico Nacional CR
- @InstitutoMeteorologicoNacional
- www.imn.ac.cr

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, a inicios del periodo del 21 al 27 de agosto de 2023 se tuvieron condiciones de alta saturación en las regiones Guanacaste Oeste, Guanacaste Este, Región Norte y Región Sur; a mitad de la semana la humedad aumentó en todas las regiones cañeras debido a las condiciones lluviosas que se presentaron en el país, para el fin de semana el porcentaje de saturación se redujo en todas las regiones productoras.

Como se observa en la figura 09, la Región Guanacaste Oeste tiene entre 45% y 90%, mientras que la Región Guanacaste Este está entre 45% y 100% de saturación. La Región Puntarenas presenta entre 30% y 60%; la Región Valle Central Oeste tiene entre 45% y 75% y la Región Valle Central Este presenta entre 45% y 60%.

La Región Norte está entre 30% y 75%. La Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) tiene entre 30% y 90% y la región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) presenta entre 30% y 60%. La Región Sur varía entre 30% y 100% de humedad.

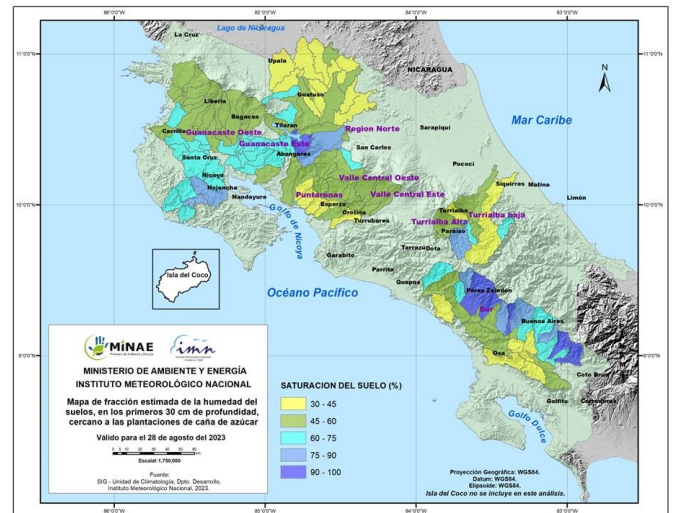


Figura 09. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 28 de agosto de 2023.

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

Producción y edición del Departamento de Desarrollo
Coordinación: Karina Hernández Espinoza, Meteoróloga
 Katia Carvajal Tobar, Ingeniera Agrónoma
 Nury Sanabria Valverde, Geógrafa
 Marilyn Calvo Méndez, Geógrafa

Modelos de tendencia del Departamento de
 Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

NOTA TÉCNICA

Composición química y sacarosa en la caña de azúcar

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

chavessolera@gmail.com

Especialista cultivo de la Caña de Azúcar

Introducción

En el vocabulario técnico y también popular empleado habitualmente por el productor empresario de la caña y el fabricante de azúcar, el vocablo “sacarosa” resulta de muy amplio uso y relativa comprensión, virtud de la complejidad y las implicaciones directas e indirectas que para la agroindustria y el negocio cañero-azucarero tiene. Sin embargo, más que un simple término en realidad la expresión “sacarosa” reviste todo un concepto que por su naturaleza y alcances puede ser complejo virtud de las implicaciones y relaciones que mantiene con los procesos fisiológicos, metabólicos, enzimáticos, hormonales y microbiológicos que acontecen en la planta de caña durante su ciclo vegetativo; como también los de índole química y microbiológica que se dan en las fases de preparación, extracción y fabricación de azúcar en el ingenio.

Es por esta razón muy común que en la valoración que se hace de los factores importantes y determinantes que participan e intervienen en el éxito de la agroempresa azucarera, la aplicación e interpretación del concepto se quede corta y las inferencias generadas sean por tanto superficiales, insuficientes y poco contributivas a explicar y fundamentar los resultados obtenidos, sean estos positivos o por el contrario poco motivadores.

Durante la zafra, particularmente en el último tercio del periodo vegetativo de las plantaciones comerciales y durante todo el periodo de cosecha, molienda y fabricación, es muy común escuchar predicciones y aseveraciones diversas, como son entre otras: *los contenidos de sacarosa andan bien o mal, la concentración de azúcar es alta o baja, hay poca o mucha riqueza de azúcar en la materia prima cosechada, la calidad de la caña entregada es óptima o deficiente, la zafra es buena o mala, los tallos tienen poca o mucha sacarosa*; en fin, son muy diversos los criterios y opiniones que se emiten para referirse a

un mismo concepto cuya percepción si es, pese a todo, genérica y comprensible para todos.

A lo anterior se suma el hecho de que el diccionario cañero contiene y emplea términos que por su trascendencia deben ser conocidos y bien interpretados por todos, como acontece con los concernientes a: *azúcares, no azúcares, sacarosa, pol, sacarosa en caña, sacarosa en jugo, Pol % caña, azúcares reductores, azúcares no reductores, inversión de azúcar, azúcar común o azúcar de mesa*, entre otros. No hay duda de que la sacarosa es uno de los objetivos primordiales de favorecer con todo el esfuerzo técnico y empresarial realizado.

Esta irrenunciable realidad del campo y la fábrica torna ineludible, obligado y hace prudente profundizar lo necesario en el tópico aludido, con el fin de aportar elementos que favorezcan la mejor comprensión, interpretación y juzgamiento de los resultados que se generan a partir de una simple entrega de materia prima para procesamiento en el ingenio; como también del resultado agroindustrial final de un periodo de molienda y una zafra.

El presente documento se formula con el objetivo principal de comentar de manera específica y con algún grado de detalle, en torno al contenido químico y la sacarosa procurada acumular y concentrar en el campo en los tallos industrializables de la planta de caña, y extraída a partir de la materia prima entregada y procesada con el objeto de fabricar azúcar en el ingenio.

Composición biomásica de la caña

Como cualquier ser vivo la planta de caña de azúcar posee una estructura anatómica, estructural y composición química muy particular y compleja, virtud de la intensa y dinámica actividad fisiológica y metabólica que desarrolla en las diferentes etapas o fases que su ciclo vegetativo natural impone, como son

desarrollo de raíces, germinación, formación de cepa, ahijamiento, retoñamiento, crecimiento, floración y maduración. Dichos procesos como es comprensible entender y apuntara Chaves (2019a, 2020ai), son intervenidos y afectados de manera sinérgica pero también antagónica por diferentes elementos de carácter biótico y abiótico que los impactan.

Al referirse en específico al contenido y la composición química de la planta de caña de azúcar, es imperativo y prudente por las razones anteriores, conocer y ubicarse para interpretar correctamente la información generada, en la fase del ciclo vegetativo en que se tomaron los datos del cultivo; esto por cuanto resulta muy diferente el estado fenológico de crecimiento activo respecto por ejemplo al de maduración, como será explicado seguidamente. Por razones obvias y partiendo del hecho que el objetivo principal de la actividad es la fabricación de azúcar, es sin lugar a duda el estado final de maduración de la planta el que mayor interés muestra conocer desde la perspectiva industrial.

En el Cuadro 1 se presenta la forma y distribución aproximada en que está compuesta la planta de caña de azúcar en su estado natural, lo que denota una fracción importante correspondiente a biomasa representada por hojas verdes y secas, cogollo y vainas, lo que según ICIDCA-GEPLACEA-PNUD (1990) representa un 28% del total de la planta; el resto (72%) lo constituyen los tallos limpios industrializables. Como es sabido, como premisa técnica y comercial se busca en la actualidad eliminar al máximo los componentes que no contengan sacarosa ni sean industrializables en el ingenio, buscando con ello que la materia prima este compuesta exclusivamente de tallos con potencial e interés fabril; lo que implica eliminar la denominada basura o *trash* mediante prácticas de limpieza realizadas en el campo y en la fase de recibo del material vegetal empleado como materia prima.

Cuadro 1. Composición aproximada de la caña en su estado natural.

Componente	%
Tallos limpios	72
Vainas y hojas secas	20
Cogollo y hojas verdes	8

Fuente: ICIDCA-GEPLACEA-PNUD (1990).

Asegura Subirós (1995) al respecto basado en el Cuadro 2, que *“La caña de azúcar, en su madurez, está compuesta aproximadamente por un 72% de tallos limpios, 7% por mamones, 12% de cogollo y 9% de hojas y otros. El material que se utiliza para procesar (tallos limpios) además de sacarosa, está compuesto por agua, cachaza, miel y bagazo. De estos a su vez, se producen cerca de 50 derivados más, que sirven como materia prima para la elaboración de más de 100 productos.”*

Cuadro 2. Composición vegetativa de la caña de azúcar en su madurez.

Componente	%
Tallos molederos	71,80
Cogollo	12,58
Hojas y otros	8,70
Mamones	6,92

Fuente: Subirós (1995).

Materia prima de calidad

La calidad de la materia prima producida, cosechada, entregada y procesada en el ingenio es fundamental, pues define en alto grado la cantidad de sacarosa extraída y recuperada en la fase industrial, lo que determina la eficiencia fabril y la rentabilidad de todo el proceso agroindustrial (Larrahondo 2015). En Costa Rica se realiza desde hace mucho tiempo un enorme esfuerzo por procurar maximizar la concentración de sacarosa en los tallos, y cosechar materia prima limpia y de muy alta calidad, para lo cual se efectúan prácticas en el campo orientadas a favorecer la cosecha de los tallos en su punto de mayor acumulo mediante control de madurez, empleo de madurantes químicos, cosecha en edad, época oportuna y condiciones apropiadas; además de asegurar que el tiempo transcurrido entre corta y molienda de la biomasa sea el mínimo posible, máxime si la plantación es quemada.

En el Cuadro 3 se expone de manera resumida el resultado integral de seis estudios de campo representativos de todas las regiones productoras de caña del país, dónde se determinó la condición de limpieza de las entregas comerciales de caña al ingenio, demostrando el buen estado de la materia prima entregada por los Productores Independientes. El promedio

nacional de tallos limpios con potencial industrializable fue en este caso del 92,3% para un ámbito de variación entre 89,6 y 94,3% que es bastante bueno; siendo la fracción de hojas + cogollo la más importante como componente no deseado con una media de 4,3% y una fluctuación amplia ubicada con límites entre 1,6% y 8,0. Le siguió la presencia de tallos inmaduros y por su condición no industrializables con una media nacional del 2,6% y un ámbito de 0,5% a 4,8%, lo que demuestra variaciones regionales en el manejo de las plantaciones y modalidad de cosecha practicada. El resto de las fracciones fue despreciable. Es por tanto en las dos fracciones mayoritarias y más significativas e impactantes (hojas + cogollo y tallos no industrializables), donde debe concentrarse el esfuerzo técnico y administrativo en procura de procesar materia prima de alta calidad industrial.

proceso industrial asociado (Larrahondo 2015). Como principio industrial insoslayable e ineludible que se debe aceptar y respetar, se tiene que **“no es posible extraer en la fábrica más azúcar de la que la materia prima contenga en sus tallos”**



Figura 1. Calidad de materia prima sana y deficiente entregada para procesamiento fabril.

Contenido químico de la caña

En lo que respecta al contenido químico de la planta de caña de azúcar la información disponible es muy escueta y limitada, aunque por su naturaleza muy variable y volátil en lo que respecta a valores, contenidos y concentraciones, sea en los tejidos de la planta, el jugo de la caña o en sus residuos y derivados, virtud de la gran cantidad de factores que inciden e intervienen. Entre esos factores se tienen como más incidentes para considerar al interpretar valores, el tipo de suelo donde se ubica el cultivo, el clima prevaleciente en el lugar dónde se sitúa la plantación, las características, propiedades y atributos de la variedad sembrada, el número de cosechas realizado a la plantación, el origen y la edad del tejido o producto analizado, la fertilización incorporada, el manejo agronómico aplicado a la plantación, las condiciones de madurez de la planta al momento de cosecha, el tipo y edad de la plantación durante su cosecha (mecánica, manual, verde, quemada) y el proceso fabril empleado, entre otros.

El tallo de la planta de caña cuando está limpio y libre de basura (hojas, vainas, cogollo, flor) se compone aproximadamente de un 70-75% de agua, consistiendo el resto en fibras y sólidos solubles en agua; los cuales son propiedades heredables y por tanto diferentes entre variedades. Es así como por ejemplo las

Cuadro 3. Composición % de materia extraña presente en entregas comerciales de materia prima según región productora, cantón e ingenio.

Fracción	Guanacaste		Puntarenas		Valle Central		Zona Norte		Turrialba		Zona Sur		Promedio
	Cañas	Puntarenas	Greccia	San Carlos	Jiménez	Pérez Zeledón	Cañas	Puntarenas	Greccia	San Carlos	Jiménez	Pérez Zeledón	
	Taboga	El Palmar	Argentina	Cutris	Juan Viñas	El General	Cañas	Puntarenas	Greccia	San Carlos	Jiménez	Pérez Zeledón	
Tallos Industriales	89,6	93,3	94,3	94,0	91,6	90,9	89,6	93,3	94,3	94,0	91,6	90,9	92,3
Tallos No Industriales	1,8	0,5	2,5	3,4	4,8	-	1,8	0,5	2,5	3,4	4,8	-	2,6
Hoja + Cogollo	8,0	4,1	2,1	1,6	2,2	7,9	8,0	4,1	2,1	1,6	2,2	7,9	4,3
Raíces + Cepa	0,1	0,5	0,1	0,2	0,6	0,1	0,1	0,5	0,1	0,2	0,6	0,1	0,3
Mamones	-	-	0,9	0,4	0,6	-	-	-	0,9	0,4	0,6	-	0,6
Tierra + Otros	0,5	1,6	0,1	0,4	0,2	1,1	0,5	1,6	0,1	0,4	0,2	1,1	0,7
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,8

Fuente: Chaves (2023b).

La anterior podría señalarse como la composición fraccional aproximada de la biomasa de caña que es producida en el campo, cosechada y molida en los ingenios nacionales, la cual contiene la sacarosa que será luego extraída, recuperada y cristalizada como azúcar comercial. Es importante agregar que dicha calidad esta además intervenida y es afectada por la presencia de otros factores bióticos y abióticos propios del sistema y forma de producción y manejo particular de la plantación, como son los provocados por las plagas, las enfermedades, los problemas ocasionados por deshidratación de los tallos, afectación por agroquímicos y malezas, falta de crecimiento por desnutrición, daño físico y mecánico, contaminación microbiológica, entre muchos otros, como se aprecia en la figura 1.

Debe quedar muy claro, por tanto, que es la materia prima la que determina en alto grado la cantidad y calidad del azúcar extraída y fabricada; lo cual va ligado también a la eficiencia del

otrora conocidas y bien ponderadas “*variedades nobles*” representativas del género *officinarum*, son ricas en contenido de agua, relativamente bajas en fibra, buena sacarosa, de maduración tardía y muy susceptibles a patógenos; mientras que los híbridos interespecíficos actuales difundidos mundialmente para uso comercial presentan mayores contenidos de fibra y azúcares (sacarosa) con periodos de maduración variables entre temprano, medio y tardío. Como es bien conocido y señalara Chaves (2018, 2023b), en la actualidad se hace un gran desarrollo genético por producir cañas altas en contenido de fibra (bagazo) y producción de biomasa, y muy bajas en sacarosa con fines energéticos para cogeneración eléctrica (Figura 2).



Figura 2. Producción de fibra para energía.

Cuadro 4. 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-GEPLACEA-PNUD (1990).

Se concluye a partir de lo anterior que existen en la caña de azúcar además de sacarosa, otros componentes, sustancias y materiales que caracterizan y tipifican la planta como excepcional y de muy amplio empleo comercial y utilitario, como lo demostrara Chaves (2018, 2023b). Como es sabido, la caña de azúcar es un cultivo que parte de híbridos comerciales procedentes en su formación de varias especies que pertenecen al género *Saccharum* lo que los hace genéticamente interespecíficos y muy complejos, como se aprecia en el Cuadro 4 en lo concerniente a su contenido medio de sacarosa, azúcares reductores y fibra.

Cuadro 5. Composición de la caña de azúcar y de los sólidos del jugo.

Caña Triturada	Caña (%)
Agua	73 - 76
Sólidos	24 - 27
- Sólidos solubles	10 - 16
- Fibra (Seca)	11 - 16
Componentes del Jugo	Sólidos Solubles (%)
Azúcares	75 - 92
- Sacarosa	70 - 88
- Glucosa	2 - 4
- Fructuosa	2 - 4
Sales	3,0 - 4,5
- Ácidos Inorgánicos	1,5 - 4,5
- Ácidos Orgánicos	1,0 - 3,0
Ácidos Orgánicos	1,5 - 5,5
- Ácidos Carboxílicos	1,1 - 3,0
- Aminoácidos	0,5 - 2,5
Otros No Azúcares Orgánicos	
- Proteínas	0,5 - 0,6
- Almidón	0,001 - 0,050
- Gomas	0,30 - 0,60
- Ceras, Grasa, Fosfátidos	0,05 - 0,15
Otros	3,0 - 5,0

Fuente: Irvine (1991).

En los Cuadros 5 y 6 se presenta un interesante detalle ampliado de la composición química aproximada de la caña referida tanto al jugo como a otros componentes importantes, que participan de manera directa e indirecta de la actividad fisiológica, metabólica y productiva de la planta. Como se infiere de esa información, la sacarosa contenida en el jugo y la celulosa en la fibra son los dos principales constituyentes químicos de la caña; los cuales están compuestos a su vez de azúcares simples y lignina. Por lo general, los azúcares simples como son la glucosa (dextrosa) y la fructuosa (levulosa) se encuentran sin formar cadenas, y en menor cantidad respecto a la sacarosa que es dominante. Otros azúcares están presentes como constituyentes complejos de las gomas o de las paredes celulares.

Es importante tener presente que la fabricación de azúcar a partir del jugo de la caña recuperado de la materia prima procesada en el ingenio se fundamenta en la capacidad de la sacarosa de poder cristalizar a partir de un jarabe denso, mientras que la glucosa y la fructuosa permanecen disueltas. Debe tenerse presente que los azúcares son carbohidratos compuestos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O); manteniendo los dos últimos una proporción similar a la del agua. Los azúcares simples, glucosa y fructuosa clasificados como monosacáridos no se pueden hidrolizar por ácidos o enzimas a moléculas más sencillas y pequeñas.

Los monosacáridos mantienen los átomos de carbono unidos sea a un grupo aldehído (aldosas) o cetónico (cetosas), y los otros átomos de carbono se enlazan a grupos hidroxilo (anión OH⁻). Los monosacáridos contienen por lo general cinco átomos de carbono (pentosas) o seis (hexosas), siendo la arabinosa presente en la goma una pentosa y la glucosa y la fructuosa hexosa. La sacarosa es en este caso un disacárido similar a la maltosa (azúcar de la malta) o la lactosa (azúcar de la leche), que cuando es atacada por ácidos o enzimas se hidroliza en sus dos monosacáridos componentes correspondientes (Figura 5).

Azúcares en la planta

Como se infiere de la información anterior, en términos generales la planta de caña de azúcar se compone de aproximadamente entre 65-76% de agua y entre 25-34% de materia seca. Esa materia seca comprende a su vez la fracción insoluble conocida como fibra, y también los sólidos totales solubles en agua, conocidos y nombrados como grados Brix. Esos indicadores son propios y aplicables a las variedades comerciales resultantes de los cruces interespecíficos de la especie *S. officinarum* con otras genéticamente afines, pues en el caso de las otras especies los contenidos son muy diferentes lo que involucra también tejidos y edad fenológica, como se aprecia en el Cuadro 3.

Los azúcares como agentes orgánicos con demostrada relevancia tanto en materia técnica como también económica para el caso particular de la caña de azúcar, corresponde a carbohidratos que están compuestos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O); dónde los átomos de H y O están usualmente presentes en la misma relación 2:1 observada en el agua (H₂O). Como se indicó con anterioridad, los

Cuadro 6. Composición química en porcentaje de una caña madura y sana.

Elemento	Porcentaje	
Agua	74,5	65 - 75
Azúcares	14,0	12 - 18
- Sacarosa	12,5	11 - 18
- Glucosa	0,90	0,2 - 1,0
- Fructuosa	0,60	0 - 0,6
Fibras	10,0	8,0 - 14,0
- Celulosa	5,50	
- Lignina	2,0	
- Pentosana (Xilana)	2,0	
- Goma de Caña (Arabana)	0,50	
Cenizas	0,50	0,30 - 0,80
- SiO ₂	0,25	
- K ₂ O	0,12	
- P ₂ O ₅	0,07	
- CaO	0,02	
- SO ₃	0,02	
- NaO	0,01	
- MgO	0,01	
- Cl	Trazas	
- Fe ₂ O ₃	Trazas	
Materiales Nitrogenados	0,40	0,30 - 0,60
- Aminoácidos (Ácido Aspártico)	0,20	
- Albuminoides	0,12	
- Amidas (como Asparagina)	0,07	
- Ácido Nítrico	0,01	
- Amoníaco	Trazas	
- Cuerpos Xánticos	Trazas	
Grasas y Ceras	0,20	0,15 - 0,25
Sustancias Pécicas, Gomas y Mucílago	0,20	0,15 - 0,25
Ácidos combinados		
- Málico, Succínico, etc.	0,12	0,10 - 0,15
Ácidos Libres		
- Málico, Succínico, etc.	0,08	0,06 - 0,10
Materiales Colorantes		
- Clorofila, Antocianina, Sacaretina, Polifenoles, etc.	No disponible	

Fuente: Fernandes (1984).

monosacáridos **glucosa** ($C_6H_{12}O_6$) y **fructuosa** ($C_6H_{12}O_6$) no pueden ser hidrolizados y reducidos a carbohidratos y moléculas más pequeñas; lo que si puede ocurrir con el disacárido **sacarosa** ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

Los contenidos de fibra % cañas presentes en las entregas comerciales de materia prima a los ingenios nacionales, son en promedio en el país de acuerdo con Chaves *et al* (2018) y Chaves (2019b) para 15 zafras (Periodo 2004-2018) y cerca de 13 ingenios, de 15,55% con un ámbito o amplitud de variación entre 12,36% (Quebrada azul) y 20,34% (El Viejo). Dicha fibra está constituida fundamentalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, estructurada a su vez de azúcares simples como glucosa. Los sólidos solubles en agua expresados como porcentaje de Brix y el agua conforman lo que se denomina jugo absoluto de la caña (100 - fibra % caña).

Informa Larrahondo (2014), que “En general, la industria azucarera ha agrupado los constituyentes principales de la caña de azúcar en seis componentes tecnológicos: fibra, Brix (sólidos solubles), Pol (sacarosa), pureza (Pol% / Brix), azúcares reductores (glucosa y fructuosa) y azúcares reductores totales (ART); los cuales permiten determinar la calidad de la caña o de la materia prima (caña comercial) que se procesa en la fábrica o ingenio azucarero.”

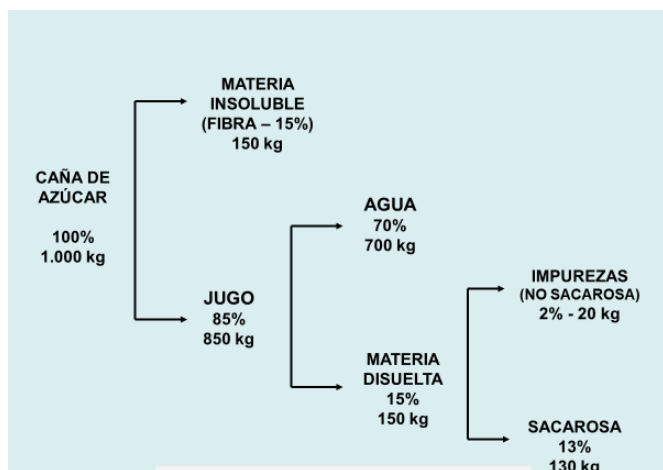


Figura 3. Composición básica de la caña de azúcar

La Figura 3 presenta un detalle sucinto pero muy revelador y explicativo de la composición general de la caña de azúcar en su estado de madurez expuesto en % y peso (kg), donde se infiere que del 100% el 85% corresponde a jugo absoluto y el

15% restante a fibra. Del 85% del jugo el 70% representa agua y el 15% restante materia disuelta en forma de sacarosa en una proporción de 13%; el 2% restante corresponde a no azúcares. Como se demuestra los sólidos solubles comprenden la sacarosa y también los no azúcares.

Siendo aún más específicos, se presenta en la Figura 4 un detalle comparativo de la composición aproximada de los tallos de la caña en estado de madurez respecto a otros inmaduros, lo que revela variaciones importantes en todos los indicadores, particularmente los correspondientes a fibra, agua, sólidos solubles y sacarosa. A partir de esta figura se concluye y ratifica la importancia y trascendencia de cosechar tallos en estado de madurez satisfactoria; pues de lo contrario se introduce y proceso y fabricación material con menos riqueza en sacarosa y contenidos de sustancias inconvenientes como colorantes.

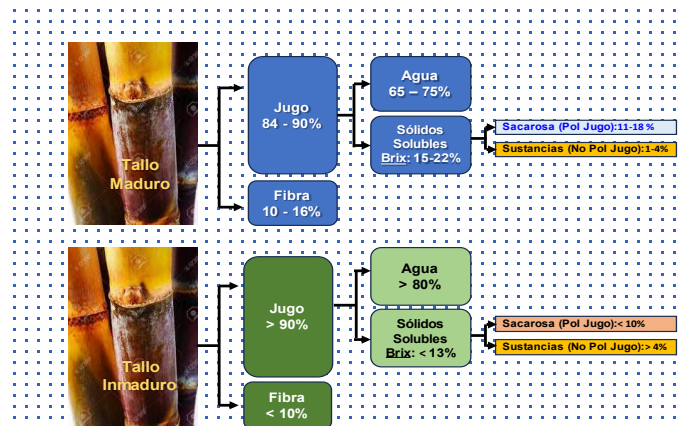


Figura 4. Composición tallos de caña según estado de madurez.

Durante la fotosíntesis la planta de caña de azúcar toma la energía de la luz mediante un proceso químico realizado por la clorofila (pigmento verde) contenida en la membrana tilacoide de los cloroplastos de las hojas, y la convierte en energía química en forma de azúcares. En un proceso impulsado por la energía de la luz, se crean moléculas de glucosa (y otros azúcares) que forman carbohidratos a partir de agua y dióxido de carbono (CO_2), mientras que se libera oxígeno (O_2) como producto de la reacción. El proceso consiste en una conversión de materia inorgánica a materia orgánica empleando la energía que aporta la luz solar (Solís 2017).

La **glucosa** es considerada el monosacárido más importante y abundante en la naturaleza; además de poseer una importancia

metabólica trascendente tanto en plantas, seres humanos como animales. Es un monosacárido con fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$.aldosa, esto es, el grupo carbonilo (átomo de carbono con un doble enlace ligado a un átomo de oxígeno) está en el extremo de la molécula. Es una forma de azúcar que se encuentra libre en las frutas y en la miel; se le considera un componente normal de la caña presente en todas las fases del ciclo vegetativo y de desarrollo de la planta, encontrándosele en el jugo en cantidades variables.

La fructuosa por su parte, es un azúcar natural que se encuentra presente y contenido en muchas frutas por lo cual se le conoce también como *“levulosa o azúcar de las frutas”*. En cantidades similares es más dulce que la glucosa o la sacarosa y, por lo tanto, se usa comúnmente como edulcorante. En la caña la fructuosa se combina con la glucosa para formar la sacarosa.

Se ha comprobado que la glucosa y la fructuosa son azúcares simples relativamente estables a bajos valores de acidez del medio, manteniendo su máxima estabilidad en pH de 3; siendo la fructuosa más sensible y menos estable al efecto térmico que la glucosa.

De acuerdo con Larrahondo (2012) *“La mayor diferencia entre la remolacha azucarera y la caña de azúcar es que la primera contiene poco o casi nada de glucosa o fructuosa. Por consiguiente, el efecto positivo de estos dos azúcares en el agotamiento de las mieles está ausente en la remolacha, y por esta razón las mieles provenientes del proceso azucarero de la remolacha azucarera contienen más sacarosa que las mieles finales producidas en el proceso azucarero de la caña de azúcar.”*

Azúcares reductores

En el ámbito agroindustrial un azúcar reductor es un término químico aplicado para designar un azúcar que actúa como un agente reductor y puede donar electrones a otra molécula. En lo específico, un azúcar reductor es un tipo de carbohidrato o azúcar natural que contiene un grupo aldehído (fórmula general $R-CHO$) o cetona libre (compuesto orgánico que tiene un grupo funcional carbonilo unido a dos átomos de carbono). Estos azúcares poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) intacto como acontece con la glucosa, lactosa, fructosa, maltosa, galactosa, manosa, y que a través del mismo pueden

reaccionar con otras moléculas. Los azúcares no reductores como la sacarosa, por el contrario, no poseen su grupo carbonilo libre.

La glucosa y la fructuosa como azúcares reductores tienen la capacidad de reducir la solución o reactivos de Fehling, se basa en el poder reductor del grupo carbonilo de un aldehído que pasa a ácido reduciendo la sal cúprica de cobre (II) en medio alcalino, a óxido de cobre (I); la cual está constituida por iones cúpricos complejados con iones de tartrato en medio alcalino, de manera tal, que en presencia de esos azúcares, la solución de color azul cambia a color marrón cuando precipita el óxido cuproso. Es por esta razón que la glucosa y la fructuosa reciben el nombre de Azúcares Reductores (AR). La sacarosa por su parte no reduce esa solución, motivo por el cual es denominado como un Azúcar No Reductor al igual que los polisacáridos (azúcares con múltiples anillos químicos). Queda claro entonces que azúcares reductores son la glucosa y la fructuosa, y no reductor la sacarosa.

En la práctica de campo se ha comprobado que los azúcares no reductores aumentan significativamente su presencia y acción cuando la caña está inmadura o en su caso deteriorada. Cuando la caña alcanza su estado de madurez, la sacarosa se incrementa y los azúcares reductores disminuyen, por lo cual, la determinación de los azúcares reductores es muy útil y práctica para determinar el grado de maduración de la plantación.

Sacarosa

En lo esencial constituye un disacárido (hidrato de carbono) que químicamente está constituido en partes iguales por dos monosacáridos más simples, como son la glucosa y la fructosa. La sacarosa (del vocablo *“saccharum”* utilizado para designar el azúcar en latín) es considerada como un producto intermedio de la fotosíntesis, constituyendo la forma principal de transporte del azúcar desde las hojas, donde es sintetizada, a otras secciones de la planta. Su fórmula química general está compuesta por doce átomos de carbono, veintidós átomos de hidrógeno y once átomos de oxígeno ($C_{12}H_{22}O_{11}$) y un peso molecular de 342,30 g/mol. Su punto de ebullición es de 102°C y el de fusión de la sacarosa pura de 180°C. El porcentaje aparente de sacarosa (relación masa/masa) se denomina Pol debido a su propiedad dextro-rotatoria o dextrógira, que

permite su cuantificación en jugos y materiales azucarados mediante el empleo de un polarímetro o sacarímetro, el cual permite analizar sustancias ópticamente activas (Larrahondo 2014).

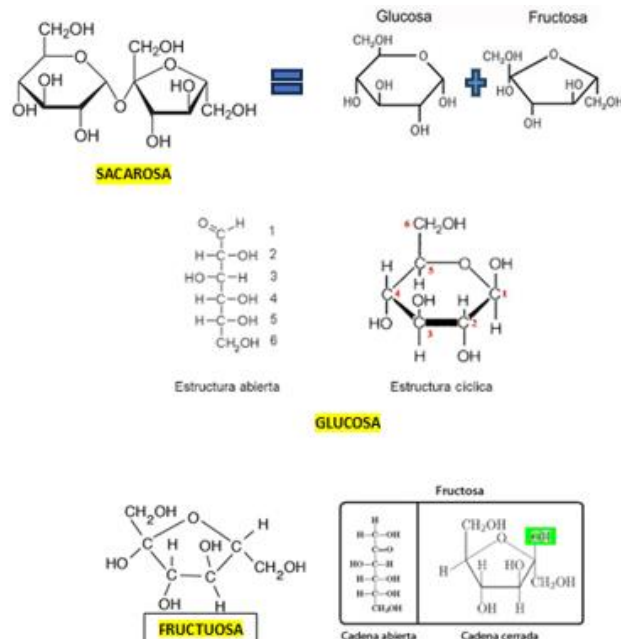


Figura 5. Estructura química de las moléculas de sacarosa, glucosa y fructuosa.

Los azúcares son sustancias ópticamente activas que tienen la capacidad de rotar el plano de luz polarizada¹; donde el grado de rotación específica $[\alpha]$ depende de la longitud de onda de la luz y de la temperatura. Las sustancias que rotan la luz en el sentido de las agujas del reloj son dextrógiras o isómeros ópticos (+), mientras que las que rotan la luz en la dirección opuesta son levógiras o isómeros ópticos (-). En este sentido, la sacarosa se comporta como dextrógira frente a la luz polarizada, al igual que la D-glucosa, (ambas desvían el plano de luz polarizada hacia la derecha); mientras que la fructosa lo hace hacia la izquierda, es levógira. La sacarosa dextrógira posee una rotación específica de $+66,5^\circ$; al escindirse en glucosa (o dextrosa) que es dextrógira, con una rotación específica de $[\alpha] D = +52,7^\circ$ y en fructosa (levulosa) fuertemente levógira, con una rotación específica de $[\alpha] D = -$

92° , la mezcla resultante es levógira, es decir, se ha invertido. Por esta razón, cuando la luz polarizada se pasa a través de una solución de sacarosa, la cantidad o valor de la rotación depende de la concentración de sacarosa presente y de las interferencias causadas por otros azúcares como la glucosa, la fructuosa y otras sustancias ópticamente activas con rotaciones dextro y levoratorias. Por causa de esta propiedad fisicoquímica, una solución acuosa de sacarosa es capaz de rotar el plano de luz polarizada a la derecha (signo +), lo que es utilizado por la química analítica y constituye la base del análisis o determinación del Pol (concentración aparente de sacarosa en soluciones de sacarosa) en la agroindustria cañero-azucarera.

En la Figura 5 se presentan las estructuras químicas de los tres principales azúcares vinculados, como son: *sacarosa*, *glucosa* y *fructuosa*.

Indicadores nacionales de calidad y rendimiento de la materia prima procesada

Buscando disponer de información fidedigna y muy confiable que permita con un mayor grado de detalle poder calificar y juzgar con mejor criterio técnico, la calidad de la materia prima producida, cosechada y procesada en los ingenios nacionales para fabricar azúcar, se presentan en el Cuadro 7 ocho de las variables de carácter agroindustrial más incidentes, reveladoras y determinantes de la calidad industrial de la materia prima, correspondiente al promedio de 15 años, propiamente a las zafas del periodo 2004-2018. Para lograr una mejor estimación y sensibilización de las variaciones interregionales, los valores para los casos particulares de Guanacaste y la región de Turrialba se exponen por su trascendencia segregados geográficamente por región y zona de influencia.

Debe tenerse presente al generar deducciones y conclusiones como anotaran oportunamente Chaves *et al* (2018), “*que no en todas las zonas ni zafas, la materia prima se molió donde realmente se produjo, pues hubo traslados interregionales, como aconteció en las últimas dos décadas al movilizar caña de la Zona F a la B, de la Zona A a la F, de la D a la B y de la C a la B que ha sido en definitiva la más constante en traer caña de otras localidades; gestión que se mantiene aún activa. Esta*

¹ La luz u otra radiación electromagnética se restringe y orienta a una dirección de propagación preferencial

actividad acontece virtud de las necesidades insatisfechas de materia prima que mantiene la Zona B y que van en aumento con el tiempo.” En adición a lo anterior, se debe considerar que en la zafra 2018-2019 parte de la materia prima entregada y procesada en el Ingenio Atirro (Zona A), se molió en Coopevictoria (Zona B), lo que debe tomarse en cuenta.

Se evidencia e infiere de ese cuadro, que son notorias y muy evidentes las diferencias que existen entre indicadores

promedio de calidad dictaminadas para el periodo de 15 zafras evaluado, algunas de las cuales por su naturaleza vienen asociadas entre sí, sobre todo las concernientes al jugo (Brix, Pol, pureza). Mediante el empleo de indicadores estadísticos de posición (promedio aritmético, valor máximo, valor mínimo, amplitud) y dispersión (desviación estándar de la muestra y coeficiente de variación (CV%), se establece el análisis de la información expuesta.

Cuadro 7. Caracterización agroindustrial de la materia prima procedente de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica. Promedio Zafra 2004-2018 (15 años).

Indicador / Zona	Regiones y Zonas Productoras										Promedio Nacional	Valor Porcentual				
	Guanacaste			Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte	Turrialba			Zona Sur		CV	Desviación	Máximo	Mínimo	Amplitud
	Este	Oeste	Región				Zona Media	Juan Viñas	Región							
	E			D	B	C	A			F						
N° Ingenios (13)	1	2	3	1	4	2	1	1	2	1						
Brix (%) Jugo	19,49	19,61	19,57	18,56	20,18	17,50	19,78	18,11	18,92	20,70	19,29	1,50	0,29	19,93	18,80	1,13
Pol (%) Jugo	16,57	16,62	16,60	15,32	17,34	14,77	17,32	15,90	16,59	18,51	17,48	6,05	1,06	19,22	16,21	3,01
Pureza (%) Jugo	85,02	85,00	85,01	82,52	85,82	84,32	87,55	87,79	87,67	89,40	87,48	2,22	2,54	90,79	84,21	6,58
Torta Residual (g)	169,27	170,72	170,24	175,22	149,93	151,32	140,57	151,99	146,58	152,41	156,53	1,13	1,77	159,21	152,86	6,35
Fibra (%) Caña	17,65	16,73	17,03	18,12	14,83	14,59	14,03	15,01	14,53	15,08	15,55	1,70	0,27	16,04	15,09	0,95
Pol (%) Caña	13,04	12,53	12,70	11,94	13,75	11,93	13,45	12,70	13,04	14,12	12,97	1,60	0,21	13,34	12,55	0,79
Rendimiento Azúcar (kg 96° Pol /tmc)	105,53	103,64	104,27	96,39	109,17	97,24	110,63	107,89	108,99	122,10	106,48	2,73	2,91	110,11	99,74	10,37
Rendimiento Miel (kg 96° Pol /tmc)	42,68	42,92	42,84	42,28	38,46	36,15	29,90	30,91	30,71	38,57	38,15	5,71	2,18	43,53	35,56	7,97

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

Nota: El valor de cada variable es el promedio de 15 Zafras valoradas para el Periodo 2004-2018.

Los datos contenidos en el cuadro anterior muestran y expresan con certeza las importantes y significativas diferencias que se dan en todas las localidades productoras de caña e indicadores evaluados, inducidas fundamentalmente por razones de carácter biótico pero también abiótico, vinculadas con los elementos del clima (lluvia, temperaturas, luz, humedad), tipos taxonómicos de suelos, condición de estrés prevaliente, biotipo y características de las variedades sembradas, manejo agronómico incorporado a las plantaciones (mecanización, fertilización, riego, control de malezas), diferencias marcadas de fitosanidad y maduración, edad y sistemas de cosecha diferentes (manual, mecánico, verde, quemado), nivel tecnológico incorporado y

eficiencia fabril, entre otros, como lo demostrara Chaves (2019abcdefg, 2020abcdgfi) con mucha especificidad.

Los contenidos de azúcar en jugo mostrados en dicho cuadro son muy dispersos y variables entre zafras y localidades productoras de caña, como lo demuestran por ejemplo los valores de Pol % jugo, cuyo CV es el más alto (6,05%) de todos los indicadores evaluados, favorecido por la baja calidad industrial de la materia prima procesada en la Región Norte (San Carlos, Los Chiles); en cuyo caso el promedio de Pol del periodo de 15 zafras fue de apenas 14,77% contra 18,51% de la Zona Sur, respectivamente, para una diferencia de 3,74% que recuperado y expresado como

rendimiento fabril implicó productividades de 97,24 kg y 122,10 kg de sacarosa/tonelada métrica de caña molida, lo que representa una importante diferencia de 24,86 kg/t para un determinante 25,6%. Iguales comparativos pueden establecerse para otras variables como la pureza como buen referente.

Ciclo vegetativo, maduración y sacarosa

La caña de azúcar es muy conocida y preciada por ser una planta rústica y resiliente, pero definitivamente susceptible y muy sensible a sufrir y manifestar los cambios e impactos climáticos acontecidos durante sus diferentes fases vegetativas de germinación, retoñamiento, ahijamiento, crecimiento, desarrollo general, maduración y cosecha; lo cual afecta y se expresa en la cantidad y calidad de la materia prima producida al disminuir el tonelaje de biomasa industrializable y la sacarosa contenida y concentrada en sus tallos.

La caña de azúcar es por origen taxonómico y naturaleza biológica como se demostró con anterioridad en los Cuadros 5 y 6, un vegetal de muy alto contenido hídrico (65-76%) en sus tejidos y fuertes reacciones y relaciones osmóticas operadas en su metabolismo natural, con variaciones importantes asociadas a las diferentes etapas fenológicas que operan en el cultivo, como indicara Chaves (2023a) al señalar respecto a la caña, que es *“Una planta de amplio y reconocido interés económico, energético y comercial como la caña de azúcar, presenta en su ciclo vegetativo de desarrollo natural diferentes fases, como fue ampliamente expuesto por Chaves (2019a). Dicho ciclo ha sido establecido y concertado en cuatro etapas diferenciadas y sucesivas: 1) desarrollo radical, germinación, emergencia y brotación de las yemas, 2) formación de macolla e ahijamiento hasta cierre de la plantación, 3) crecimiento acelerado del cultivo y 4) maduración y concentración de sacarosa en los tallos. La literatura ubica en algunos casos el ciclo apenas en tres fases al integrar la 1) y la 2) en una sola.”*

Esta demostrado científica y pragmáticamente que en las etapas fenológicas nombradas como 1, 2 y 3, las necesidades hídricas en los tejidos es máxima virtud de tener que acompañar los procesos metabólicos de fotosíntesis, respiración, división celular y crecimiento general de la planta; los cuales, sin embargo, se reducen significativamente durante la última fase 4) de maduración, donde la reducción de la humedad contenida en los tejidos a grados de 70-74%, por el contrario, se maximiza para estimular y favorecer la concentración y acúmulo de azúcares en las vacuolas de la planta.

Las necesidades fisiológicas y los contenidos de humedad y nutrimentos varían de acuerdo con el estado vegetativo y la edad de los tejidos del vegetal, siendo en el caso de la caña de azúcar elevados al inicio y más bajos al final del ciclo de crecimiento. Esta condición sugiere la conveniencia de que en su fase final la planta de caña pueda tener algún grado razonable de deshidratación gradual y sistemática que no llegue a provocar estados severos e irreversibles de estrés hídrico que perjudiquen el metabolismo general de la planta. Por esta razón es que la cosecha de las plantaciones comerciales de caña se realiza durante el periodo más seco, cuando no hay humedad en el ambiente (suelo y atmósfera). Si por causas no previstas hubiese llovias en esa época, la maduración y la concentración de sacarosa deberían ser favorecidas entonces por las temperaturas mínimas y su variación máxima-mínima, como sucede por ejemplo en las zonas altas de Turrialba y el Valle Central. Los factores agua y temperatura operan por vías y mecanismos diferentes generando sin embargo un mismo efecto sobre el estado de estrés y maduración de la planta, cual es reducir el crecimiento y con ello el uso de energía metabólica (glucosa) en el vegetal, con lo cual dicha energía se concentra y acumula como sacarosa en los tallos de la caña (Chaves 1982, 1983, 2019defg, 2020chj).

En las Figuras 6 y 7 se exponen gráficamente los diversos eventos fenológicos y metabólicos que ocurren en torno a la planta de caña a nivel de campo, los cuales son promovidos, inducidos y regulados por factores de carácter ambiental, climático, edáfico y propios del manejo agronómico prestado al cultivo, como ocurre con la nutrición del cultivo (Chaves 2019a, 2020e, 2023a).

La madurez como etapa final del ciclo vegetativo consiste básicamente en un proceso metabólico de cambios y reacciones fisiológicas favorecido por enzimas y hormonas, por medio del cual la caña de azúcar detiene su dinámica fase de crecimiento activo e inicia la acumulación sistemática de energía en forma de sacarosa en los entrenudos del tallo; siendo definido y concebido como la culminación del proceso fisiológico que conlleva a la máxima acumulación de sacarosa en la planta (Chaves 1982, 2019def, 2020j). Cuando se da presencia de humedad en el medio sea por aplicación de riego o caída intempestiva de lluvia en cantidades importantes en una zona con periodo de zafra seco (Guanacaste, Pacífico Central, Valle Central) como ocurriría por ejemplo en el mes de marzo, el crecimiento vegetativo se reactiva y la sacarosa se desdobra o invierte por hidrólisis en sus azúcares primarios glucosa y fructuosa para proveer la energía requerida por esos procesos. Obviamente esa condición no es

nada deseable para una plantación comercial de caña, pues la misma pierde riqueza en sacarosa.

Como se aprecia en la Figura 6 y de acuerdo con lo manifestado por Chaves (2019f), "Se ha encontrado que las **Enzimas Invertasas** ejercen control sobre la acción del azúcar en el crecimiento y su acumulación en los tejidos de almacenamiento de la caña; identificando dos enzimas solubles: a) **Invertasa Ácida** con máxima actividad en pH de 5,0 a 5,5 y b) **Invertasa Neutra** más activa a pH 7,0. La maduración se vincula con una mayor presencia de Invertasa Neutra y menos de la Ácida al disminuir el alargamiento y división celular. La Ácida promueve la hidrólisis de sacarosa limitando su almacenamiento en tejidos inmaduros. El crecimiento y elongación son consecuencia de la respiración por la energía que esta libera, proveniente de los hidratos de carbono acumulados; estableciendo un vínculo y relación directa entre: crecimiento /respiración /temperatura /almacenamiento de azúcares. El aumento sistemático en la concentración de sacarosa en los tallos previa su cosecha, va directamente asociada con una reducción en el contenido de humedad, también del Nitrógeno y la actividad de la Invertasa Ácida en la planta. La deshidratación promueve y favorece la conversión de azúcares reductores en no reductores (sacarosa)."

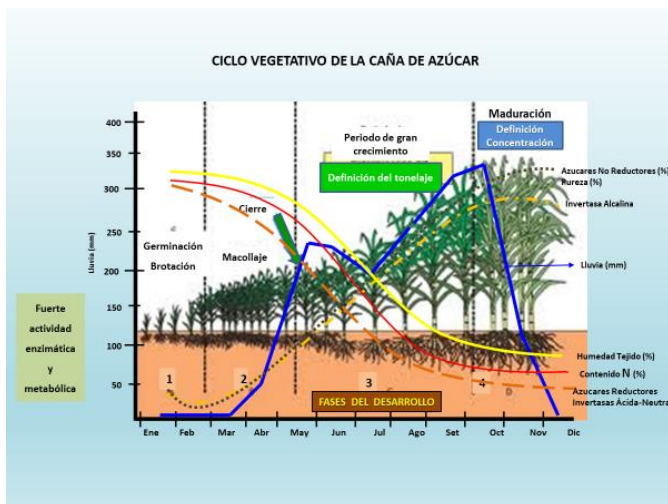


Figura 6. Procesos y actividades presentes en ciclo vegetativo del cultivo de la caña.

En la Figura 7 se presentan de forma más comprensible los mismos procesos indicados en la figura anterior vinculados con el ciclo vegetativo de la caña. Se observa como con el avance sistemático en las fases de crecimiento y producción de biomasa en el tiempo y en edad de la planta, el contenido de humedad y el nitrógeno (%N) se reducen de manera importante, lo que se acompaña de una disminución en la concentración de la enzima

Invertasa Ácida y con ello de los Azúcares Reductores o simples (glucosa, fructuosa) hasta aproximarse a la etapa de madurez (fase 4). Esa etapa caracterizada por la desaceleración y detención del ritmo crecimiento vegetativo favorecido por la conversión del meristemo de crecimiento vegetativo en meristemo floral que precede la emisión de la panícula floral, eleva la presencia y contenido de la enzima Invertasa Neutra o Alcalina, la concentración de Azúcares No Reductores o complejos representados en este caso por el disacárido sacarosa. La relación entre las Invertasas Ácida y Neutra marca el accionar y dinámica del crecimiento y la maduración de la planta de caña de azúcar.

De acuerdo con las necesidades metabólicas y exigencias energéticas que tenga la planta en función de su entorno, es factible que la sacarosa acumulada en los vacuólos de acumulación celular se desdoble o hidrolice bajo la acción de la invertasa ácida en glucosa y fructuosa, para ser exportados y empleados en los procesos de respiración y desarrollo vegetativo.

Como se mencionó con anterioridad, a nivel químico, un azúcar se considera "reductor" si reduce un agente oxidante (reactivo de Fehling) en una reacción química; mientras que los que no inducen la oxidación se denominan "no reductores". Los azúcares reductores son cualquier azúcar que es capaz de actuar como un agente reductor porque tiene un grupo aldehído libre o un grupo cetona libre. Todos los monosacáridos son azúcares reductores.

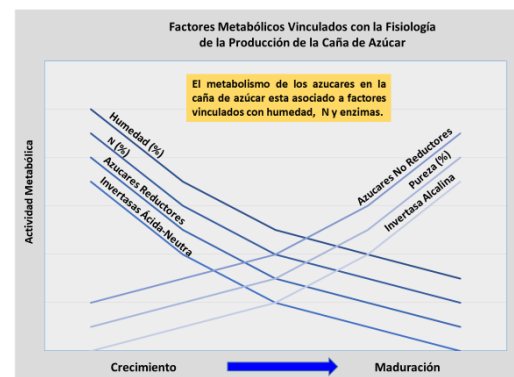


Figura 7. Tendencia de factores en el metabolismo de la planta de caña.

Asegura Larrahondo (2012, 2014) en torno a este tema, que "El proceso de acumulación de sacarosa es similar en los tejidos maduros o inmaduros (jóvenes). sin embargo, en los tejidos más jóvenes la actividad de la invertasa ácida es alta, lo cual da lugar a una mayor tasa de hidrólisis y formación de glucosa y fructuosa, que son convertidos en otros compuestos necesarios para el desarrollo vegetativo. Así tenemos, que en plantas jóvenes

(tejidos inmaduros) de caña de azúcar la acumulación de sacarosa es solo del 21%, mientras que en plantas maduras la transformación de la glucosa y la fructuosa en sacarosa alcanza valores del 85%. La alta actividad de las invertasas (principalmente ácida) en los tejidos jóvenes (caña inmadura o baja edad de corte), explica la mayor susceptibilidad al deterioro o de pérdidas de sacarosa después de la cosecha de lotes o plantaciones inmaduras.”

Deterioro de la caña

Como acontece en cualquier actividad de índole natural o comercial, siempre surgen acontecimientos previstos o en su caso inesperados, como también controlables o no, que afectan e impactan en grado variable las expectativas originalmente planteadas y metas técnico-empresariales esperadas alcanzar; lo cual como es sensato y razonable considerar, resulta importante conocer, pero sobre todo procurar contornar y resolver satisfactoriamente. En el campo cañero-azucarero existen eventos muchas veces invisibles y casi imperceptibles, que provocan esos efectos detrimentales, como acontece con las pérdidas incurridas por causa del deterioro de la materia prima cosechada, lo cual es importante conocer virtud de la magnitud y complejidad del problema que generan.

Las causas potenciales del deterioro de la materia prima industrializable, la mayoría de ellas en condición postcosecha, son numerosas y variables, aunque los agentes que provocan los efectos pueden resumirse en los indicadores anotados a continuación:

A. Acción de microorganismos

Esta pérdida está dada por la proliferación y actividad de microorganismos principalmente sobre la materia cortada de caña que será molida en el ingenio. Este efecto es causado especialmente por un grupo de bacterias del género *Leuconostoc*, las cuales utilizan y consumen la sacarosa contenida en la misma, produciendo largas cadenas de glucosa conocidas como “dextranas”, conduciendo a la fermentación de la fructuosa generando ácidos orgánicos que deterioran la cosecha. Se ha encontrado que *Leuconostoc mesenteroides* es la bacteria láctica que más daña a la caña degradando la sacarosa presente en el jugo. Es una bacteria Grampositiva que se encuentra presente en casi todos los suelos, normalmente asociada con la fermentación, bajo condiciones de salinidad y relativa baja temperatura.

Apunta García (2021) al respecto, que “El nivel de exposición del tejido interno de la caña se incrementa con el corte mecanizado, el trozado o por la quema, lo cual provoca la inactivación de las enzimas fenol oxidasas de acción protectora o bactericida en la planta. Bajo condiciones favorables de temperatura y humedad, la dextranasacarasa hidroliza la sacarosa y forma dextranas. Junto con el jugo, estas dextranas se extraen en los molinos y contaminan los flujos del central, y su nivel en el jugo llega a exceder las 10 000 ppm (1%) en los casos extremos.”

La literatura es clara en que las dextranas no son un producto o componente natural de la planta de caña, sino más bien una consecuencia de la acción microbiana que actúa sobre la misma, motivada y promovida por los prolongados tiempos transcurridos entre corta y molienda, afectación por la cosecha mecánica, exceso de permanencia en el campo, el patio del ingenio o en el mismo tándem de molinos. Esa inconveniente presencia bacteriana es castigada por la legislación.

Se tiene por cierto que niveles altos de dextranas incrementan la viscosidad de las masas cocidas hasta el punto de que, en casos severos, el azúcar prácticamente no se puede recuperar; mientras que, en los menos severos, las dextranas reducen significativamente la velocidad de los cocimientos en tachos e incrementan la pérdida de azúcar en miel final.

B. Deterioro enzimático

Las enzimas contenidas y activas naturalmente en la caña en su estado vegetativo normal actúan de manera contraproducente cuando la planta es cortada, a partir de lo cual pierde sistemáticamente la compartimentalización y estabilidad celular, provocando el deterioro de la sacarosa contenida por su conversión en azúcares invertidos de glucosa y fructuosa. La investigación azucarera ha demostrado que el deterioro es provocado y manifiesta por el desdoblamiento de la sacarosa en sus monómeros glucosa y fructosa, los cuales a su vez pueden producir polímeros como dextranas.

C. Deterioro Microbiano

Se tiene por demostrado que los agentes microbiológicos, en particular las bacterias del género *Leuconostoc mesenteroides* y *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *dextranicum*, afectan la calidad de los jugos de la caña luego de ocurrir el corte de la planta. Dichas bacterias dan origen a polisacáridos como las dextranas empleando en este caso la sacarosa como materia prima, favoreciendo con ello su pérdida. La bacteria degrada la sacarosa presente en el jugo de la caña y forma de incorporar al

mismo tiempo, metabolitos como el ácido láctico, acético, etanol, manitol y polisacáridos como dextranas y lévanos.

Por diversas causas las bacterias del género *Leuconostoc* presentes en el suelo, invaden los tejidos internos expuestos del tallo luego de cortada la caña, entre las cuales están el daño causado por el fuego empleado para facilitar la cosecha, el corte del tejido del tallo, el daño inducido por el viento, las enfermedades y los insectos; así como también los daños mecánicos que el paso de la maquinaria pueda provocar, todo lo cual permite y favorece el ingreso del *Leuconostoc* propiciando la formación de dextranas. Se ha comprobado que es en el intervalo de tiempo transcurrido entre el corte del tallo y la molienda de la materia prima en el ingenio, cuando los niveles de dextrana alcanzan sus valores más elevados; siendo por ello la reducción al mínimo de ese tiempo, la medida más efectiva y práctica para controlar la formación de dextranas. Así mismo, se debe evitar que los tallos de caña cortados tengan contacto con el suelo, lo que es también una excelente medida preventiva que redundará en menores contaminaciones y deterioro.

D. Deterioro Químico

El deterioro químico es un efecto secundario producido por el crecimiento microbiano. Este deterioro consiste en el incremento de la acidez del jugo de la caña conforme se incrementa el tiempo transcurrido desde el corte de la planta y hasta su molienda en el ingenio.

Pérdidas de sacarosa

Las pérdidas de sacarosa en la actividad cañero-azucarera se dan en dos vías principales por tratarse de un proceso agroindustrial, muchas en el campo, pero otras ocurren en el proceso industrial, como se describe de manera sucinta a continuación:

A.) Pérdidas durante el proceso de producción agrícola:

- **Siembra de variedades inadaptadas:** el cultivo de materiales genéticos inadaptados y sensibles a los efectos e impactos del medio por estrés (biótico y abiótico), provocan que el potencial intrínseco de concentración de la sacarosa no se manifieste, alcance y recupere como es deseable, posible y esperable. La variedad sembrada debe contar con la investigación, validación y comprobación de comportamiento y adaptación pertinente.
- **Manejo agronómico de la plantación:** la calidad de la materia prima requerida para acompañar el proceso fabril es un concepto integral de factores que se logra en el

campo, con el manejo apropiado de todos los elementos que inciden (\pm) en la misma, como son el empleo de semilla de alta calidad, nutrición e hidratación apropiada, control de malezas oportuno, aseguramiento de la fitosanidad de la plantación, control de maduración, entre otras.

- **Condiciones ambientales prevalecientes durante maduración y cosecha:** no cabe duda de que la presencia y suplencia óptima y oportuna, no en déficit ni demasía (condición estresante), de los elementos básicos y fundamentales (agua, temperatura, luz, nutrimentos) que la planta de caña requiere para desarrollar su fisiología y procesos metabólicos en función de su estado fenológico, es fundamental. Lluvias intensas con presencia de altas temperaturas durante la maduración y el periodo de cosecha pueden resultar contraproducentes para la concentración y el acúmulo sostenido de sacarosa en los tallos (Chaves 2019fg).
- **Época de cosecha:** el momento de cortar la planta y seleccionar los tallos industrializables que serán empleados en el proceso fabril es determinante, pues debe asegurarse que el contenido de sacarosa sea máximo. El desarrollo de curvas de maduración con mediciones periódicas, continuas y sistemáticas de concentración de sacarosa de la plantación es muy conveniente para asegurar la cosecha óptima (Chaves 1983).
- **Edad de cosecha:** la edad fenológica de la plantación es definitiva de proximidad al punto óptimo y deseable de cosecha, aunque tampoco lo asegura. Es imperativo tener control de la madurez, pues cortar en edad inmadura o por el contrario excesiva (pasada) induce pérdidas importantes de sacarosa.
- **Altura de corte de los tallos:** es obligado supervisar y controlar que el corte de los tallos en el campo, tanto superior (apical) como inferior (basal), sean los industrialmente apropiados; pues de lo contrario se introduce a proceso fabril material vegetal carente de sacarosa, o por el contrario, esta se queda botada en el campo en los internudos basales de los tallos remanentes; lo que genera además de pérdidas importantes de sacarosa un enorme problema para la germinación y desarrollo de la población futura de tallos.
- **Contenido de basura, trash o materia extraña en las entregas:** el tema ha sido ya ampliamente comentado (Chaves 1984, 2020a, 2023b), considerando que en términos generales promedio la materia prima entregada en Costa Rica a los ingenios para su molienda es bastante

limpia, lo que reduce de manera significativa las entregas con material no industrializable. La basura hace perder riqueza en sacarosa.

- **Quema de la plantación:** esta práctica ambientalmente poco deseable pero legalmente permitida, regulada y necesaria en algunas localidades y condiciones particulares de manejo, procura eliminar materia extraña previo a realizar la cosecha. Operada de manera ineficiente puede inducir y provocar pérdidas importantes de sacarosa al favorecer la contaminación, la deshidratación y la inversión microbial del disacárido sacarosa. El tiempo juega un papel determinante en los efectos esperados.
- **Tiempo entre corte y molienda:** la caña de azúcar por naturaleza es una planta que posee la peculiaridad de que, al ser segada, inicia un rápido deterioro, el cual se acelera 48 horas después de haber sido cortada. En este tipo de deterioro se presentan un conjunto de reacciones de carácter enzimático, químico y microbial. Lo correcto es que transcurra el menor tiempo posible para evitar cambios metabólicos que favorezcan la inversión y la pérdida de sacarosa en los tallos molibles. Estas pérdidas invisibles de sacarosa son de muy alto costo.
- **Manejo de la materia prima postcosecha:** es importante evitar que la caña cortada toque el suelo para impedir ocurra contaminación microbial. Asimismo, se debe evitar que la caña permanezca al sol o sometida a las inclemencias del tiempo, pues eso favorece y dinamiza los procesos de inversión, deshidratación, contaminación y pérdida de calidad industrial. En este proceso participan reacciones de carácter enzimático, químico y microbial.
- **Deterioro por microorganismos:** los dos puntos anteriores son claros sobre las causas de la afectación microbial. La tasa de deterioro de la caña depende de las condiciones ambientales, de la variedad cultivada y del sistema de cosecha implicado. Este tipo de deterioro como su nombre lo indica, consiste en la proliferación de microbios en los tallos de la caña, principalmente en cañas ya cortadas. Este efecto es causado principalmente por un conjunto de bacterias del género *Leuconostoc*, las cuales consumen la sacarosa, produciendo largas cadenas de glucosa (dextrana), dando lugar a la fermentación de la fructuosa provocando ácidos orgánicos que deterioran la cosecha.

B.) Pérdidas en el proceso industrial:

- **Pérdidas en proceso:** calificadas como Determinadas (D) o en su caso Indeterminadas (I), ocurren por sacarosa

presente pero no extraída, contenida en el bagazo, la cachaza, la melaza o es producto de derrames y que no se recupera en el proceso de extracción y fabricación (Chaves *et al* 2018).

- **Inversión de azúcares:** representa sin lugar a duda una de las reacciones más trascendentes de la sacarosa, sobre todo por su carácter irreversible. Ocurre cuando una molécula de sacarosa y una de agua dan lugar a una molécula de glucosa y otra de fructuosa. La reacción se da en pH próximos a 7,0 y en soluciones acuosas ligeramente ácidas, conocidas como hidrólisis ácida.
- **Descomposición térmica (pirólisis o caramelización):** según Larrahondo (2014), a medida que se incrementa la temperatura (cerca de 200°C), la sacarosa se rompe y genera glucosa, fructuosa y una serie de productos propios de la descomposición (mezcla oscura) denominados "caramelos".
- **Reacción de Maillard:** los azúcares reductores resultantes de la hidrólisis de la sacarosa reaccionan con aminoácidos y proteínas generando colorantes diversos.
- **Degradación o hidrólisis ácida:** los monosacáridos (glucosa y fructuosa) generados durante la inversión en la presencia de ácidos (por ejemplo a pH de 3), originan productos secundarios como son los derivados furánicos.
- **Degradación alcalina:** la sacarosa en un medio alcalino favorece el rompimiento de la molécula formando ácidos orgánicos y rearrreglos de la molécula de glucosa a una mezcla de manosa y fructuosa.

La magnitud y características de esas pérdidas depende mucho de la intensidad, momento y duración en que se manifiesten y mantengan activos los procesos que las inducen y favorecen. Como se infiere, por ser una actividad abierta, expuesta y sometida a la influencia del estado del tiempo, es definitivamente en la fase de producción agrícola donde se presentan las pérdidas posiblemente más elevadas y difíciles de contener y controlar, lo que justifica y amerita adoptar todas las medidas pertinentes de control, prevención y mitigación pertinentes. Una buena administración del campo se recupera con la producción de materia prima de alta calidad.

Terminología aplicada y aplicable al campo azucarero

Seguidamente se mencionan y describen algunos términos y nociones de amplio uso en la agroindustria cañero-azucarera, que permiten entender mejor los conceptos y procesos donde son utilizados, como son los siguientes:

- **Azúcar:** es el azúcar producido y extraído a partir de los tallos industrializables de la planta de caña de azúcar. Sustancia cristalina, generalmente blanca, muy soluble en agua y de sabor muy dulce, que se encuentra en el jugo de muchas plantas y se extrae especialmente de la caña y de la remolacha; se emplea en alimentación como edulcorante nutritivo y generalmente se presenta en polvo de cristales pequeños. Está compuesta por un número determinado de átomos de carbono, un número determinado de átomos de oxígeno y el doble de átomos de hidrógeno.
- **Azúcar de mesa:** se denomina coloquialmente azúcar a la sacarosa, también llamado azúcar común o azúcar de mesa. Producto comercial ofertado en diversas presentaciones destinado al consumo humano.
- **Azúcar de 96 grados de polarización:** azúcar que contiene el noventa y seis por ciento (96%) de su peso en sacarosa.
- **Brix:** representa la cantidad de sólidos presentes en una "solución de sacarosa pura", expresados como porcentaje en peso; determinados por el hidrómetro de Brix o cualquier otra medida de la densidad convertida en la escala Brix. Por extensión, Brix representa los "sólidos aparentes" que contiene una solución de azúcar.
- **Sacarosa:** el vocablo latino *saccharum* llegó a nuestra lengua como sacarosa. Se trata de un término que puede utilizarse como sinónimo del azúcar común (hidrato de carbono de sabor dulce y color blanco que puede disolverse en agua). Es un disacárido formado de glucosa y fructosa de fórmula molecular $C_{12}H_{22}O_{11}$ que es el principal producto de la fotosíntesis en la caña y el azúcar más importante en la industria azucarera.
- **Sacarosa en Caña:** va referido a la sacarosa contenida propiamente en la caña considerando el contenido de fibra.
- **Sacarosa en Jugo:** se refiere al contenido de sacarosa presente en el jugo absoluto extraído de la caña luego de molida.
- **Jugo Absoluto:** se define así a todo el jugo extraído antes de realizar ninguna dilución en el proceso de fabricación del azúcar.
- **Pol:** se le define como el resultado obtenido de la polarización directa o sencilla en un sacarímetro o polarímetro, de una solución, o del "peso normal" de un material sacarino en solución. Debido a que el valor real de la sacarosa se ve afectado por las sustancias no sacarosas presentes en la solución, se usa el vocablo "sacarosa aparente" como equivalente a Pol. Representa el porcentaje aparente de sacarosa contenido en una solución.
- **Pol % Caña:** corresponde al porcentaje de sacarosa presente en la caña. Es la cantidad total de azúcar (sacarosa) contenida en la caña procesada.
- **Polarímetro:** es el equipo empleado en las mediciones de la rotación óptica de sustancias ópticamente activas. Permite determinar el valor de la desviación de la luz polarizada mientras pasa a través de una muestra de un compuesto que exhibe actividad óptica.
- **Sacarímetro:** es un polarímetro específico para el empleo de soluciones de sacarosa. Mide la concentración de azúcar en un líquido.
- **Azúcar Reductor:** un azúcar se considera "reductora" si reduce un agente oxidante dentro de una reacción química, en este caso la solución de Fehling, constituida por iones cúpricos complejados con iones de tartrato en medio alcalino, de tal manera que en presencia de azúcares como glucosa y fructuosa, la solución de color azul cambia a color marrón por precipitación del óxido cuproso. Por esta razón la glucosa y la fructuosa se consideran azúcares reductores (AR).
- **Azúcar No Reductor:** soluciones como la sacarosa no producen ese efecto de reducción por lo que se denominan azúcares no reductores.
- **Invertasa:** es una enzima que cataliza la hidrólisis del disacárido sacarosa en sus dos azúcares simples glucosa y fructosa, requiere necesariamente de la presencia de agua para llevar a cabo su actividad. Existen dos tipos de invertasas solubles: la ácida, que tiene su máxima actividad entre pH 5,0 y 5,5; y la neutra, que es más activa a pH 7,0.
- **Fibra:** es 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.
- **Fibra % Caña:** es la cantidad de Fibra Industrial referida a cien partes de caña expresada como porcentaje.
- **Pureza:** expresada en términos de porcentaje se refiere a la proporción en que se encuentra la sacarosa o pol respecto a los sólidos totales, en cualquier material de ingenio azucarero. Se obtiene de la relación aritmética porcentual de pol/brix.
- **Rendimiento de azúcar:** se refiere al peso de "azúcar comercial" que se obtiene a partir de una determinada cantidad de caña sin tomar en cuenta su composición. No

se toma en consideración la composición o análisis del azúcar. Se puede expresar en forma porcentual o en kilogramos por tonelada métrica de caña.

- **Rendimiento de azúcar calculado (100%):** es el azúcar contenido en el jugo extraído presente en la materia prima, expresado como kilogramos por tonelada métrica de caña en términos de azúcar de 96° de polarización.
- **Rendimiento de miel final calculado (100%):** es la miel final o melaza contenida en el jugo extraído presente en la materia prima expresado como kilogramos por tonelada métrica de caña.
- **Pérdidas Totales:** es el azúcar presente en la materia prima que ingresa al ingenio para proceso, menos el azúcar recuperado al final del mismo. Es la sacarosa % caña menos el azúcar recuperado. Corresponde a la suma de todas las pérdidas incurridas en el proceso (bagazo, cachaza, melaza, indeterminadas) y descritas seguidamente.
- **Pérdidas en Bagazo:** corresponde a las pérdidas de azúcar generadas en el tándem de molinos. Son las pérdidas más importantes que se dan al momento de la molienda, ya que la caña como materia prima al estar conformada por hasta un 35 por ciento de bagazo, la cantidad de azúcar que se pierde en este rubro por extracción deficiente e insuficiente puede ser muy significativa.
- **Pérdidas en Cachaza:** concierne al azúcar presente por arrastre de las impurezas presentes en el jugo y que pueden llegar a ser la cuarta parte de la que se pierde en bagazo. Presentan por lo general bajos niveles de pérdida, aunque no dejan de ser importantes, por cuanto están estrechamente asociadas por la calidad de la materia prima procesada; de ahí la importancia de realizar buenas y precisas labores de cosecha.
- **Pérdidas en Miel Final:** se puede decir que son las segundas pérdidas en importancia, ya que están directamente ligadas a la casa de cocimientos, según la capacidad de agotamiento del azúcar relacionado a la pureza de los diferentes materiales.
- **Pérdidas Indeterminadas:** son las pérdidas que no se pueden por su origen identificar y cuantificar. Representan pérdidas reales que ocurren durante el proceso fabril, pero que no se pueden relacionar con alguna área de proceso específica. Podrían reflejar errores acontecidos en pesajes, análisis, derrames en tuberías ocurridas en el interior de la fábrica o por inversión. Normalmente las pérdidas de pol por indeterminadas son cercanas al 1% en base a caña.

Conclusión

La agroindustria de la caña de azúcar como fuente proveedora de diversas materias primas, subproductos, derivados y residuos resultantes de la transformación de la materia prima en azúcar, presenta en la mayoría de los países dedicados al cultivo, entre ellos Costa Rica, muchos problemas de índole tecnológico y falta de visión empresarial relacionados principalmente con atender y resolver el desperdicio y desaprovechamiento de materiales interesantes y con gran potencial de uso como son el bagazo, la cachaza, las cenizas, la miel final y la gran cantidad de residuos biomásicos (RAC) que quedan depositados en el campo luego de efectuar la cosecha de la plantación; perdiendo con ello la posibilidad de incorporarles valor agregado y percibir mayores beneficios económicos (Chaves 2023b).

Acontece, sin embargo, que hay otra preocupación complementaria a la anterior y de igual o mayor trascendencia que por su naturaleza y la magnitud de los impactos implicados, debe ser atendida con carácter prioritario, virtud de las graves consecuencias que asumen el productor, el empresario y el industrial vinculados con la actividad azucarera. Dicha inquietud está asociada con las pérdidas significativas de sacarosa que de manera abierta, medible o silenciosa ocurren en las diferentes etapas fenológicas que atraviesa el cultivo durante su ciclo vegetativo y, principalmente, durante la cosecha, procesamiento de la materia prima y fabricación del azúcar.

Como se indicó, hay pérdidas muy sensibles de sacarosa por no alcanzar y satisfacer a plenitud el potencial de concentración y acúmulo propios e intrínsecos de la planta y el sistema de producción implementado; pero también, hay otras pérdidas más silenciosas, complejas e indeterminadas por causa del deterioro que por mal manejo de la materia prima cosechada y procesada se generan en el campo y el ingenio. La infraestructura física y operativa de mantenimiento deficiente de la fábrica es importante. Ambas pérdidas pueden ser de alguna manera minimizadas y reducidas, lo que implica sin embargo imperativamente, primero ubicarlas, conocerlas y saber dónde se generan, para luego tratar de contrarrestarlas y/o al menos mitigarlas.

El presente documento ha procurado ahondar e incursionar de manera general y sucinta con algún grado de especificidad importante, en lo concerniente al contenido químico de la caña y, particularmente en lo relativo a la sacarosa y algunos de los procesos y mecanismos por medio de los cuales ésta se pierde. La sacarosa como meta y producto principal del esfuerzo

empresarial de producir caña y fabricar azúcar, debe inexcusablemente contar con la máxima atención, control y estímulo en procura de lograr su optimización. No cabe duda de que la gestión técnico-administrativa efectiva y eficiente de cualquier empresa cañera debe orientarse a satisfacer nueve principios fundamentales, como son:

- Maximizar la producción y la productividad agroindustrial (t/ha)
- Reducir y minimizar los costos de producción asociados
- Optimizar los beneficios y la rentabilidad económica generada (eco-competitividad)
- Asegurar la máxima calidad de la materia prima producida
- Maximizar la concentración de sacarosa recuperada y reducir sus pérdidas
- Maximizar la calidad del producto final, subproductos, residuos y derivados
- Incorporar valor agregado a los subproductos, residuos y derivados
- No impactar el ecosistema (eficiencia)
- Generar beneficios con proyección social

Literatura citada

- Chaves Solera, M.A. 1982. **La maduración, su control y la cosecha de la caña de azúcar.** En: Seminario de tecnología moderna de la caña de azúcar, 2, San José, Costa Rica, 1982. Memorias. San José, CAFESA/ATACORI/MAG/LAICA, setiembre. p: 28-40.
- Chaves Solera, M.A. 1983. **Es tiempo de iniciar el control de madurez de sus cañales.** Boletín Informativo DIECA (Costa Rica) Año 1, N.º 3, San José, noviembre. p: 2-3. *También en:* Revista El Agricultor Costarricense 43(3-4): 41-42. 1985. *También en:* Boletín Informativo DIECA. N° 23. Año 4. 1986. 3 p.
- Chaves Solera, M.A. 1984. **La calidad de la materia prima como factor determinante de los rendimientos agroindustriales.** Boletín Informativo DIECA. Año 2, N.º 7, San José, marzo. 3 p. *También en:* El Agricultor Costarricense 40(3-4):62-66.
- 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, MA. 2019d. **Temperatura, desarrollo y concentración de sacarosa en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático. Volumen 1 Número 16, octubre-noviembre. p: 5-9.
- Chaves Solera, MA. 2019e. **Incidencia de las bajas temperaturas en la concentración de sacarosa en la caña de azúcar: el caso de Costa Rica.** Boletín Agroclimático. Volumen 1 Número 17, noviembre-diciembre. p: 6-10.
- Chaves Solera, M.A. 2019f. **Clima, maduración y concentración de sacarosa en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(15): 5-8, octubre-noviembre.
- Chaves Solera, M.A. 2019g. **Clima, cosecha de caña y fabricación de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(19): 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. **Estrés por calor en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(5): 5-12, marzo.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. **Estrés hídrico en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(8): 5-16, abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020d. **Estrés por viento en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(9): 4-15, abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020e. **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. 2020f. **Agroclimatología y producción competitiva de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(24): 5-13, noviembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020g. **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. 2020h. **Arrancó la cosecha de caña y la fabricación de azúcar en Costa Rica ¡El tiempo, constituye un factor determinante a considerar y tener presente en esta operación agroindustrial!** Revista Entre Cañeros N° 14. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, marzo. p: 4-19.
- Chaves Solera, M.A. 2020i. **Clima, germinación, ahijamiento y retoñamiento de la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(14): 6-14, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020j. **El azúcar se hace en el campo y extrae en la fábrica: una verdad incuestionable.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(19): 6-13, setiembre.
- 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.
- Fernandes, A.J. 1984. **Manual da cana-de-açúcar.** Piracicaba: Livroceres. p: 9-10.
- García González, E. 2021. **Deterioro postcosecha de tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbrido) en Central El Potrero, S.A. de C.V.** México. Región Orizaba-Córdoba, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tesis de Maestría. 70 p.
- ICIDCA-GEPLACEA-PNUD. 1990. **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: 76.
- Irvine, J.E. 1991. **Caña de azúcar y azúcar. Capítulo I.** En: Manual del Azúcar de Caña: para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados. México. Primera edición. Editorial LIMUSA, S.A. de C.V. p: 27-70. Traducción autorizada por Cane Sugar Handbook. A Manual for Cane Sugar Manufacturers and their Chemists, James C.P. Chen, 11 th Edition John Wiley and Sons, Inc.
- Larrahondo Aguilar, J.E. 2012. **Composición y características químicas de la caña de azúcar y su impacto en la elaboración del azúcar.** Santiago de Cali, Colombia. Primera edición. Universidad del Valle. 110 p.
- Larrahondo Aguilar, J.E. 2014. **Sacarosa: conceptos fundamentales en la industria azucarera y sucroquímica.** Santiago de Cali, Colombia: Editorial Catorse. 52 p.
- Larrahondo Aguilar, J.E. 2015. **El proceso azucarero en pocas palabras.** Santiago de Cali, Colombia: Editorial Catorse. Serie Técnica / Química Azucarera. 126 p.
- Solís Guzmán, M.G. 2017. **La Sacarosa: el dulce de las plantas.** SaberMás Revista de Divulgación de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo 31(6): 19-23, Morelia, Michoacán, México.
- Subirós Ruíz, F. 1995. **El Cultivo de la Caña de Azúcar.** 1^{ed}. San José, Costa Rica: EUNED. 448 p.

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