

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, recomendaciones y notas técnicas, 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

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA SEMANA DEL 27 DE OCTUBRE AL 3 DE NOVIEMBRE

Durante la semana se presentaron lluvias en todo el territorio nacional.

En la figura 1 se puede observar el acumulado de lluvias sobre el territorio nacional. Los acumulados semanales con reportes mayores a 100mm se ubican en el Pacífico Sur y sectores montañosos del país. En cuanto a la distribución de la lluvia a nivel semanal, entre las estaciones disponibles, se registran los días miércoles y jueves como los más lluviosos, así como el domingo con las menores lluvias a nivel nacional.

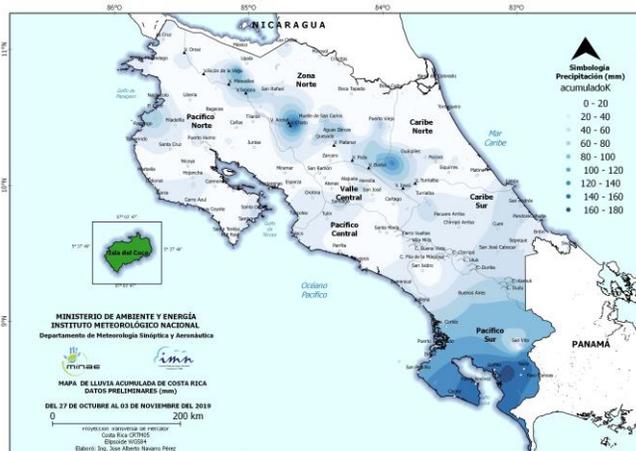


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 27 de octubre al 3 de noviembre (generado utilizando datos preliminares).

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA SEMANA DEL 4 AL 10 DE NOVIEMBRE

Durante la semana se presentaron lluvias en todo el territorio nacional.

En la figura 2 se puede observar el acumulado de lluvias sobre el territorio nacional. Los acumulados semanales con reportes mayores a 100mm se ubican en el Caribe y Zona Norte. En cuanto a la distribución de la lluvia a nivel semanal, entre las estaciones disponibles, se registran los días martes y lunes como los más lluviosos, así como el miércoles con las menores lluvias a nivel nacional.

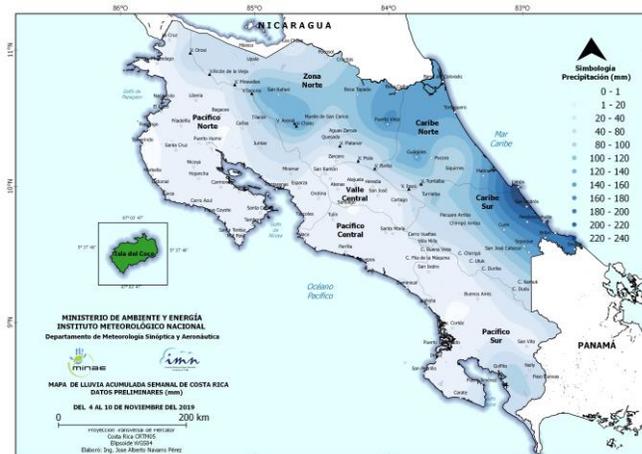


Figura 2. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 4 al 10 de noviembre (generado utilizando datos preliminares).

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CLIMÁTICAS PERIODO 11 AL 17 DE NOVIEMBRE

La semana mantendrá condiciones secas en el Pacífico Norte con posibles lluvias aisladas y condiciones de transición en el resto de la Vertiente Pacífica. El Caribe mantendrá condiciones lluviosas durante la semana. Se espera la incursión de la Onda Tropical #49 hacia el territorio nacional a mitad de semana que no generaría mayor afectación, así como la segunda Onda Tropical #50 el fin de semana.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS PERIODO DEL 18 AL 24 DE NOVIEMBRE

De la figura 3 a la figura 10, se muestran los valores diarios pronosticados de las variables lluvia (mm), velocidad del viento (km/h) y temperaturas extremas (°C) para las regiones cañeras. Las regiones del Valle Central Este y el Valle Central Oeste serán las más lluviosas de la semana. Todas las regiones cañeras percibirán condiciones más lluviosas de mediados hacia fin de semana.

Las regiones Puntarenas, Guanacaste Este, Guanacaste Oeste y Zona Norte presentarán reducción de la velocidad del viento desde mitad de semana. El Valle Central Este y Oeste tendrá reducción del viento a media semana, mientras Turrialba y Zona Sur mantendrán viento variable. Todas las regiones mantendrán amplitudes térmicas relativamente constantes durante la semana.

“La región climática Pacífico Norte inicia oficialmente esta semana con la época seca.”

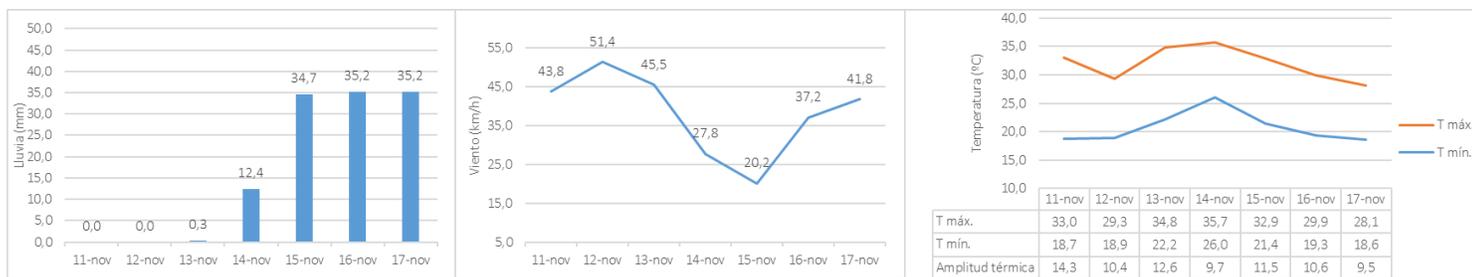


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 11 al 17 de noviembre en la región cañera Guanacaste Este.

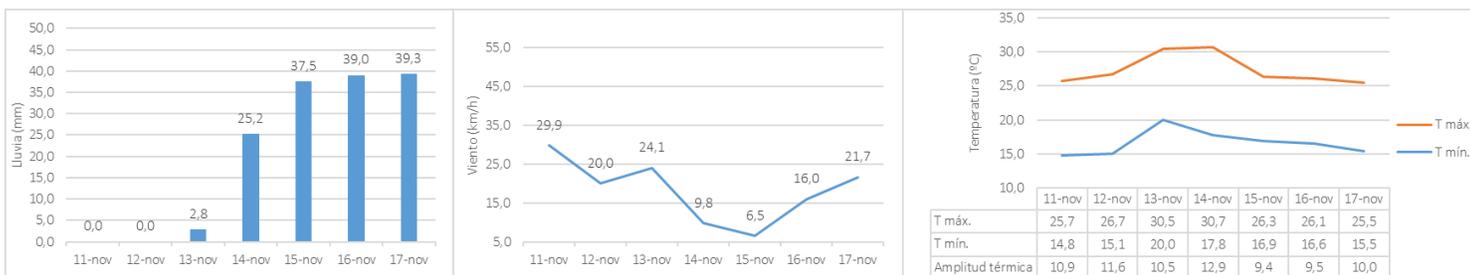
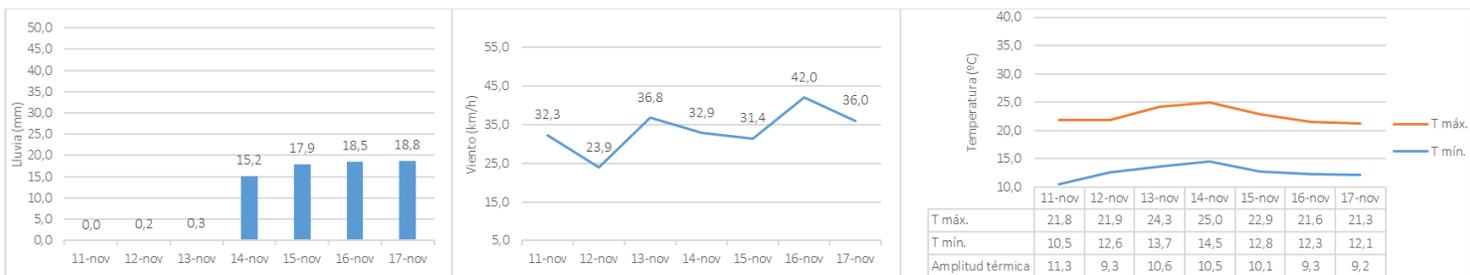
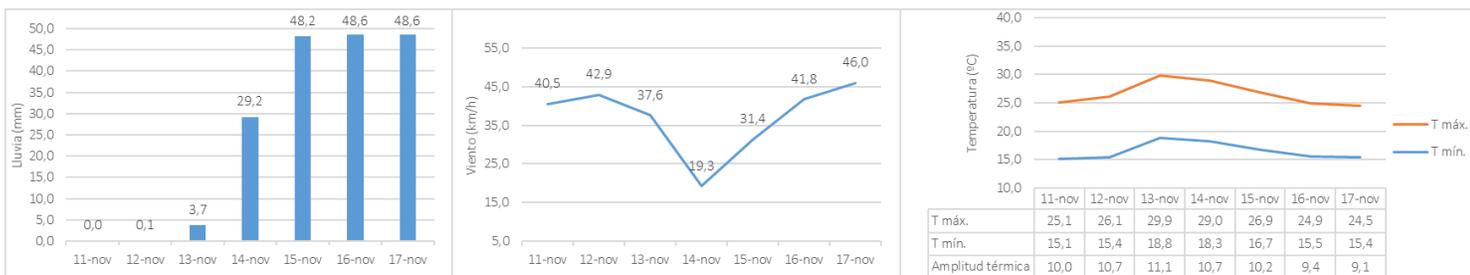
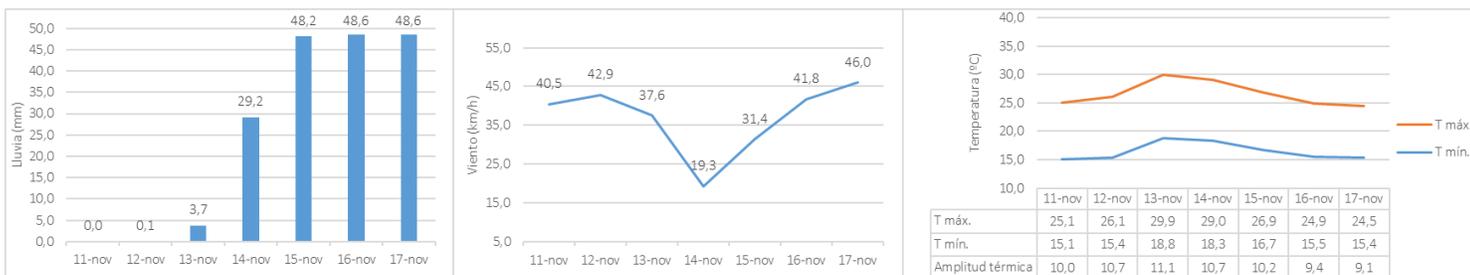
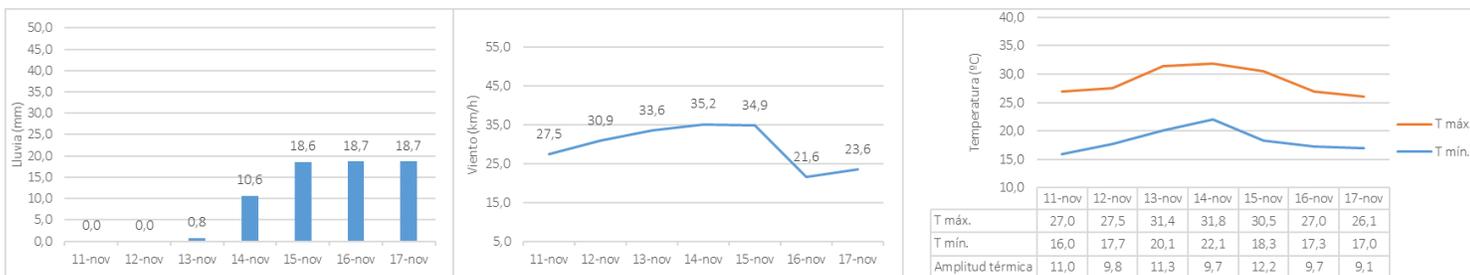


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 11 al 17 de noviembre en la región cañera Guanacaste Oeste.



Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 11 al 17 de noviembre en la región cañera Puntarenas.

Noviembre 2019 - Volumen 1 – Número 16



Noviembre 2019 - Volumen 1 – Número 16

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 18 AL 24 DE NOVIEMBRE

Encontrándose el Pacífico Norte en época seca se prevé una condición de transición en el resto de la Vertiente Pacífica y Valle Central, donde la vertiente Caribe mantendrá condiciones lluviosas típicas de la época.

HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

En la figura 11 se presenta el porcentaje de saturación de humedad de los suelos (%) cercanos a las zonas cañeras, este porcentaje es un estimado para los primeros 30 cm de suelo y válido para el día 11 de noviembre del 2019.

La Región de Guanacaste Este presenta porcentajes de humedad en el suelo entre 30-75%, mientras que los suelos de Guanacaste Oeste están entre 15% y 75%. Debido a las condiciones presentadas en los últimos días, la Región Norte presenta alta saturación, que va desde 45% hasta el 100%.

Los suelos de la Región Puntarenas presentan entre 15% y 60% de humedad. La Región Valle Central Oeste tiene una saturación entre 45% y 100%, mientras que la Región Valle Central Este está entre 30 y 75%.

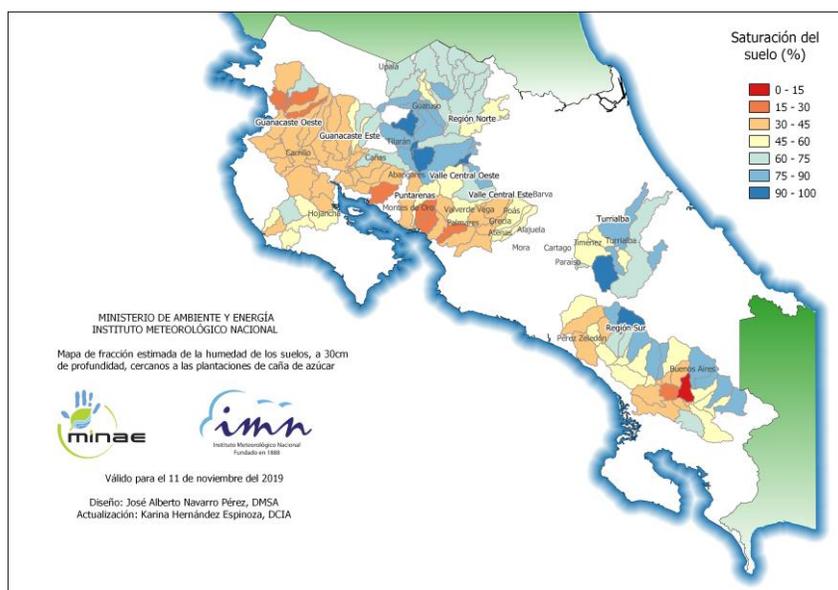


Figura 11. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), a 30m de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 11 de noviembre de 2019.

El porcentaje de humedad del suelo en Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m) es de entre 60% y 90%, la región de Turrialba Alta (> 1000 msnm) tiene un porcentaje de saturación que va desde 45 a 100%. Los suelos de la Región Sur presentan porcentajes variables de humedad, que van desde 0% hasta 100%.

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

NOTA TÉCNICA

TEMPERATURA, DESARROLLO Y CONCENTRACIÓN DE SACAROSA EN LA CAÑA DE AZÚCAR

Ing. Agr. Marco A. Chaves Solera, M.Sc.

Gerente. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)

Correo: mchavez@laica.co.cr

No hay duda en reconocer la influencia y papel determinante que tiene la temperatura sobre el crecimiento, la producción de biomasa y la concentración de sacarosa acumulada y recuperada durante la molienda en los tallos de la caña de azúcar. Los antecedentes investigativos y las experiencias agroindustriales comerciales, han demostrado el fuerte vínculo existente entre temperatura, crecimiento y sacarosa. No puede, sin embargo, atribuirse exclusividad de ese elemento del clima en esos complejos procesos metabólicos, pues es la participación e interacción de numerosos factores de naturaleza biótica y abiótica los que determinan el resultado final; entre ellos los hay de carácter climático (lluvia, luz, humedad ambiente, viento), edáfico (tipo de suelo, textura, densidad aparente, contenido de materia orgánica, humedad, relieve, grado de compactación), genético (variedad sembrada, ciclo vegetativo, ciclo de maduración), manejo agronómico de la plantación (fertilización, riego, drenaje), cosecha (edad, control de madurez, corta quemada/verde, cosecha manual/mecanizada, tiempo transcurrido entre corta y molienda, uso de madurantes), geográfico (altitud del lugar en m.s.n.m.), microbiológicos (inversión de azúcares, presencia de dextranas), entre otras.

Como se infiere, son muchos los factores y elementos que tienen influencia directa e indirecta sobre la planta de caña, y que influyen y determinan en grado variable el nivel de desarrollo, maduración y concentración de sacarosa en los tallos; pese a lo cual, no hay duda en reconocer el importante rol que la temperatura ejerce en este particular, tanto en sentido positivo como negativo.

Temperatura y fisiología de la caña

La caña de azúcar es por origen una planta tropical, cuyo mejor desempeño se da bajo condiciones de mucha luz, alta humedad y temperatura. En el caso de la temperatura como factor exógeno, su vinculación e influencia es directa sobre la fotosíntesis, la respiración, la absorción de nutrientes, el crecimiento, la floración, el balance hídrico y consecuentemente sobre la producción de biomasa y concentración de sacarosa en los tallos. La temperatura influye de manera determinante y directa sobre el ritmo de división celular de los tejidos. Alexander

(1973), señala que la temperatura óptima para fotosíntesis es relativamente alta, situándola alrededor de 34°C. Se consideran óptimas temperaturas situadas en el rango de 16 a 33°C, ubicando el mínimo para desarrollo en torno a los 20°C. Matsuoka (2015) cita basado en experiencias internacionales, la faja ideal entre 28 y 32°C. Se califica las temperaturas superiores a 35°C y particularmente sobre los 38°C como dañinas para la planta. Sin embargo, algunos investigadores aseguran que sobre los 35°C el crecimiento declina significativamente, ubicando los 45°C como el límite superior; aunque mencionan que si no hubiera falta de agua puede haber buen crecimiento hasta los 50°C, lo que denota la capacidad adaptativa de la caña de azúcar. Como se comentó, este y otros elementos del clima deben ubicarse y contextualizarse en cada fase y etapa específica del ciclo vegetativo para ser correctamente interpretados, pues hay diferencias de fondo según sea el estado vegetativo de la planta.

Según Castro (2016), se tiene por demostrado que temperaturas de 37,2°C generan un buen desarrollo radicular; a 25°C hay poca influencia; a 17,8°C el crecimiento del sistema radicular se redujo significativamente, y a 10,6°C fue casi letal. Se estima que por debajo de los 8,5°C las yemas dejan de brotar. La literatura coincide en que para crecer, la planta de caña exige un mínimo de temperatura de 14 a 16°C y la temperatura óptima de germinación esta próxima a 32-33°C. El ahijamiento se mejora e incrementa con la temperatura hasta valores cercanos a 30°C. Es seguro que la caña de azúcar no soporta temperaturas próximas o inferiores a 0°C, pues causan la muerte de las yemas apicales y laterales, tanto en plantas jóvenes como adultas; pese a lo cual hay reportes de que cultivares de la especie *Saccharum spontaneum* si las toleran. Comercialmente está demostrado que la susceptibilidad de la caña de azúcar al frío constituye uno de los principales factores que limitan la distribución del cultivo, hasta aproximadamente los 30° de latitud en los hemisferios Sur y Norte. Las zonas cañeras más alejadas de los trópicos de Cáncer y de Capricornio, situados a 23° 26' de latitud de los hemisferios Norte y Sur, respectivamente, están más expuestas a la influencia negativa de las bajas temperaturas. La floración de la caña en condiciones naturales, es un mecanismo no accionado exclusivamente por el fotoperiodo, pues la temperatura

prevaleciente durante el periodo de inducción floral también la interviene. Las temperaturas mayores a 32°C e inferiores a 18°C se considera que inhiben la floración, siendo lo ideal entre 21 y 27°C (Chaves, 2019c). Para Castro (2016), la temperatura durante el periodo oscuro inductivo debe estar entre 21 y 27°C, siendo el óptimo para florecimiento entre 22 y 24°C. En Costa Rica el periodo inductivo se ha establecido entre el **8 y el 20 de agosto**, como lo anotara Chaves (2019c), cuando las temperaturas mínimas superan los 20°C, exceptuando en localidades altas (>1.000 m.s.n.m.) como Juan Viñas y parte del Valle Central donde son inferiores a 18°C. La calidad y cantidad de radiación influyen sobre la fotosíntesis y con ello sobre la concentración de azúcar.

Hay coincidencia en reconocer que la constitución genética de una variedad marca diferencia en la capacidad de adaptación a condiciones de temperatura variables (Alexander, 1973; Chaves, 1982, 2019abcd; Castro, 2016; Larrahondo y Villegas, 1995; Matsuoka, 2015; Van Heerden et al., 2014); lo cual resulta determinante incorporar en los programas de mejora genética como el costarricense, considerando que los entornos agro productivos del país son heterogéneos y muy disimiles. Se considera que *Saccharum officinarum* es una especie que se desenvuelve bien en condiciones tropicales, siendo por ello sensible a las bajas temperaturas; lo que no ocurre con *S. spontaneum*, pues se adapta a un amplio rango de latitud, altitud y temperaturas. La proporción genética de estas especies y genes particulares de los diferentes tipos de *S. spontaneum* en el genoma, determina en alto grado la posible tolerancia a bajas o altas temperaturas, siendo por ello un punto estratégico a considerar.

Maduración y concentración de sacarosa en la caña

Hay muchas plantas capaces de sintetizar sacarosa, aunque no todas alcanzan un nivel económico importante para su industrialización y comercialización, como sí ocurre con la caña de azúcar, la remolacha azucarera, el sorgo sacarino y la palmácea *Phoenix sylvestris*. La maduración de la caña fue ubicada por Larrahondo y Villegas (1995) en tres estados: a) botánica, b) fisiológica y c) económica; estableciendo la primera cuando la planta emite flor y cuenta con semillas viables; la segunda cuando los tallos alcanzan su máximo potencial de almacenamiento y concentración de sacarosa; siendo la económica por su parte, un concepto más de carácter comercial ligado a las prácticas de manejo asociadas con la cosecha óptima de la plantación.

La síntesis de sacarosa en la caña ocurre por el proceso fotosintético, con producción de biomoléculas orgánicas, en especial glucosa, a partir de elementos inorgánicos. Durante la fotosíntesis la luz que estimula la clorofila contenida en los cloroplastos de las hojas, provoca una transformación de energía potencial en energía química; cuyos productos finales resultantes de la asimilación de CO₂ son azúcares simples de cinco y seis átomos de carbono. La caña como planta tipo C-4 (cuatro átomos de Carbono) posee una alta tasa de fotosíntesis foliar asociada con una elevada producción de biomasa, por lo cual la formación de sacarosa ocurre en el campo, lo que la expone a la intervención directa de los factores bióticos y abióticos. La tasa de fotosíntesis en las hojas de la caña está controlada por varios factores, entre los cuales la intensidad de luz, la temperatura y el balance hídrico del complejo aire-suelo-planta son determinantes.

La caña es definida como un sistema “fuente-reservorio” caracterizado por un sitio de producción (hojas fotosintéticamente activas), un sistema de flujo y distribución del producto, varios sitios de consumo (raíces, tallos, hojas jóvenes, tejidos meristemáticos y órganos reproductivos) y por un sitio de acumulo, concentración y almacenamiento de la sacarosa (vacuolos de las células de los internudos del tallo). Explicado de manera muy simple y resumida, la glucosa (C₆H₁₂O₆) es convertida por varios procesos metabólicos en Fructuosa (C₆H₁₂O₆) que al final se combina con la glucosa libre formando sacarosa libre (C₁₂H₂₂O₁₁), que como se infiere es un disacárido formado por la unión de dos moléculas de azúcares simples (monosacáridos). Virtud de su relevancia en los procesos biológicos (vegetal y animal), la glucosa es el monosacárido más importante en la naturaleza; en tanto que la fructuosa está contenida ampliamente en frutas. La sacarosa es un compuesto perteneciente al grupo de los carbohidratos o familia de los azúcares ricos en Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (O). La sacarosa formada constituye la reserva energética de la planta para acompañar sus funciones vitales, como acontece con la respiración, acumulando, disponiendo y liberando la energía requerida para acompañar las actividades metabólicas básicas, entre las que destacan la síntesis de aminoácidos, proteínas, lípidos y otros compuestos orgánicos. La molécula de sacarosa puede ser sintetizada, invertida y resintetizada varias veces antes de cumplir su función fisiológica; comercialmente es conocida en el ámbito cañero como “azúcar”.

Como disacárido (glucosa + fructuosa), la sacarosa está sujeta a sufrir ruptura de su molécula para volver a sus dos azúcares simples (monosacáridos), lo cual ocurre por **hidrólisis** ácida o la

acción enzimática de las denominadas **invertasas** (ácida y neutra), como apuntara Chaves (2019d). La acumulación de sacarosa en los tallos es similar en los tejidos maduros e inmaduros, aunque la actividad de la invertasa ácida es mayor en los jóvenes hidrolizando más rápidamente la sacarosa, lo que implica un menor deterioro por hidrólisis en la sacarosa acumulada en los tejidos ya maduros (Larrahondo, 2012). Comercialmente debe evitarse que esa ruptura por hidrólisis de la molécula de sacarosa ocurra, pues se expresa en una pérdida de sacarosa recuperable en el ingenio con el perjuicio económico correspondiente para el productor. Bajos niveles de actividad de la invertasa ácida no necesariamente se reflejan en altas concentraciones de sacarosa almacenada.

El acumulo de sacarosa se inicia por los internudos basales y continua en sentido gradual ascendente hasta los superiores apicales, es un llenado de abajo hacia arriba. La fase de almacenamiento y translocación de sacarosa inicia desde los primeros meses de crecimiento de la caña hasta el completo desarrollo de los tallos. El mayor acumulo de sacarosa ocurre cuando la planta de caña encuentra condiciones que restringen, limitan y/o reducen su crecimiento, y con ello el uso de energía metabólica, favoreciendo la maduración. La translocación de la sacarosa de la hoja al tallo o las raíces como puntos de almacenamiento y/o utilización, ocurre a través de las células del floema de las hojas (nervaduras). Es ideal para lograr alta sacarosa que la actividad de la invertasa ácida sea baja, el contenido de nitrógeno y potasio en los internudos 8-10 no supere los 0,25% y 0,70%, la humedad de la vainas 3, 4, 5 y 6 este próxima a 73% y la temperatura mínima este abajo de 21°C (Chaves, 2019d).

¿Cómo interviene la temperatura?

Como se infiere de lo anotado anteriormente, la maduración es un proceso fisiológico complejo, que está condicionado a la influencia de factores naturales o inducidos artificialmente; destacando los correspondientes al clima, suelo, variedad sembrada y manejo agronómico de la plantación, entre otros. Cualquier factor que favorezca y promueva el crecimiento, la división celular y requiera energía metabólica para acompañar algún proceso metabólico, resulta contraria para incrementar la concentración de sacarosa; tal es el caso de lluvias caídas durante el periodo de maduración, el uso excesivo de fertilizantes en particular nitrógeno o la cosecha temprana (a menor edad). En dicho caso la energía se toma de la glucosa, que de no estar disponible, la planta la obtiene rompiendo (por inversión hidrolítica) la molécula de sacarosa presente en tejidos jóvenes por hidrólisis inducida por la invertasa ácida, en detrimento

directo de la concentración de sacarosa. Los monosacáridos (glucosa + fructuosa) generados, conocidos también como **azúcares reductores**, son en este caso translocados al citoplasma y convertidos en otros compuestos (proteínas, triosas, hexosas, polímeros). Por el contrario, el déficit o insuficiencia hídrica y las bajas temperaturas en el mismo periodo, son por el contrario favorables para elevar el acumulo, pues la sacarosa permanece en su estado natural. Se considera que en localidades donde no hay limitación hídrica, es necesario que la temperatura media diaria sea inferior a 21°C por al menos durante los últimos tres meses para que ocurra maduración por retardamiento en el crecimiento. Queda demostrado que la temperatura y la disponibilidad hídrica condicionan el desarrollo vegetativo y la maduración. Se ha encontrado comercialmente a nivel de práctica agrícola, que cuando los cambios térmicos entre la temperatura máxima diurna y la mínima nocturna son amplios durante el periodo de maduración, en un rango promedio superior a 10°C, la concentración de sacarosa (**azúcar no reductor**) se ve muy favorecida e incrementada. Este aspecto es de particular relevancia en las zonas de mayor altitud del país (Juan Viñas, Valle Central). Por asociación, las bajas temperaturas nocturnas están vinculadas a días y noches despejadas de baja o ninguna nubosidad; por lo que puede entonces aseverarse que *“noche despejada azúcar acumulada”*.

Variedades y control de madurez

Las variedades comerciales de caña de azúcar poseen diferentes ciclos de maduración: *temprana*, *media* y *tardía*, aún sembradas en el mismo momento. Esto introduce la necesidad de cortarlas en su punto de máxima concentración de sacarosa, pues antes o después implica incurrir en pérdidas de concentración que redundan en menos rendimiento industrial (kilogramos de sacarosa/tonelada métrica de caña molida) y menos ingresos económicos. En la Figura 1 se expone un modelo teórico para Costa Rica donde se fijan dos valores referentes de **Pol (%) Caña** comprendidos entre 11% y 14%, basados en antecedentes nacionales de 15 zafas (Chaves 2019b), considerando el valor de 11% como línea base y 14% como límite superior. La media nacional de Pol fue en este caso de 12,97%, con máximos de 15,14% y Mínimos de 10,20%, para una desviación estándar de 0,21% y un CV de 1,60%; la Zona Sur alcanzó una media de Pol % Caña en 15 años de 14,12% con máximos de 15,14%. Una vez superado el primer índice (11%) puede iniciarse la cosecha (no antes) y el mayor (14%) sirve como referencia para establecer el momento cuando la plantación o variedad entra en posible fase irreversible de declinación productiva, aunque puede que muchas variedades y localidades productoras ni siquiera lo

Silva, FC da; Mutton, MJR.; Cesar, MAA.; Machado Junior, GR.; Mutton, MA.; Stupiello, JP. 2015. *Qualidade da cana-de-açúcar como matéria prima*. En. Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. Volume 1. Fábio Cesar da Silva, Bruno Jose Rodríguez Alves, Pedro Luiz de Freitas, editores técnicos. Brasília, DF: EMBRAPA. pp: 288359.

Van Heerden, PDR.; Eggleston, G.; Donalson, RA. . 2014. *Ripening and Postharvest Deterioration*. In. SUGARCANE: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology. / edited by Paul H. Moore, Frederick C. Botha. New York: Ed John Wiley & Sons, Inc. Iowa USA. p. 55-84.

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO**Producción y edición:***Karina Hernández Espinoza**Katia Carvajal Tobar*

Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas
Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL