

Marzo 2020 - Volumen 2 – Número 7

Periodo 30 de marzo al 12 de abril de 2020

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 16 DE MARZO AL 22 DE MARZO

Durante la semana se presentaron escasas lluvias en todo el país, la zona más lluviosa fue el Caribe Norte.

En la figura 1 se puede observar el acumulado semanal de lluvias sobre el territorio nacional. La estación que sobrepasó los 40 mm fue la estación de Canta Gallo.

A nivel nacional el día más lluvioso de la semana fue el viernes, mientras que el día menos lluvioso fue el martes.

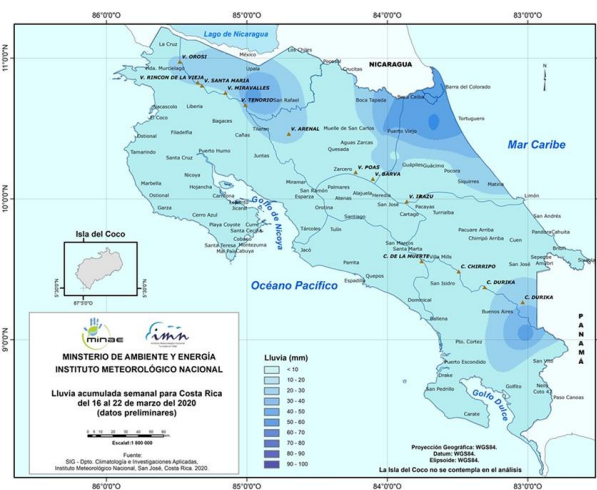


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 16 al 22 de marzo del 2020 (generado utilizando datos preliminares).

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA SEMANA DEL 23 DE MARZO AL 29 DE MARZO

Durante la semana se presentaron escasas lluvias en todo el país, la zona más lluviosa fue el Pacífico Sur.

En la figura 1 se puede observar el acumulado semanal de lluvias sobre el territorio nacional. La estación que sobrepasó los 60 mm fue la estación de Altamira en el cantón de Buenos Aires.

A nivel nacional el día más lluvioso de la semana fue el domingo, seguido del martes, mientras que el día menos lluvioso fue el viernes.

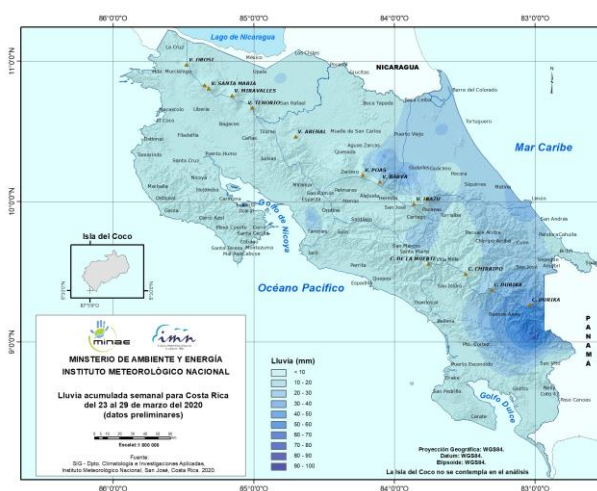


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 23 al 29 de marzo del 2020 (generado utilizando datos preliminares).

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CLIMÁTICAS PERIODO DEL 30 DE MARZO AL 05 ABRIL 2020

Durante la semana se esperan condiciones poco lluviosas en la vertiente Caribe y Zona Norte, así como condiciones secas en el Pacífico Norte. Asociado a la disminución del viento a mitad de semana se estiman lluvias ocasionales en el Valle Central, el Pacífico Central y en el Pacífico Sur.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS PERIODO DEL 30 DE MARZO AL 05 DE ABRIL 2020

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.

Se esperan condiciones con lluvias escasas en todas las regiones. Se presentará una reducción del viento a mediados de semana, excepto en la Zona Norte, Turrialba y la Zona Sur. Todas las regiones mantendrán amplitudes térmicas homogéneas, con valores máximos a mediados de semana, asociado al incremento de la temperatura máxima y temperatura mínima.

“Inicia el periodo de transición hacia la época lluviosa 2020.”

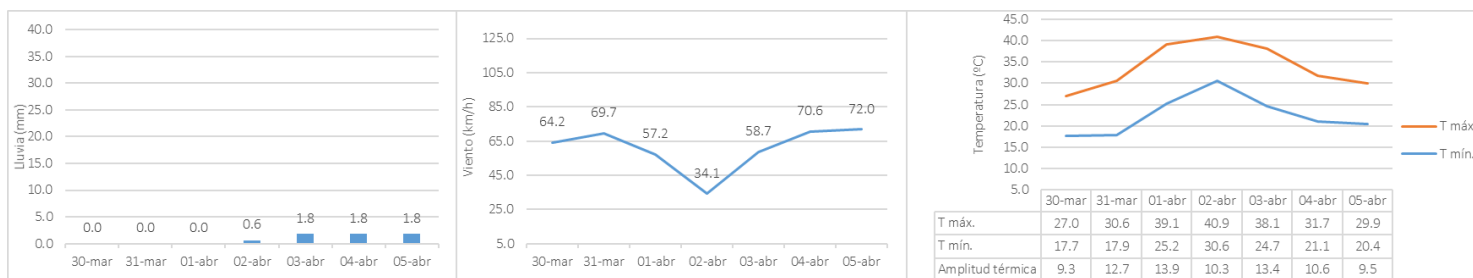


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 30 de marzo al 05 de abril en la región cañera Guanacaste Este.

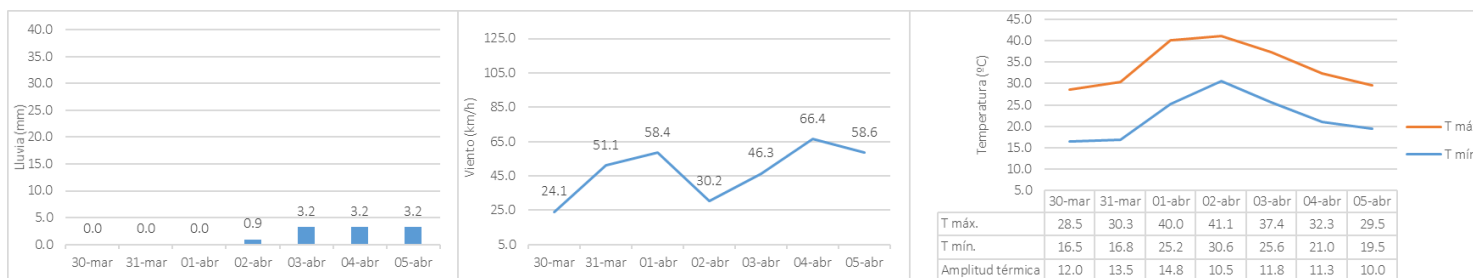


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 30 de marzo al 05 de abril en la región cañera Guanacaste Oeste.

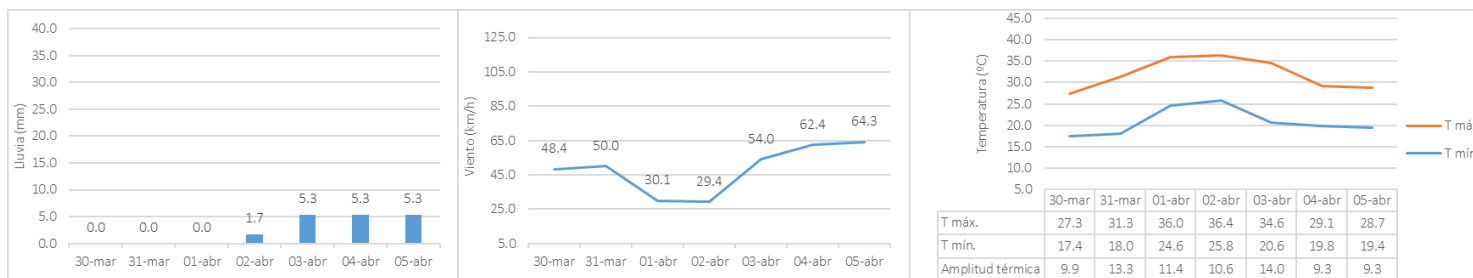


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 30 de marzo al 05 de abril en la región cañera Puntarenas.

Marzo 2020 - Volumen 2 – Número 7

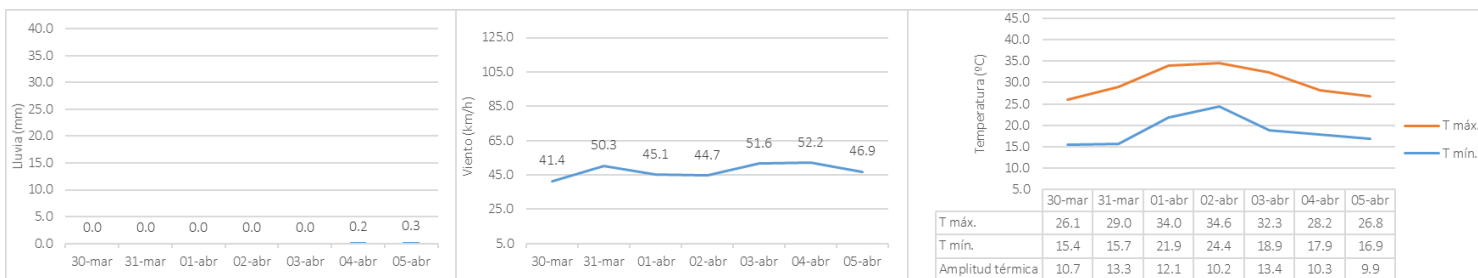


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 30 de marzo al 05 de abril en la región cañera Zona Norte.

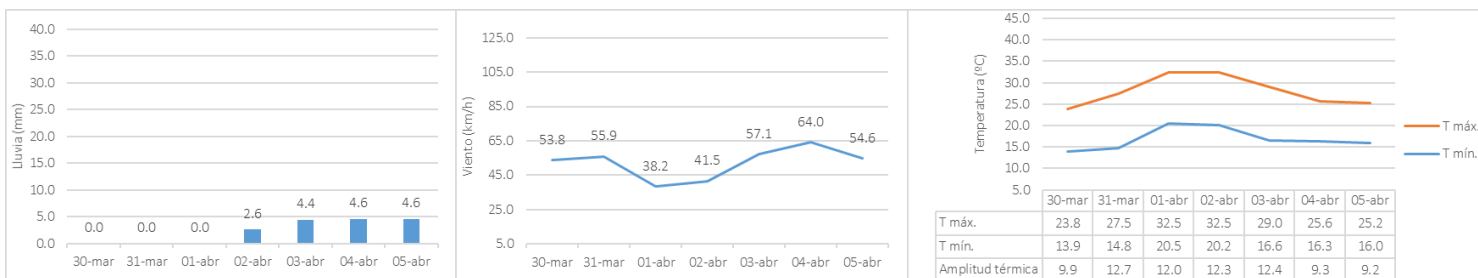


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 30 de marzo al 05 de abril en la región cañera Valle Central Este.

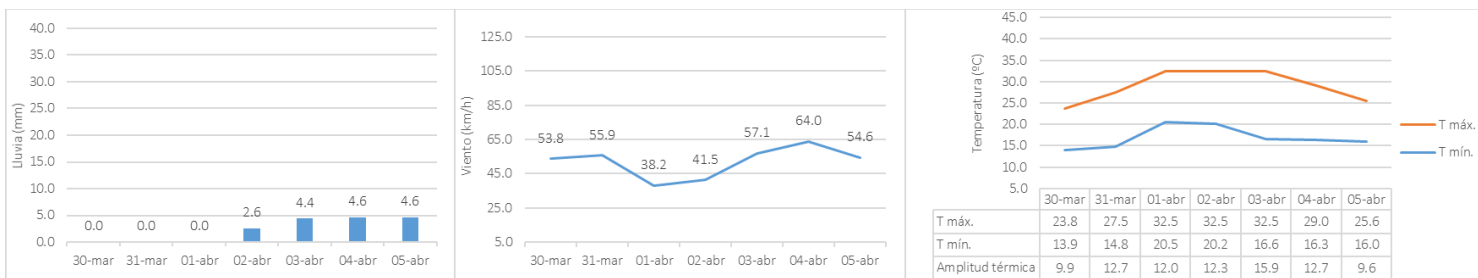


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 30 de marzo al 05 de abril en la región cañera Valle Central Oeste.

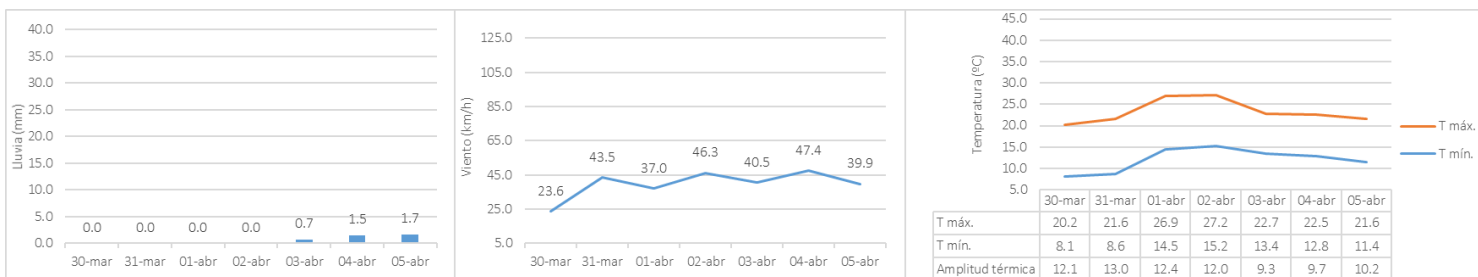


Figura 9. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 30 de marzo al 05 de abril en la región cañera Turrialba.

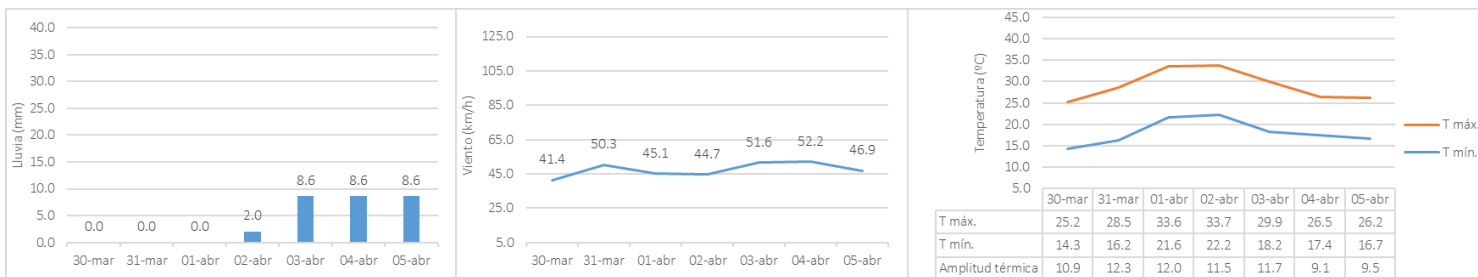


Figura 10. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 30 de marzo al 05 de abril en la región cañera Zona Sur.

Marzo 2020 - Volumen 2 – Número 7

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 06 DE ABRIL AL 12 DE ABRIL 2020

Se da el inicio a la etapa de transición hacia la época lluviosa 2020, por lo que se esperan condiciones variables con lluvias ocasionales en la vertiente Pacífico, por su parte la vertiente Caribe y Zona Norte mantendrán condiciones normales, así como el Valle Central percibirá algunas lluvias dispersas propias del período.

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 regiones cañeras, este porcentaje es un estimado para los primeros 30 cm del suelo y válido para el día 30 de marzo del 2020.

Debido a las condiciones propias de la época seca, la mayoría de los suelos de todas las regiones tienen porcentajes muy bajos de humedad; Guanacaste Este y Guanacaste Oeste presentan en su mayoría una saturación entre 0% y 15%, aunque hay áreas con humedades entre 15%-30%.

Los porcentajes de las regiones de Puntarenas, Valle Central Este y Valle Central Oeste están entre 0% y 15%. La Región Sur tiene entre 0% y 75%; sin embargo, la mayoría de los suelos tienen entre 0% y 15% de humedad.

En la Región Norte, la saturación varía entre 0% y 45%. La humedad del suelo en la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) está entre 0% y 45%, mientras que la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) se encuentra entre 0% y 30%.

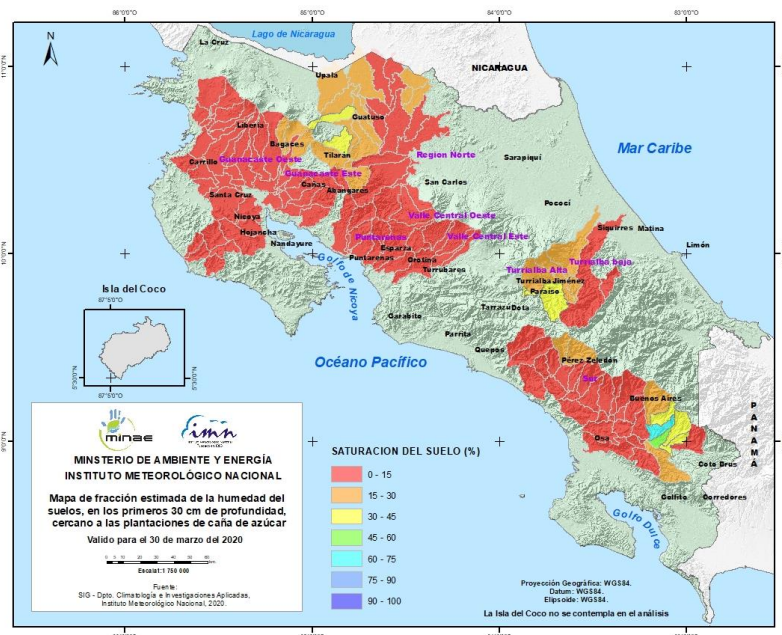


Figura 11. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), a 30m de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 30 de marzo del 2020.

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

PRONOSTICO DE LA ESTACIÓN LLUVIOSA 2020

Instituto Meteorológico Nacional

Ante un escenario con condiciones neutras en el Pacífico ecuatorial (es decir, sin Niño ni tampoco Niña) al menos hasta septiembre del 2020, con probabilidad del 40% de presentarse un Fenómeno de la Niña en el último trimestre del presente año (octubre a diciembre), asociado a condiciones cálidas en el Mar Caribe durante todo el año.

La figura 1 muestra las fechas probables para el inicio de la época lluviosa del año 2020. Como es normal, el mes de abril mostrará condiciones propias de la transición desde la época seca hacia la época lluviosa. La época lluviosa se irá acentuando en el país desde la primera semana de abril en el Pacífico Sur, avanzando hacia el Norte del país y culminando en la segunda quincena de mayo con la época lluviosa iniciada en todo el territorio nacional.

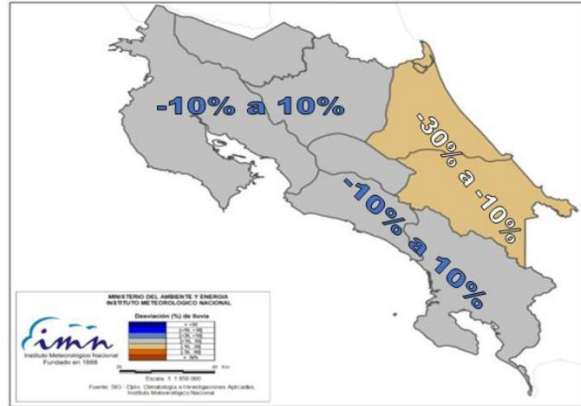


Figura 2. Anomalías de lluvia para los meses de abril a junio del año 2020.

La figura 3 muestra las estimaciones de la cantidad de lluvia que se espera para los meses de septiembre y octubre. Se espera que durante estos meses se presente un pequeño déficit en las regiones climáticas de la vertiente Caribe y Zona Norte. Mientras las regiones del Valle Central y Pacífico Norte presentarán un patrón más lluvioso de lo normal, a diferencia del resto de la vertiente Pacífico que mantendría condiciones bastante más lluviosas de lo normal.

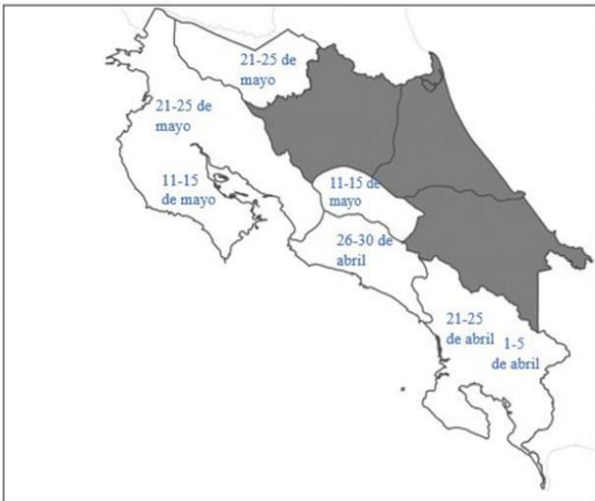


Figura 1. Fechas probables para el inicio de la época lluviosa del año 2020.

La figura 2 muestra las estimaciones de la cantidad de lluvia que se espera para los meses de abril a junio. Para este periodo se tendrán lluvias normales en las regiones climáticas de la vertiente Pacífico, Zona Norte y el Valle Central. Por su parte la vertiente Caribe mostrará un déficit de lluvias de entre 10 y 30%.

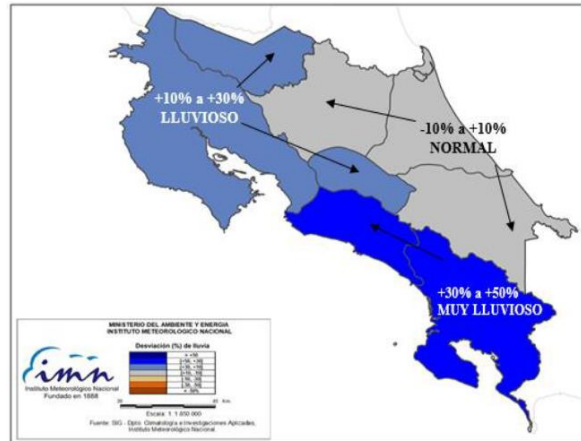


Figura 3. Anomalías de lluvia para los meses de septiembre y octubre del año 2020.

La Canícula se estima que sea percibida únicamente en la región climática Pacífico Norte, entre julio y agosto 2020. Mientras en este mismo periodo se prevén lluvias de entre 10 a 30% más de lo normal en las regiones Valle Central, Pacífico Central y Pacífico Sur.

La temporada de huracanes del Atlántico se extiende normalmente entre el 01 de junio y el 30 de noviembre de cada año. Durante el año 2020 se prevén entre 15 y 19 ciclones tropicales, de los cuales al menos 7 tendrán posibilidades de convertirse en huracán.

NOTA TÉCNICA

Estrés por frío en la caña de azúcar en Costa Rica

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

mchavez@laica.co.cr

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

Con el objeto de ubicar y contextualizar geográficamente la condición natural de los entornos y áreas sembradas con caña de azúcar en Costa Rica, en relación a las temperaturas promedio mínimas medidas en grados centígrados (°C), y poder buscar y juzgar con buen criterio técnico la posibilidad de que algunas de ellas pudieran estar sometidas a una condición inconveniente de *estrés por frío*, que pudiera estar provocando alguna afectación sobre el crecimiento y la expresión del potencial productivo agroindustrial, se desarrolla el presente estudio. En sus fines y objetivos técnicos básicos, la valoración térmica realizada en el presente documento, opera como un complemento perfecto, aunque en este caso opuesto, al estudio denominado “*Estrés por calor en la caña de azúcar en Costa Rica*”, publicado recientemente por Chaves (2020b).

El elemento temperatura no cabe la menor duda que resulta de fundamental importancia considerarlo como un factor estimulante y necesario para promover el desarrollo agrícola de plantas acondicionadas para ello, como es el caso particular de la caña de azúcar; aunque también en casos extremos, sea por presencia de periodos de alta intensidad térmica, o en contrario, por la prevalencia de condiciones muy frías, puede constituirse en un factor contraproducente para optimizar y maximizar los intereses productivos, comerciales y económicos de la gestión empresarial emprendida en el campo.

Una revisión geográfica de las zonas productoras de azúcar en el mundo revela que la planta de caña se adapta y cultiva comercialmente en condiciones climáticas tropicales y subtropicales, aproximadamente entre los 36,7° de latitud norte hasta los 31,0° de latitud sur. Apunta y amplía Chaves (2019e) al respecto, que “*comercialmente la caña históricamente se ha cultivado y cultiva en la actualidad en cuatro continentes: Asia, América, África, Europa y Oceanía, desde latitudes de 37° Norte a 31° Sur, que representan los “límites geográficos del cultivo comercial de la caña de azúcar” marcando con ello una amplia escala de adaptación que involucra todo tipo de condiciones, algunas favorables para aprovechar el potencial de la planta; otras no.*”

A pesar de su gran capacidad de adaptación, la caña es esencialmente un cultivo tropical, que expone sus mejores condiciones potenciales de adaptación y productividad agroindustrial en la denominada zona intertropical, que es la franja ubicada entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio, situados a 23° 26’ de latitud de los hemisferios norte y sur. Como se ha demostrado con base en la experiencia mundial “*la caña de azúcar es una planta de sol, agua y alta temperatura*”; por ello, el cultivo requiere de días largos, soleados y calientes (32 a 38 °C) durante la temporada de crecimiento, con niveles moderados a altos de precipitación (1.100 y 1.500 mm anual).

Caña de azúcar y temperatura

En documentos citados con anterioridad se ha hecho mención sobre como el factor térmico es un elemento del clima determinante para favorecer, o en su caso, deteriorar la productividad agrícola medida en toneladas métricas, como también la calidad del jugo de la caña de azúcar; los cuales son intervenidos y afectados de manera diferenciada por las condiciones climáticas predominantes durante las distintas fases del ciclo vegetativo del cultivo. Como acontece con los otros elementos del clima, la temperatura debe ser juzgada e interpretada con base en los diferentes estados fenológicos del cultivo, pues su participación varía radicalmente, tornándose favorable o negativa para los intereses comerciales del cultivo; no puede por ello, prevalecer un único criterio de valoración. La división celular y con ello el crecimiento vegetativo y la producción de biomasa están directamente relacionados con el factor térmico. La literatura señala y coincide en que la temperatura óptima para inducir y promover la brotación (germinación) de los esquejes debe estar entre 32 y 38°C (Alexander, 1973; Castillo y Silva, 2004; Romero *et al*, 2009, 2013; SUGARCANE, 2014; Matsuoka, 2015; Castro, 2016). Asegura, asimismo, que la germinación se ve limitada y disminuida con temperaturas debajo de los 25°C; llegando sin embargo a su nivel máximo cuando la misma esta entre 30 y 34°C, pese a lo cual se ve impactada de manera severa por encima de los 35°C, deteniéndose cuando el factor térmico se ubica sobre los 38°C pues la tasa de fotosíntesis disminuye y aumenta por el contrario

la respiración. La germinación se dice que es lenta cuando la temperatura del suelo baja a 17-18°C; siendo limitada cuando las mismas son inferiores a 11°C. Es importante considerar que no solo la temperatura del aire es importante, sino también la del suelo, pues interviene sobre el crecimiento de las raíces. Cuando prevalecen temperaturas altas la caña de azúcar alcanza un crecimiento vegetativo importante y significativo (2019abcdef, 2020ab).

Anteriormente se comentó que, para efectos de la fase de maduración de la plantación, es preferible contar con temperaturas relativamente bajas, preferiblemente en el rango de 12 a 14°C, ya que determinan y ejercen una marcada influencia sobre la reducción de la tasa de crecimiento vegetativo favoreciendo la concentración y acumulo de azúcar en la caña. En ambientes con temperaturas altas la sacarosa puede degradarse (invertirse) en sus componentes básicos: *fructosa* y *glucosa*; además de estimular y favorecer la fotorrespiración como pérdida neta de energía metabólica, lo que se traduce en una menor acumulación de azúcares en los tallos de la planta (Chaves, 2019bcd).

Por otro lado, cuando las condiciones de frío por causa de las bajas temperaturas son severas la brotación de los retoños (socas) se ve inhibida y el crecimiento de la caña se ve consecuentemente disminuido. Se asegura que, para crecer, la caña de azúcar exige como mínimo una temperatura entre 14 y 16°C, siendo la mínima para el crecimiento activo cercana a los 20°C. Temperaturas entre 14 y 18°C se tornan ideales para inducir la maduración natural y concentración de sacarosa en los tallos. Hay coincidencia en reconocer que la caña de azúcar no tolera temperaturas inferiores a 0°C, pues provocan el congelamiento de las partes menos protegidas, como son las hojas jóvenes, las yemas laterales y la sección apical de la planta. La brotación se activa sobre los 10°C, pero en un ritmo lento entre 16 y 18°C estabilizándose cerca de los 20°C; siendo su óptimo entre 28 y 32°C. El crecimiento vegetativo de la plantación se ve limitado con temperaturas menores a 16-17°C, ubicándose su óptimo técnico entre 28 y 35°C. Las temperaturas bajas (<18°C) durante el periodo inductivo afectan inhibiendo la floración de la caña, como anotara Chaves (2017, 2019h). El grado de daño que pueda provocar una baja temperatura depende mucho de la duración del período frío, la magnitud de esta y la condición de la planta en cuanto a nutrición y fitosanidad general; otros elementos del medio como son el viento y la humedad tienen también injerencia. En las zonas subtropicales las bajas temperaturas en el periodo de invierno reducen, casi

totalmente, el crecimiento vegetativo de la caña debido a que afecta la formación de clorofila, la absorción de nitrógeno y potasio aun cuando los niveles de estos nutrimentos sean adecuados en el suelo.

Heladas en caña de azúcar

En algunas regiones sobre todo subtropicales es común escuchar sobre los perjuicios que provocan las denominadas “*heladas y granizadas*” sobre las plantaciones comerciales de caña de azúcar, las cuales pueden tener consecuencias agro-productivas y financieras catastróficas. Una helada se forma cuando la temperatura del suelo cae por debajo de los 0°C, sobre todo en zonas topográficamente bajas donde el aire frío se acumula y la superficie de exposición es alta. Meteorológicamente hay helada cuando la temperatura del aire en el abrigo (1,5 metros sobre nivel del suelo) es de 0°C o menos; pudiendo la temperatura del suelo ser 3 a 4°C menor que la registrada en el abrigo. Romero et al. (2009) aportan una categorización de los “*daños ocasionados al cañaveral según la severidad de las heladas*”, estableciendo para ello cuatro niveles: 1) helada suave: Intensidad de 0 a -2°C con una duración <10 horas; 2) helada moderada: Intensidad de -2 a -3,5°C con una duración de 10 a 20 horas; 3) helada severa: Intensidad de -3,5 a -6°C con una duración de 20 a 35 horas y 4) helada muy severa: Intensidad de -3,5 a -6°C con una duración > 35 horas. Los efectos derivados en cada una de ellas son: 1) amarillamiento del follaje, quemaduras focalizadas, no afectando el brote guía o meristemo; 2) follaje totalmente afectado, brote guía dañado y ennegrecimiento de los tejidos; 3) destrucción del follaje, daño del meristemo, yemas y porciones apicales del tallo (tres entrenudos) y 4) destrucción del follaje, daño en el meristemo apical y daños en más de seis yemas y entrenudos. El daño a las plantas puede en el caso de los cultivos tropicales como la caña, ocurrir sobre los 0°C en variedades susceptibles.

El impacto de una helada es variable dependiendo de varios factores como son: intensidad, sucesión, reincidencia y duración de las bajas temperaturas (efecto es acumulativo), ubicación de la plantación, variedad sembrada, grado de maduración del mismo (temprana-media-tardía), edad y estado de crecimiento vegetativo del cultivo, fitosanidad y estado de nutrición de la plantación, nivel de cobertura y productividad esperado (más bajos se afectan más), grado de volcamiento (caída con más afectación), oportunidad de cosecha de campos afectados y manejo de la cosecha en cuanto a uso del fuego, despunte, sistema de recolección empleado, duración del estacionamiento de la materia prima, entre otros. Las condiciones ambientales

(temperatura, humedad y lluvias) que prevalezcan luego de ocurrida una helada para la recuperación, son determinantes. En Tucumán, Argentina se han reportado pérdidas de caña de un 40% entre los meses de julio-octubre en variedades sensibles con heladas moderadas y hasta de un 65% en las más severas. En el caso del azúcar las tasas según Romero et al. (2009) pueden alcanzar hasta un 2,4%, 3,8% y 4,5% por día para el inicio, mitad y final de zafra, respectivamente.

Expresan Romero y Scandaliaris (2013) al respecto que *“...el impacto negativo de las heladas sobre el rendimiento fabril es una consecuencia de dos efectos importantes. El primero deriva del daño que el frío provoca en el follaje de los cañaverales, afectando la fotosíntesis y paralizando la maduración. De esta manera, el contenido máximo de azúcar en el campo queda prácticamente determinado por el nivel que alcanzó el cañaveral antes de la ocurrencia de las heladas. El otro efecto perjudicial se expresa en el periodo post-heladas e implica el progresivo deterioro de los jugos, reduciéndose el contenido de sacarosa, aumentando el de las sustancias no deseables y afectando la recuperación del azúcar y su calidad.”*

Sobre los daños ocasionados sobre la planta de caña, señalan Romero et al. (2009), Romero et al. (2013), Cuenya et al. (2014) y Bonzi (2016), que los efectos aplican sobre el follaje de la plantación afectando la fotosíntesis, reduciendo y/o paralizando la maduración fijando el grado sacarino de ese momento; además provoca destrucción de hojas, muerte del meristemo apical rompiendo dominancia y favoreciendo el brotamiento de “lalas” y daño severo de las yemas laterales. El congelamiento del agua presente en la superficie vegetal quema los tejidos y la contenida en las células y tejidos forma cristales que rompen sus membranas. También el deterioro del jugo en el periodo post helada es impactante al afectar la recuperación, presencia de sustancias indeseables y la calidad del azúcar, evidenciados por la disminución de la sacarosa y la pureza, el incremento de la acidez por presencia de ácidos orgánicos y aumento de la viscosidad (por presencia de dextranas), lo cual se ve favorecido por condiciones de tiempo cálido y húmedo luego de la helada, pues estimulan el crecimiento microbiano. En el caso de la semilla la afectación sobre las yemas es muy severa perdiendo calidad. Señalan Cuenya et al. (2014) al respecto, que *“las células afectadas por heladas se tornan más vulnerables a la acción de microorganismos (especialmente la bacteria Leuconostoc mesenteroides) que degradan la sacarosa por la acción de diferentes enzimas y la convierten en dextrana (polisacarido), manitol (polialcohol), ácidos orgánicos (preferentemente ácidos*

láctico y acético) y azúcares simples, tales como glucosa y fructuosa.” Agregan, que *“...la entrada de microorganismos en el tejido de la caña de azúcar es favorecida por la muerte de las yemas laterales y por el agrietamiento de los tallos, que ocurren como consecuencia de las heladas.”*

Como acontece con otros factores de la producción el tema genético resulta determinante para atender y resolver en algún grado el impacto de las bajas temperaturas en la caña, como lo evidenciaran Legendre et al. (1985), al demostrar que hay efecto varietal en diferentes compuestos derivados del deterioro por frío, lo cual implica que la calidad industrial del jugo posterior a una helada depende en parte del genotipo presente. Es por ello que en las regiones que sufren este daño, existen diferentes estrategias para evitar las pérdidas por heladas, como es la caracterización y empleo de variedades comerciales con respecto a su tolerancia frente al frío.

Clima nacional

Una caracterización y tipificación de los entornos agro-productivos nacionales del cultivo de caña de azúcar realizada por Chaves (2019g), reveló que las localidades sembradas con caña en el país exhiben condiciones geográficas y climáticas muy heterogéneas, disímiles y diferentes entre sí, que delimitan y determinan los rasgos climáticos que particularmente presenta cada una de ellas y sobre las que se sustentan los potenciales reales y efectivos de productividad agroindustrial. Como se ha citado en otros artículos similares y básicamente para efectos de localización y ubicación geográfica en mapas cartográficos, las coordenadas más extremas en sentido norte-sur y este-oeste donde están colocadas y sembradas actualmente las plantaciones comerciales de caña de azúcar de Costa Rica, son: 11° 01' 57" y 09° 01' 05" latitud norte y 83° 33' 07" y 85° 38' 56" longitud oeste. Las zonas productoras de caña en el país superiores a 900 m.s.n.m. donde las temperaturas son bajas representan aproximadamente un 6% (≈3.750 hectáreas) del total nacional.

Virtud de su condición tropical es válido delimitar en el país dos estaciones dominantes bien definidas que mantienen sus condiciones tipificantes durante todo el año: la estación seca (verano) y la estación lluviosa (invierno). La condición eco fisiográfica, topográfica y de relieve variable y heterogéneo que prevalece en el país, provoca y favorece que las características bioclimáticas de las áreas sembradas con caña de azúcar sean inestables y muy cambiantes en tiempos y distancias muy cortas. Esta condición tan particular del país influye en la presencia de

“microclimas” que son característicos y muy distintivos del paisaje costarricense. El objetivo principal del presente artículo es determinar si en el país existen de manera consistente o aislada, condiciones ambientales generadoras de estrés para la planta por causa del frío, que pudieran estar eventualmente afectando el desarrollo normal de las plantaciones comerciales de caña de azúcar y con ello sus rendimientos agroindustriales.

Temperatura mínima y entornos productivos nacionales

Con el objeto de conocer, diagnosticar y evaluar con buen criterio técnico y alcance representativo, la situación prevaleciente en el campo con respecto a las *temperaturas mínimas* dominantes en los diferentes entornos agro-productivos donde se cultiva actualmente caña en forma comercial en el país, se presentan el cuadro 1 y la figura 1. Dicha temperatura para los efectos procurados fue evaluada en 13 estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en las seis zonas cañeras del territorio nacional, que miden dicha variable del clima. En lo particular en la región de Guanacaste se tomaron valores de los ingenios Taboga (18 m.s.n.m.), CATSA (28 m.s.n.m.) y Azucarera El Viejo (23 m.s.n.m.); en el Valle Central en la estación DIECA (1.014 m.s.n.m.) situada en Santa Gertrudis Sur de Grecia; en San Carlos la correspondiente a Quebrada Azul (180 m.s.n.m.) y Los Chiles “El Tremedal” (45 m.s.n.m.), situadas en los distritos de Florencia y El Amparo, respectivamente. Las mismas se complementaron en la región atlántica con datos procedentes del distrito Juan Viñas (1.181 m.s.n.m.), el CATIE (602 m.s.n.m.) y otra Estación ubicada en Turrialba Centro (630 m.s.n.m.). En la Zona Sur, fueron las correspondientes a El Porvenir (567 m.s.n.m.), La Presa (585 m.s.n.m.), La Ceniza (686 m.s.n.m.) situadas en el cantón de Pérez Zeledón y la de El Ceibo, ubicada en el cantón de Buenos Aires (364 m.s.n.m.). Por medio de esa información local fue viable comprobar las diferencias y variaciones existentes en cuanto a distribución mensual y anual de las temperaturas mínimas promedio en las localidades productoras indicadas. Por su relevancia y trascendencia técnica, resulta necesario mencionar que en el caso de algunas estaciones específicas (Quebrada Azul, CATIE, La Ceniza, La Presa y Turrialba) la información disponible para el periodo de cuatro años evaluada (2016-2019) fue parcial e incompleta, pero considerada valiosa por su ubicación y representatividad para el objetivo del estudio. En el caso del Pacífico Central no se ubicó una estación referente que midiera esta variable.

Una revisión detallada del contenido del cuadro 1 y la figura 1, demuestran que en lo específico la región cañera media-alta

(>900 m.s.n.m.) del país, presenta comparativamente y de manera consistente temperaturas más bajas con relación al resto de localidades productoras. En lo específico, el promedio anual del periodo de cuatro años evaluado (2016-2019) para la región alta de Grecia (>900 m.s.n.m.) fue de 14,1°C; seguido por la localidad también alta de Juan Viñas (>1.000 m.s.n.m.) con una media anual de 15,8°C, siendo ambas calificadas como las zonas más frías del país. La diferencia entre ambas zonas es de +1,7°C correspondiente a un +12,1% en favor de Juan Viñas, la cual resulta muy relevante. Le siguen en magnitud las regiones de Turrialba con 17,6°C, Pérez Zeledón en la Zona Sur con 19,0°C y la localidad de Buenos Aires de Puntarenas con una mínima anual de 20,5°C. Por su parte, la región baja (<400 m.s.n.m.) de Guanacaste y el Pacífico Central presentan comparativamente y de manera consistente temperaturas mínimas más altas en relación al resto de zonas, cuyo promedio anual en el primer caso fue de 23,1°C; en tanto que la Zona Norte, representada por los cantones de Los Chiles y San Carlos (30-680 m.s.n.m.), reportan temperaturas medias anuales de 22,3 y 20,8°C en el mismo periodo, respectivamente, para una diferencia poco significativa de Guanacaste de apenas +3,6% correspondiente a +0,8°C respecto a Los Chiles. Es interesante verificar que entre Los Chiles y San Carlos hay una diferencia térmica de +1,5°C correspondiente a +7,2% como resultado de sus valores individuales promedio de 22,3°C y 20,8°C, respectivamente. En este particular es conocido que la región de Los Chiles mantiene un comportamiento más alineado al de la región Pacífico Seco que la atlántica. Es definitivo que la altitud (m.s.n.m.) en que se encuentre ubicada la localidad, determina casi en correlación directa la magnitud de la temperatura mínima.

Cuadro 1. Temperatura mínima (°C) según región productora de caña de azúcar en Costa Rica. Periodo 2016-2019.

Región	Altitud (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
Guanacaste	5-150	22,5	23,2	24,1	24,0	23,9	23,6	23,4	23,2	22,9	22,7	22,2	22,1	23,1
San Carlos *	60-680	20,6	20,2	19,9	19,6	20,8	21,1	21,6	20,9	20,0	21,3	19,3	21,6	20,8
Los Chiles	30-70	21,1	20,7	21,1	22,2	23,6	23,6	23,0	22,8	22,5	22,6	22,5	21,5	22,3
Grecia	174-1.360	11,8	11,3	12,2	13,6	15,5	16,3	15,0	15,6	15,3	15,3	14,0	13,3	14,1
Juan Viñas	1.000-1.550	14,3	14,1	14,8	15,6	17,0	16,8	16,5	16,4	16,2	16,1	16,1	15,1	15,8
Turrialba *	480-1.000	15,6	15,4	16,1	17,0	19,4	18,7	17,8	18,2	18,2	18,4	17,8	16,6	17,6
Pérez Zeledón *	580-870	17,2	18,2	18,1	19,2	19,8	18,6	19,6	19,6	19,6	19,5	19,7	18,5	19,0
Buenos Aires	360-420	18,7	19,2	19,8	20,9	21,4	20,8	21,3	20,9	20,9	21,0	21,3	20,3	20,6
Promedio		17,7	17,8	18,3	19,0	20,2	19,9	19,8	19,7	19,4	19,6	19,1	18,6	19,1
Valor Máximo		22,5	23,2	24,1	24,0	23,9	23,6	23,4	23,2	22,9	22,7	22,5	22,1	23,1
Valor Mínimo		11,8	11,3	12,2	13,6	15,5	16,3	15,0	15,6	15,3	15,3	14,0	13,3	14,1
Diferencia		10,7	12,0	11,9	10,4	8,4	7,3	8,3	7,6	7,5	7,4	8,5	8,8	9,1
Desv Estándar		3,7	3,9	3,8	3,5	2,9	2,8	3,1	2,8	2,7	2,8	3,0	3,3	3,2
Coef. Variación		20,8	22,1	20,7	18,2	14,5	14,1	15,6	14,2	14,1	14,4	15,7	17,7	16,5

Fuente: Chaves (2019b); DIECA (2020).

La información proviene de 13 Estaciones Meteorológicas ubicadas estratégicamente en cada región y localidad cañera.

* Hubo Estaciones que aportaron información parcial con ausencia de datos en periodos.

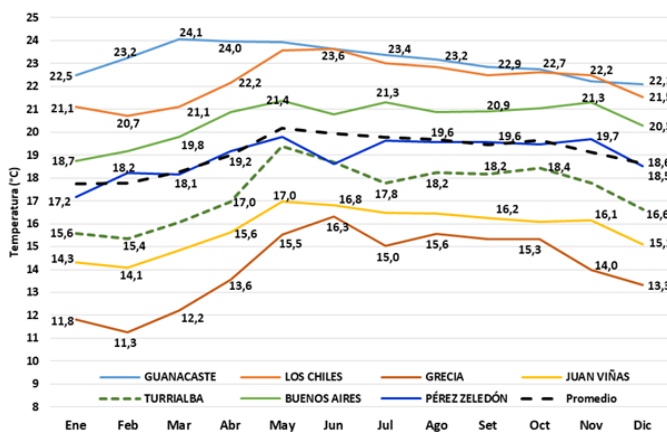


Figura 1. Temperaturas mínimas en zonas cañeras de Costa Rica. Periodo 2016-2019.

Al desagregar los valores mensuales para cada periodo anual con el objeto de encontrar puntos de inflexión que revelen posibles tendencias, se encontró los valores promedio más fríos con temperaturas de 10,2°C en el mes de enero 2017 en Grecia, con otras también bajas de 10,9 y 11,0°C ocurridas en febrero 2019 y febrero de los años 2018 y 2017. En enero del 2019 y marzo 2018 fueron de 11,2°C y 11,3°C en el mismo lugar, lo que denota lo frío del lugar en esos meses. Los años 2018 (13,6°C) y 2019 (14,1°C) fueron en definitiva muy fríos en esa zona. Juan viñas mostró por su parte tener también temperaturas mínimas bajas, como aconteció en enero 2019 cuando observó una media de 13,6°C, en el 2017 con 13,7°C y en el mes de febrero 2019 con 13,7°C, lo que demuestra que esta región es también bastante fría y notablemente más húmeda, lo que marca una diferencia importante para los cultivos. En la zona de Juan Viñas el año 2018 fue el más frío con un promedio de temperatura anual de 15,4°C y el 2017 con 15,7°C. Puede asegurarse con base en datos medibles que las regiones de Grecia, Juan Viñas, Turrialba y la localidad de Pérez Zeledón, situada en la Zona Sur, son las que muestran las temperaturas mínimas más bajas del país, todas con medias anuales inferiores a 19,0°C, como se muestra en el cuadro 1 y la figura 1. Resulta interesante comprobar que esas localidades observan las mejores concentraciones de sacarosa del país, lo que pareciera, no es casualidad. Por el contrario, las localidades más bajas (<400 m.s.n.m.) como Guanacaste, Pacífico Central y Los Chiles son la que ostentan las temperaturas mínimas más altas, con una media sostenible para el periodo evaluado de cuatro años de 22,7°C; en respuesta directa, como se indicó, a la determinante influencia que marca la altitud en que se encuentran ubicadas las plantaciones comerciales de caña, en cuyo caso son menores a 400 m.s.n.m. (cuadro 1). Como

se infiere, existe una importante y muy significativa diferencia promedio anual de +8,6°C de esa zona baja con respecto a la de menor temperatura observada en el país (Grecia), para un significativo diferencial del +61%. Siempre resulta aleccionador señalar y reiterar que las plantaciones comerciales de caña de azúcar se ubican en Costa Rica en un plano altitudinal muy amplio, heterogéneo y variable, que va desde los 4 m.s.n.m. hasta aproximadamente los 1.550 m.s.n.m. (Chaves 2019g).

La mitad de las regiones cañeras del país mostraron temperaturas mínimas promedio anual inferiores a los 20°C, a excepción de Guanacaste (23,1°C), Los Chiles (22,3°C), San Carlos (20,8°C) y Buenos Aires (20,6°C). Las temperaturas y “picos térmicos” más bajos se presentan en el país en su orden en los meses de enero (17,7°C), febrero (17,8°C), marzo (18,3°C) y diciembre (18,6°C), coincidentes con el periodo de cosecha de la caña; siendo por ello el mes de enero el más frío, con una media nacional de 17,7°C seguida por febrero con 17,8°C. Las temperaturas mínimas más altas fueron en contrario en promedio, las de mayo (20,2°C) y junio (19,9°C). En lo particular para la zona de influencia cañera de Guanacaste, el ingenio Taboga (Cañas) es el que muestra las temperaturas medias más bajas de 23°C; seguido por CATSA (Liberia) y Azucarera El Viejo (Carrillo) con una media anual de 23,2°C cada uno, lo que demuestra una tendencia térmica anual muy similar.

Al comparar en la figura 2, las temperaturas mínimas promedio de Grecia, Juan Viñas, Guanacaste y el promedio nacional, se notan las grandes diferencias que existen entre ellas, marcando un contraste muy significativo que indudablemente tiene repercusiones sobre el crecimiento vegetativo y la maduración natural de la caña de azúcar. Es notorio como la temperatura disminuye en el país a partir del mes de octubre (19,6°C) y hasta febrero (17,8°C), luego de lo cual inicia un aumento sistemático hasta el mes de mayo (20,2°C); lo que denota una tendencia marcada por dos periodos de aumento-disminución durante el año. Al observar lo que acontece en Grecia, se comprueba que luego del mes de junio (16,3°C) las temperaturas bajan hasta febrero (11,3°C) cuando se elevan nuevamente. Guanacaste muestra en este particular una tendencia muy exclusiva, pues las temperaturas mínimas bajan sistemática y lentamente a partir de marzo (24,1°C) y hasta diciembre (22,1°C), luego de lo cual se elevan de nuevo.

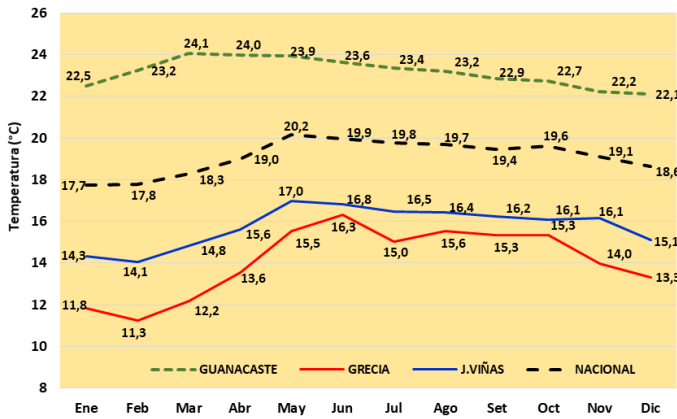


Figura 2. Temperaturas mínimas de las regiones cañeras más frías. Periodo 2016-2019.

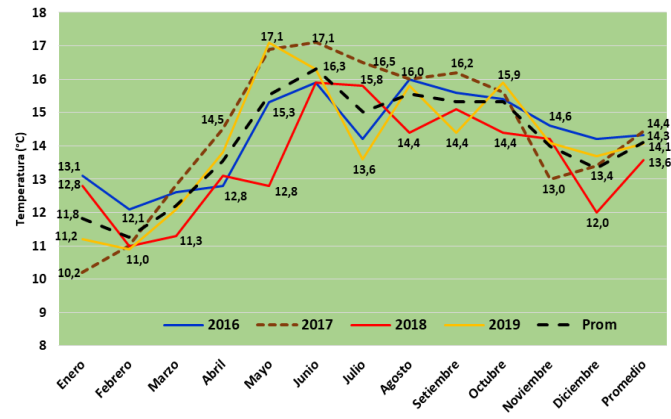


Figura 3. Temperaturas mínimas de Grecia según mes y año. Periodo 2016-2019.

Procurando interpretar la variación entre años, pero aplicado a lo interno de una misma región, se presentan las figuras 3 y 4, en las cuales se anotan de manera individual por año y mes, los promedios de temperatura mínima presentes en las regiones de Grecia y Juan Viñas para el periodo de cuatro años transcurrido entre los años 2016-2019. Es notorio como existen diferencias de fondo entre ambas localidades productoras tanto entre años como entre meses, manteniendo Grecia los puntos térmicos más bajos del país bajo un comportamiento muy dinámico e inestable. Los años 2017 y 2018 parecieran ser los más variables y fluctuantes dentro del periodo evaluado. En Juan Viñas la temperatura muestra una tendencia comparativamente muy estable con relativamente pocas variaciones significativas. Los valores de desviación estándar y coeficiente (%) de variación ratifican ese comportamiento moviéndose en el caso de Grecia en un ámbito entre $\pm 1,34^{\circ}\text{C}$ y $\pm 0,17^{\circ}\text{C}$ en el caso del primer indicador, y de 9,39% y 0,99% en el caso del CV. En Juan Viñas dichos índices fueron de $\pm 0,88$ y $\pm 0,07^{\circ}\text{C}$ y de 6,13-0,49%, respectivamente. Enero es en ambas localidades el mes de mayor variación con desviaciones de $\pm 1,34^{\circ}\text{C}$ en Grecia y $\pm 0,88^{\circ}\text{C}$ en Juan Viñas; en tanto que agosto fue el más bajo en la primera con $\pm 0,14^{\circ}\text{C}$ y setiembre en la segunda con $\pm 0,07^{\circ}\text{C}$. Se concluye, por tanto, que son esperables mayores variaciones en las temperaturas mínimas en Grecia respecto a Juan Viñas, lo cual puede ser favorable para la maduración y la concentración de sacarosa, pero de afectación potencial para el crecimiento vegetativo de la plantación con perjuicio para el tonelaje de caña esperado.

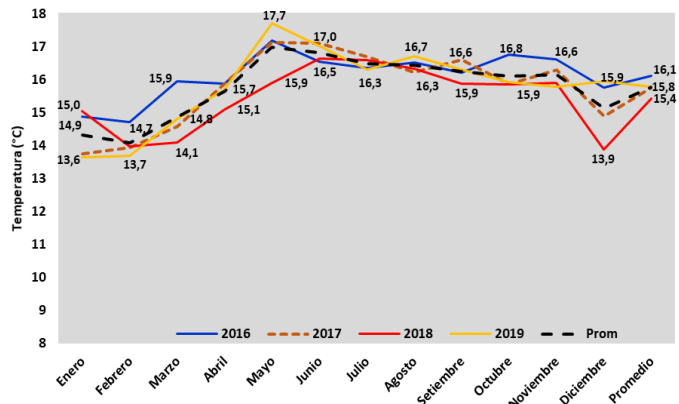


Figura 4. Temperaturas mínimas de Juan Viñas según mes y año. Periodo 2016-2019.

Los rangos naturales de variación en Grecia fueron de una mínima promedio de $10,2^{\circ}\text{C}$ observada en enero 2017 y una máxima de $17,1^{\circ}\text{C}$ en mayo 2019 y junio 2017, para una diferencia muy significativa de $6,9^{\circ}\text{C}$ entre ambas correspondiente al 67,6%. En el distrito de Juan Viñas la temperatura más baja ocurrió en enero 2019 con $13,6^{\circ}\text{C}$ y la más alta promedio en mayo 2019 con $17,7^{\circ}\text{C}$, para un diferencial de $4,1^{\circ}\text{C}$ equivalente al 30,1%. En otras localidades cañeras, los cambios térmicos son también altos y significativos en magnitud. Se ratifica nuevamente al igual que aconteció con la temperatura máxima, la importante y significativa heterogeneidad que prevalece en materia de temperaturas mínimas en los diferentes entornos productivos de caña de azúcar en Costa Rica; aún validados para una misma región y periodos anuales, lo que inhibe poder y pretender establecer generalizaciones, por cuya

causa las mismas resultan inválidas y poco representativas según lo anotado.

Procurando ser más incisivo en las inferencias que pueden derivarse sobre esta importante variable abiótica, sobre todo conociendo su participación incuestionable en el proceso de maduración y concentración natural de sacarosa en los tallos de la planta de caña de azúcar, se plantea en la figura 4, una valoración comparativa para la Región Sur, considerando que es la zona que incuestionablemente lidera en el país este indicador agroindustrial. Es notoria la variabilidad prevaleciente entre localidades cañeras del lugar, correspondiente a las cuatro estaciones de medición según distrito y altitud donde están ubicadas: La Ceniza (San Isidro 686 m.s.n.m.), El Porvenir (San Pedro 567 m.s.n.m.), La Presa (General 585 m.s.n.m.) pertenecientes al cantón de Pérez Zeledón, provincia de San José y El Ceibo (Buenos Aires 364 m.s.n.m.), perteneciente al cantón de Buenos Aires, provincia de Puntarenas.

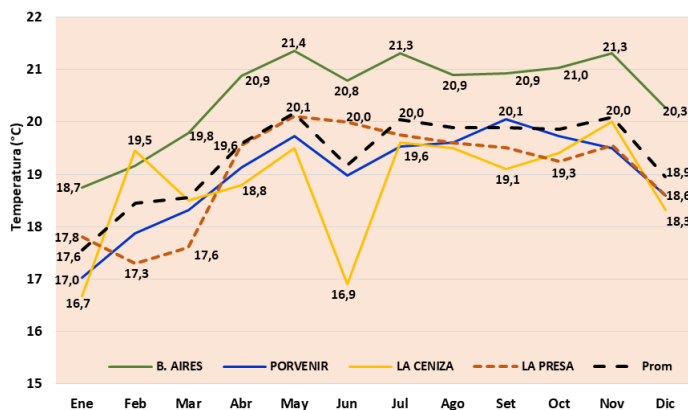


Figura 5. Temperaturas mínimas en estaciones de la Zona Sur. Periodo 2016-2019.

Es definitivo que las temperaturas más frías se presentan en La Ceniza con una media anual para el periodo de cuatro años de 18,8°C, aunque las mínimas más altas ocurrieron en El Ceibo (20,6°C). No hay duda en concluir que Buenos Aires se aparta de San Isidro de El General en materia térmica, tanto máxima como mínimas, al ser una zona más baja y caliente. Todas las temperaturas de las tres Estaciones ubicadas en el cantón de Pérez Zeledón mostraron promedios anuales y mensuales inferiores a 20°C, excepto en La Presa en el mes de mayo (20,1°C). Enero es el mes más frío con una media de 17,2°C, seguido por marzo (18,1°C) y febrero (18,2°C); por el contrario, mayo es el más caliente con 19,8°C. Al desagregar aún más la información del lugar, se nota que todas las temperaturas

mínimas en los cuatro años y tres estaciones fueron menores de 20,7°C, lo que es muy significativo y explica parcialmente el porqué de los excelentes rendimientos industriales del lugar.

Las diferencias en los promedios de los valores de las temperaturas mínimas extremas mensuales en el entorno productivo nacional, revelan según el cuadro 1, que las más bajas variaron entre 11,3 y 16,3°C presentes en los meses de febrero y junio, respectivamente, para una diferencia de 5°C correspondiente al 44,2%; confirmando la variación natural de las mismas por la presunta participación e interferencia directa e indirecta de otros elementos del clima como lluvia, viento, luz, humedad. La amplitud anual promedio entre temperaturas mínimas extremas (alta-baja) fue de 24,1-11,3°C para la más alta, como muestra el cuadro 1, de impresionantes 12,8°C para un muy significativo 113,3%, demostrando que las mismas varían ampliamente durante el año y se movilizan con diferenciales mensuales entre 12°C en febrero y 7,3°C en el mes de junio cuando tienden a ser más bajas, marcando con ello una diferencia muy significativa en magnitud de 4,7°C correspondiente al 64,4%. Destaca la clara tendencia reductora de las temperaturas (mayor-menor) que se presenta de mitad a final del año (agosto-diciembre), la cual resulta muy favorable para inducir la maduración natural de la caña y, con ello, incrementar la concentración y el acumulo de sacarosa en los tallos, como se ha comentado ampliamente con anterioridad, pues el efecto sobre la fisiología de la planta es directo (Chaves, 2019bcdefg, 2020).

Al incorporar al estudio comparativo indicadores de variabilidad estadística anual con el fin de contar con inferencias válidas, se encontró que la desviación estándar de la temperatura mínima marcó valores diferenciales extremos de $\pm 3,9^\circ\text{C}$ en el mes de febrero y de $\pm 2,7^\circ\text{C}$ en setiembre, para una media anual de $\pm 3,2^\circ\text{C}$ que es relevante virtud de sus consecuencias en términos agronómicos y agro productivos. La inestabilidad medida por medio del coeficiente de variación (CV %) destaca una importante dispersión de las temperaturas medias durante el año, con variaciones entre 22,1% y 14,1% en los meses de febrero-junio para un significativo promedio anual de 16,5% durante el periodo de cuatro años evaluado (cuadro 1); los cuales son calificados como altos. No hay duda en reconocer que las temperaturas mínimas presentan alta variación en Costa Rica en todos los sentidos. Resulta válida y rescatable la conclusión a que llegara Chaves (2020b) con relación a la temperatura máxima, pero esta vez ajustada, contextualizada y aplicada a la temperatura mínima, en el sentido de que quedan demostrados

cuatro elementos trascendentes y muy importantes por destacar en torno al tema aludido: 1) pese a ser la zona cañera costarricense pequeña en extensión (62.630 hectáreas) y estar ubicada en la región tropical, la temperatura mínima presenta variaciones importantes durante el año que obligan a tipificarla, contextualizarla y diferenciarla geográficamente para su mejor valoración y comprensión; 2) las variaciones observadas aplican y son significativas entre periodos de tiempo, meses y localidades productoras de caña, lo que limita y restringe las generalizaciones; 3) los valores promedio mensual extremos de la temperatura mínima no parecieran ser excesivamente bajas pero si de cuidado, no descendiendo en promedio de los 11°C y 4) valoraciones de periodos más cortos (días, semanas), revelan la presencia de “picos térmicos muy bajos” que pueden llegar en la zona de Grecia a ser menores de 10°C, lo que sí es negativo para los intereses comerciales de la agroindustria azucarera costarricense.

Estrés por frío

Considerando que la caña de azúcar es una planta que tiene más afinidad y aceptación por las altas temperaturas, el efecto e impacto que puedan tener los periodos de frío agudos y prolongados se pueden tornar contraproducentes para los intereses productivos y comerciales de la agroindustria, motivo y razón para procurar abordar el tema de las temperaturas mínimas con mayor especificidad. La acometida pese a ser en este caso relativamente superficial, permite tener una idea muy clara sobre cuáles son las tendencias regionales en torno al tema, lo que abre y deja espacio para profundizar más en el futuro.

Una valoración prudente, sensata y objetiva de los valores expuestos en el cuadro 1 y las figuras 1, 2, 3, 4 y 5, permiten concluir que la situación de frío provocada por las temperaturas mínimas prevalecientes en los campos de producción de caña de azúcar en Costa Rica, se ubican mayoritariamente dentro de los límites de aceptación fisiológica y tolerancia del cultivo; lo cual sin embargo, en localidades medio-altas (>900 m.s.n.m.) como Grecia y Juan Viñas podría eventualmente verse violentado virtud de que sus condiciones naturales pueden en determinados momentos y circunstancias, aproximarse a límites de posible impacto y afectación por frío, lo que podría afectar negativamente el desarrollo normal de la planta. Pese a que las temperaturas son bajas difícilmente pueden llegar a convertirse en “heladas”, donde la temperatura alcanza los 0°C. Se reportan casos puntuales y muy específicos en la zona de Grecia, donde las temperaturas mínimas llegan a valores inferiores a 10°C,

particularmente entre los meses de enero y marzo y por periodos muy cortos de tiempo, a veces de solo días. Esta condición obliga a tener presente la existencia de “picos de frío” puntuales y de muy corta duración que pueden sin embargo resultar muy estresantes para las plantas, virtud de las bajas temperaturas que alcanzan, inferiores como se anotó a los 10°C. Dicho peligro se cierne básicamente sobre la región de Grecia y en menor grado en el distrito de Juan Viñas, pues el resto de localidades cañeras no muestran tendencias preocupantes de mantener niveles térmicos bajos y consistentes en el tiempo. Este riesgo se da principalmente durante los meses de enero, febrero y marzo del año.

Una condición de estrés térmico por causa de bajas temperaturas en principio se incrementa, potencia y acrecienta cuando otras condiciones propias del clima y el entorno agro-productivo lo favorecen y robustecen al verse afectadas y rebasadas, como acontece particularmente con la lluvia, el viento, la humedad del aire, la restricción de luz y la alta nubosidad prevalecientes. En este aspecto la presencia de periodos secos o en contrario muy húmedos prolongados que generen condiciones de “estrés hídrico por sequía o inundación”, contar con vientos persistentes de alta velocidad (>30 km/hora) que favorezcan el desecamiento de la biomasa y el cierre estomático, la alta humedad relativa (>90%) del aire, asociada con periodos de baja luminosidad y alta nubosidad y temperaturas muy bajas que promuevan el rocío y la formación de hielo, provocan la creación de una inconveniente y poco deseable condición de estrés y afección del cultivo, cuyas consecuencias e impacto negativo son impredecibles y la mayoría de veces significativos. Como está demostrado, esta condición depende en alto grado de la duración, intensidad y magnitud integrada de los eventos y factores involucrados.

Las temperaturas bajas además de su acción quemante sobre los tejidos de la planta, sobre todo si hay humedad presente, limitan y reducen el metabolismo general, el crecimiento y la absorción de agua y nutrientes esenciales, con afectación del equilibrio de la planta. No hay duda en aceptar que la temperatura baja y fría por periodos prolongados puede ocasionar perjuicios directos e indirectos al productor de caña y también al industrial del azúcar, lo que justifica su consideración y estudio.



Figura 6. Plantaciones de caña de azúcar en zonas altas (>1.000 m.s.n.m.) de Costa Rica.

Conclusiones

A partir de los resultados e inferencias anteriores, puede concluirse lo siguiente:

- a) Ubicada en la zona tropical, en Costa Rica ocurren durante el año en todas las regiones, zonas y localidades cañeras, cambios importantes en magnitud en los elementos del clima que intervienen e impactan de manera variable y significativa el potencial productivo agroindustrial de las plantaciones comerciales de caña.
- b) Contando con un área sembrada con caña de apenas 62.630 hectáreas, la geografía nacional favorece la diversidad y variabilidad de sus entornos agro-productivos, lo que limita e impide las generalizaciones aún dentro de una misma región. El cambio, la variabilidad y las diferencias son la norma.
- c) Las zonas productoras de caña superiores a 900 m.s.n.m. representan aproximadamente un 6% (≈ 3.750 hectáreas) del total nacional, lo que no deja de ser despreciable.
- d) La temperatura representa un factor primario y determinante para definir la aptitud de una zona o localidad para cultivar exitosamente caña de azúcar.
- e) Como elemento principal del clima, la temperatura representa un factor muy versátil y mutable en su participación e incidencia sobre la planta de caña, pues durante las fases iniciales del ciclo vegetativo lo deseable es que sean altas y al final de este por el contrario bajas, con lo cual se favorecen los procesos de división celular, crecimiento, producción de biomasa (tonelaje) y concentración de sacarosa (kg/t caña), respectivamente, como ha sido ampliamente documentado.
- f) La temperatura mínima es importante de conocer y estudiar en lo concerniente a sus efectos, en consideración de que puede vincularse y correlacionarse con consecuencias poco deseables asociadas al “estrés y golpe térmico por frío”, de resultados inesperados y contraproducentes para los intereses productivos y económicos del agricultor. Su consecuencia comercial es similar a la provocada por las altas temperaturas.
- g) Existe una correspondencia directa e inversa entre la temperatura con relación a la altitud (m.s.n.m.) en que se encuentre ubicada la plantación, la cual puede ser potenciada por otros elementos del clima.
- h) Como se ha comprobado, cualquier valoración e inferencia vinculada con la temperatura, debe prudentemente para tener mayor certeza, representatividad y validez, realizarse sobre sus indicadores básicos desagregados en: *temperatura máxima, media y mínima*, lo que permite generar conclusiones más certeras y realistas.
- i) El periodo de cuatro años evaluado (2016-2019) en las 13 estaciones meteorológicas nacionales referidas, parece apropiado para generar inferencias y conclusiones consistentes y representativas.
- j) La temperatura mínima se ubica en el área cañera nacional en un ámbito de promedios anuales extremos de 17,7 y 20,2°C, para un diferencial entre ambos de 2,5°C, correspondiente a un significativo 14,1%. La condición “*más caliente*” de las mínimas se da en la zona baja (<400 m.s.n.m.) de Guanacaste, el Pacífico Central y la zona de Los Chiles; la menor contrariamente en la zona más alta (>900 m.s.n.m.) de Grecia y Juan Viñas.
- k) Las temperaturas mínimas promedio anual más frías para el periodo 2016-2019 se observan en Grecia con 14,1°C, seguidas por Juan Viñas (15,8°C), Turrialba (17,6°C), Pérez Zeledón (19°C), Buenos Aires (20,6°C), San Carlos (20,8°C), Los Chiles (22,3°C) y Guanacaste (23,1°C), situándose la mitad de ellas por debajo de los 21°C.

l) Todas las regiones cañeras del país mostraron temperaturas mínimas promedio anual inferiores a 23,1°C; siendo el 50% menores de 20°C. El promedio de la temperatura mínima nacional fue de 19,1°C durante los cuatro años (2016-2019) evaluados, lo que resulta muy sugestivo.

m) En los meses de mayo y junio es cuando las temperaturas mínimas del área cañera nacional presentan mayoritariamente sus índices promedio más altos, con valores de 20,2 y 19,9°C, respectivamente; pese a lo cual en Guanacaste alcanzan valores de 24°C y 23,9°C en abril y mayo.

n) Los meses críticos donde las temperaturas promedio son más bajas en el país ocurren entre enero, febrero y marzo alcanzando los 11,3°C en Grecia; ubicando sin embargo periodos muy puntuales entre febrero y abril, donde se presentan “picos de frío” en fases muy cortas de tiempo, que pueden llegar a ser inferiores a 10°C. Es por ello recomendable, reducir en las zonas más propensas a sufrir golpes fríos como Grecia, Juan Viñas y localidades altas (>1.000 m.s.n.m.), el ámbito de medición e interpretación a tiempos de lectura más cortos, semanales y preferiblemente diarios, que permitan y favorezcan una mejor inferencia y ubicación de los impactos potenciales en el corto plazo. Interpretaciones basadas en promedios mensuales resultan insuficientes para juzgar posibles impactos por frío.

o) Pese a que las temperaturas mínimas bajan a grados preocupantes de hasta 10°C y menos, lo que es incuestionablemente frío para una zona tropical; es un hecho comprobado que no hay en Costa Rica ocurrencia de heladas en ninguna zona cañera, ni condiciones favorables para que puedan surgir, lo que de ocurrir sería una excepción fortuita y extrema a un área muy restringida (>1.000 m.s.n.m.). Esta realidad no exime en absoluto la posibilidad de impactos por frío expresados en bajo brotamiento en plantaciones nuevas, quema de follaje, reducción de crecimiento (menos tonelaje) y deterioro de la maduración natural (menos sacarosa).

p) Con base en la información recabada e inferencias generadas, se concluye que los ámbitos promedio de frío alcanzados por las temperaturas mínimas nacionales, no presentan a excepción de la zona de Grecia, grados extremos consistentes y preocupantes, que puedan crear y generar condiciones de estrés térmico por frío en un periodo determinado de tiempo;

lo cual debe sin embargo juzgarse e interpretarse con mejor criterio, incorporando en el análisis otros elementos e indicadores climáticos válidos y representativos que aporten una mejor contextualización.

q) La tolerancia a frío es una condición vegetativa que puede y debe ser resuelta por la vía genética, buscando variedades con mayor grado de tolerancia. A este factor se le debe prestar mayor atención en Costa Rica en el trabajo de mejora y selección genética en el caso de las zonas altas (>900 m.s.n.m.).

Literatura citada

- Alexander, AG. 1973. *Sugarcane Physiology*. Amsterdam: Elsevier. Scientific Publishing Company 752 p.
- Bonzi Campos, J. 2016. *Efectos de las heladas en caña de azúcar*. ABC Rural. Consultado 17 marzo 2020. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/efectos-de-las-heladas-en-cana-de-azucar---ing-agr-jorge-bonzi-campos--1494352.html>.
- Castillo Torres, R.O.; Silva Cifuentes, E. 2004. *Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en Ecuador*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE). Publicación Técnica N° 3, octubre. 28 p.
- Castro, RCP. 2016. *STAB - Fisiología Aplicada a Cana-de-Açúcar*. Piracicaba, São Paulo. STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Regional Sul. 208 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017. *Floración en la Caña de Azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, abril. 68 p.
- Chaves Solera, MA. 2019a. *Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, MA. 2019b. *Clima, maduración y concentración de sacarosa en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(15): 5-8, octubre-noviembre.
- Chaves Solera, MA. 2019c. *Temperatura, desarrollo y concentración de sacarosa en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(16): 5-9, octubre-noviembre.
- Chaves Solera, MA. 2019d. *Incidencia de las bajas temperaturas en la concentración de sacarosa en la caña de azúcar: el caso*

de Costa Rica. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(17): 6-10, noviembre-diciembre.

Chaves Solera, M.A. 2019e. *Ambiente agro climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.

Chaves Solera, M.A. 2019f. *Clima, cosecha de caña y fabricación de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(19): 5-10, noviembre-diciembre.

Chaves Solera, MA. 2019g. *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. 2019h. *Clima y floración en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(9): 5-7, julio.

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.

Cuenya M. I.; S. Ostengo; S. Zossi; M. Ruiz; M. B. García; M. Sastre; N. Sorol y M. A. Ahmed. 2014. *Tolerancia al frío de nuevas variedades de caña de azúcar*. Avance Agroindustrial 35 (1): 17-20.

Legendre, B.L.; Tsang, W.S.C.; Clarke, M.A. 1985. *Changes in juice composition of sugarcane as affected by post-freeze deterioration in Louisiana*. In: Proceedings of the 1984 Sugar Proc. Res. Conf. New Orleans, LA, p: 92-107.

Matsuoka, S. 2015. *Ecofisiología da brotação e desenvolvimento da cana-de-açúcar*. Em: 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. p: 190-221.

Romero, E.; Digonzelli, P.; Scandaliaris, J. 2013. *Efectos de las heladas en la producción de azúcar*. Tucumán, Argentina. Consultado 17 marzo 2020. Disponible en: <http://www.EEAO.org.ar>

Romero, E.R.; Digonzelli, P.A.; Tonatto, M.J.; Scandaliaris, J.; Fernandez de Ulivarri, J.; Giardina, J.A.; Alonso, L.G.P.; Leggio Neme, M.F.; Casen, S.D. Heladas. 2009. *Capítulo 16. Heladas. Efecto sobre los cañaverales y alternativas de manejo*. En: Manual del Cañero. Editores E. R. Romero, P.A. Digonzelli, J. Scandaliaris. 1era Ed. Las Talitas, Tucumán, Argentina: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). p: 161-168.

SUGARCANE: *Physiology, Biochemistry, and Functional Biology*. 2014. edited by Paul H. Moore, Frederick C. Botha. New York: Ed John Wiley & Sons, Inc. Iowa USA. 693 p.

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

Producción y edición:

Meteoróloga Karina Hernández Espinoza
 Ingeniera Agrónoma Katia Carvajal Tobar
 Geógrafa Nury Sanabria Valverde
 Geógrafa Marilyn Calvo Méndez

Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas

Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL