

Periodo 13 de abril al 26 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 30 DE MARZO AL 05 DE ABRIL

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 70 mm fue Coto 47 en Ciudad Neily, mientras Laurel en el Pacífico Sur sobrepasó los 100 mm.

A nivel nacional, los registros de lluvia de las 92 estaciones meteorológicas consultadas muestran que el viernes se acumuló el 10% de lo que llovió el miércoles, día más lluvioso de la semana.

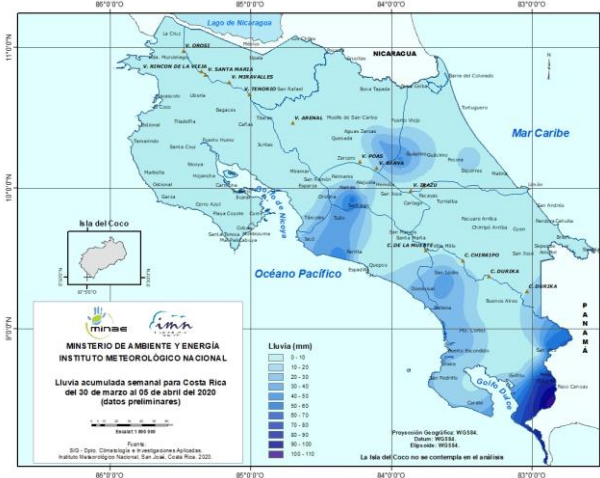


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 30 de marzo al 05 de abril del 2020 (generado utilizando datos preliminares).

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA SEMANA DEL 06 DE ABRIL AL 12 DE ABRIL

La semana fue en su mayoría seca con presencia de lluvias escasas en todo el país, la zona más lluviosa fue el Caribe.

En la figura 2 se puede observar el acumulado semanal de lluvias sobre el territorio nacional. Las estaciones que sobrepasaron los 80 mm fueron Rain Forest en Limón e Hidroeléctrica de Horquetas en Heredia, mientras Sixaola sobrepasó los 100 mm.

A nivel nacional, los registros de lluvia de las 92 estaciones meteorológicas consultadas muestran el domingo como el día más lluvioso de la semana, mientras el miércoles no registró lluvia.

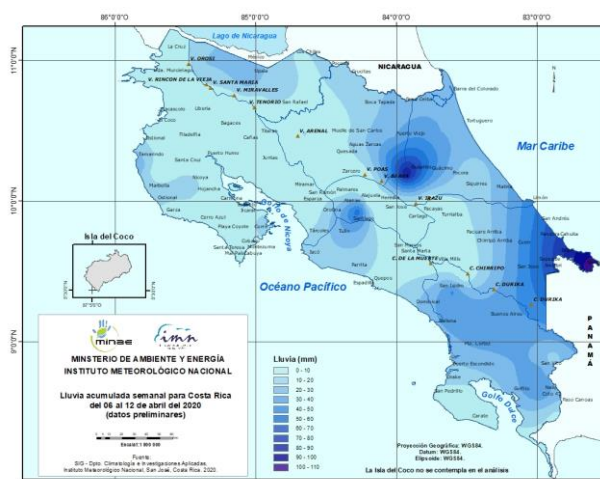


Figura 2. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 06 al 12 de abril del 2020 (generado utilizando datos preliminares).

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CLIMÁTICAS PERIODO DEL 13 AL 19 ABRIL 2020

La semana inicia con vientos alisios débiles que favorecen el incremento de las lluvias en la vertiente Pacífico mientras que disminuye en la vertiente Caribe y Zona Norte. A partir de mitad de la semana se espera un pequeño incremento del viento que propiciará la reducción de lluvias en el Valle Central y la vertiente Pacífico, mientras que la vertiente Caribe y la Zona Norte mantendrán condiciones de lluvias escasas.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS PERIODO DEL 13 DE ABRIL AL 19 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 prevé un incremento de las lluvias a partir de mitad de la semana que se percibirá con mayor intensidad en las zonas cañeras Valle Central Este, Valle Central Oeste, Región Sur y Turrialba. Se presentará una reducción del viento a inicios de semana, seguido de un leve incremento de este durante el resto de la semana. Todas las regiones mantendrán amplitudes térmicas homogéneas, con valores máximos a mediados de la semana, asociado al incremento de la temperatura máxima y temperatura mínima.

“Leve incremento de las lluvias en la vertiente Pacífico.”

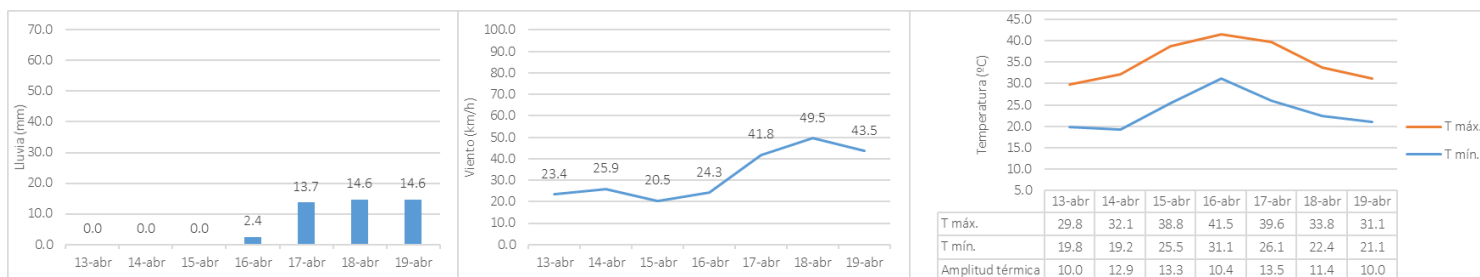


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de abril al 19 de abril en la región cañera Guanacaste Este.

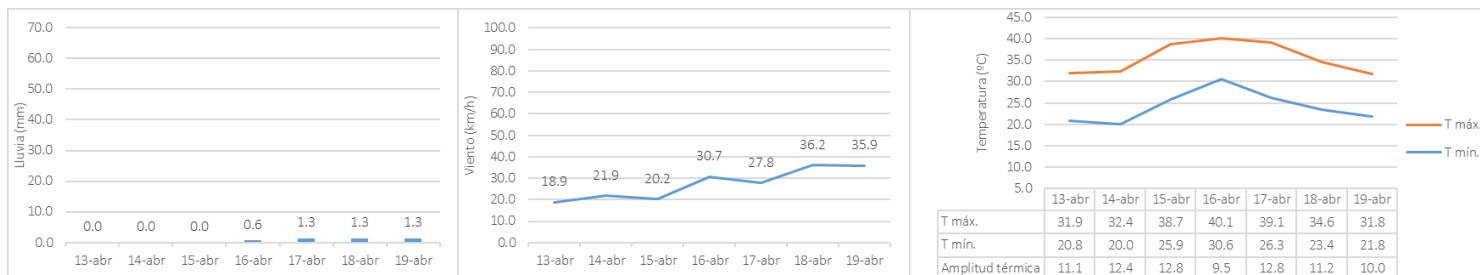


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de abril al 19 de abril en la región cañera Guanacaste Oeste.

BOLETÍN AGROCLIMÁTICO CAÑA DE AZÚCAR



Abril 2020 - Volumen 2 – Número 8

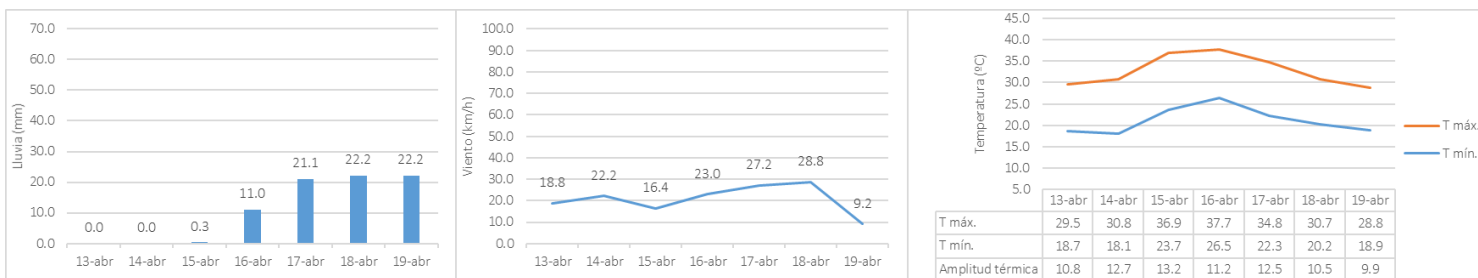


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de abril al 19 de abril en la región cañera Puntarenas.

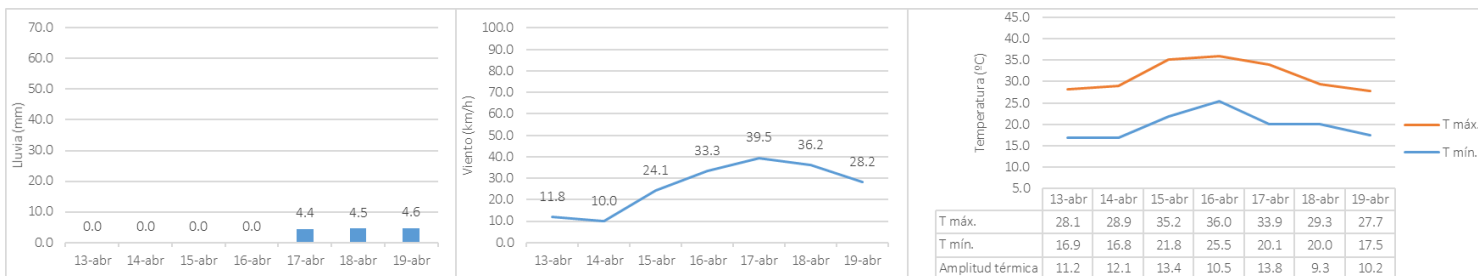


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de abril al 19 de abril en la región cañera Zona Norte.

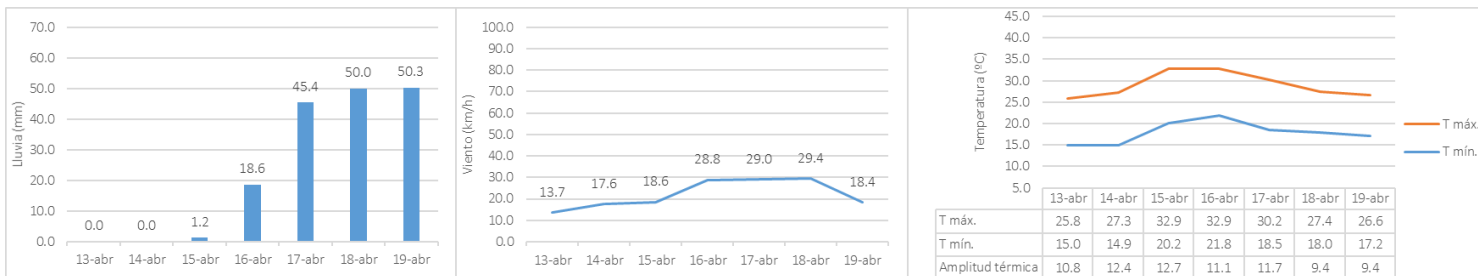


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de abril al 19 de abril en la región cañera Valle Central Este.

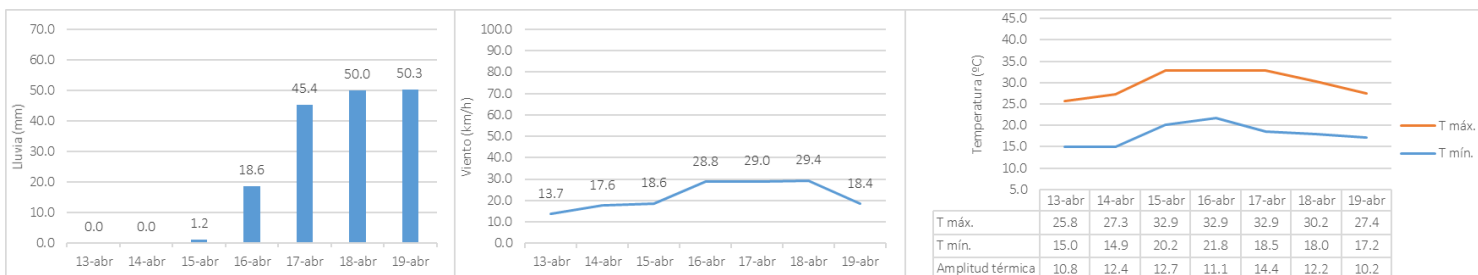


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de abril al 19 de abril en la región cañera Valle Central Oeste.

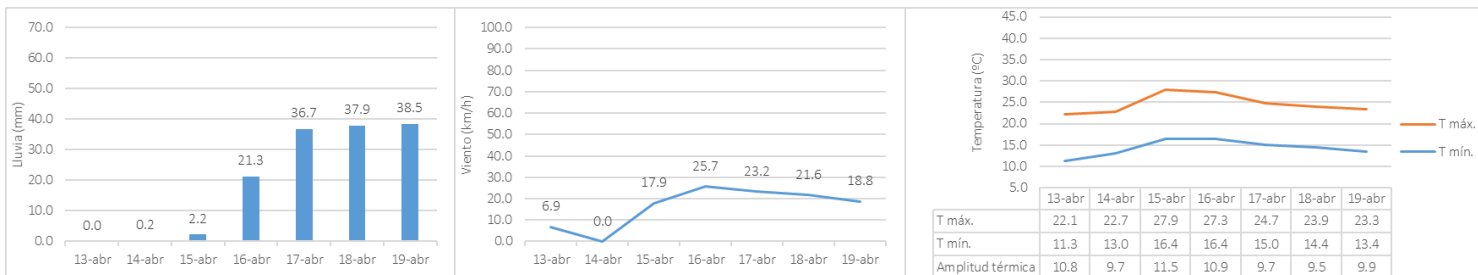


Figura 9. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de abril al 19 de abril en la región cañera Turrialba.

Abril 2020 - Volumen 2 – Número 8

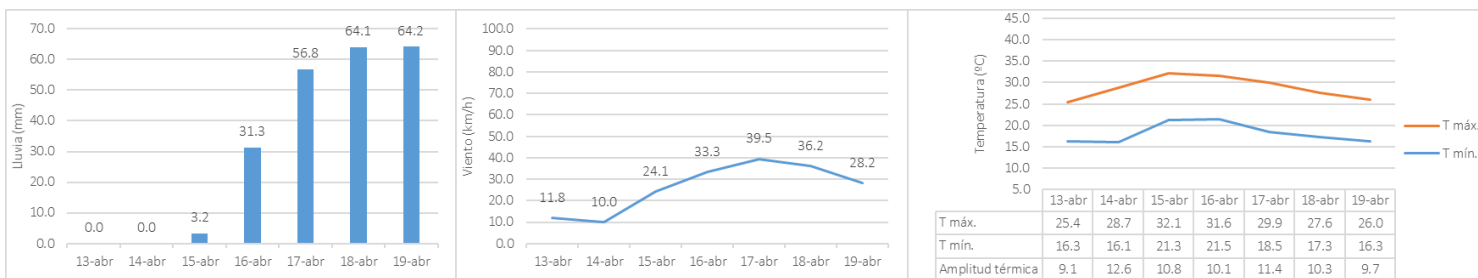


Figura 10. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 13 de abril al 19 de abril en la región cañera Zona Sur.

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 20 DE ABRIL AL 26 DE ABRIL 2020

Debido a la disminución del viento Alisio y cercanía de la zona de convergencia intertropical (ITCZ) se prevé un aumento de las lluvias en el Pacífico Central y el Pacífico Sur, en tanto que el Pacífico Norte continuará con condiciones mayormente secas, mientras el Valle Central tendrá lluvias intermitentes, así como la Zona Norte y vertiente Caribe presentarán una reducción de la lluvia.

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 13 de abril del 2020.

La Región Guanacaste Oeste presentan entre 0% y 75% de saturación, pero la mayoría de área está entre 0% y 30%. La Región Guanacaste Este tiene entre 0% y 60%, aunque gran parte del territorio se encuentra entre 0%-30% de humedad.

Los porcentajes de la Región Puntarenas están entre 0% y 45%; los suelos de la Región Valle Central Oeste presentan entre 0% y 60% de saturación, mientras que los de la Región Valle Central Este tiene entre 0% y 45%. La Región Norte está entre 15% y 75%.

La humedad del suelo en la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) está entre 30% y 90%, mientras que la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) se encuentra entre 30% y 75%. La Región Sur presenta porcentajes de saturación variables, aunque la mayoría de sus áreas tiene entre 45% y 90%

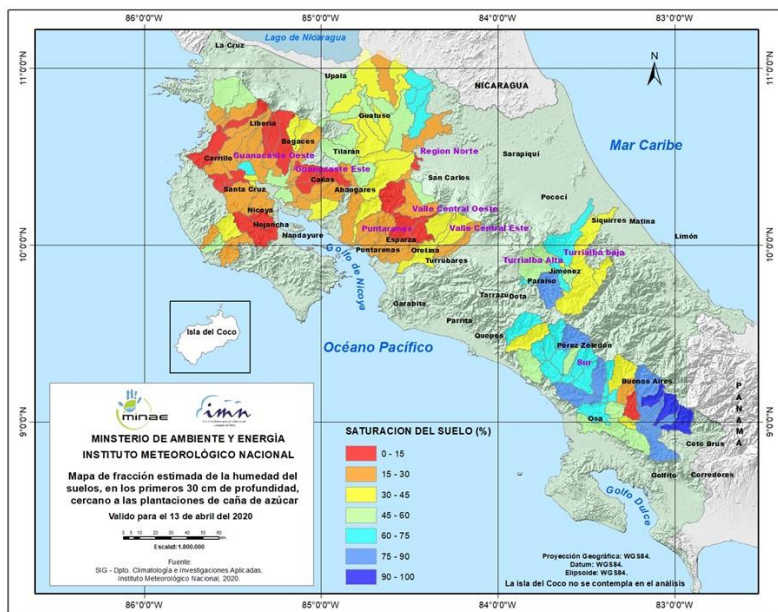


Figura 11. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), a 30m de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 13 de abril del 2020.

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

NOTA TÉCNICA

Estrés hídrico 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

Una de las formas más comunes y tradicionales que los agricultores perciben y vinculan como graves para generar problemas por condiciones de “estrés”, se atribuyen y asocian por lo general a la falta e insuficiencia de agua en periodos determinantes del ciclo vegetativo del cultivo. En una zona de condiciones tropicales como las prevalecientes en Costa Rica, la disponibilidad de agua se torna incuestionablemente determinante para el éxito productivo y comercial de cualquier emprendimiento empresarial, lo cual no está en discusión. Esto, sin embargo, resulta contraproducente en la realidad del campo, pues otros elementos bióticos y abióticos se tornan también agrestes en igual o mayor dimensión para inducir ese estado, como acontece con las altas temperaturas, el fuerte viento, la alta evapotranspiración, ciertas condiciones edáficas de carácter físico asociadas principalmente con la textura y, lo que hasta paradójico resulta, el exceso de humedad provocado por las fuertes lluvias.

Es claro entonces que la condición hídrica en que se encuentre una plantación de caña de azúcar domina las percepciones de daño e impacto por estrés, motivo por el cual resulta de mucho interés y actualidad valorar y conocer dónde y en que magnitud podrían estarse presentando condiciones que propicien un estado fisiológico de esa naturaleza. Se procura en el presente artículo, revisar de manera genérica y en la medida de las posibilidades, la situación climática prevaleciente en nuestras principales regiones productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar.

Caña de azúcar y agua

Sobre la importancia del agua en el metabolismo y la fisiología de la caña de azúcar es mucho lo que podría acotarse y comentarse en varios elementos, virtud de su amplia y trascendente participación; sin embargo, para los efectos procurados en el presente estudio basta con tener claro y reconocer su determinante contribución e impacto positivo y también negativo, sobre la productividad agrícola e industrial medida en toneladas de caña y azúcar (t) y kilogramos de sacarosa por

tonelada de caña (kg/t); como también sobre la calidad de la materia prima cosechada, procesada y el azúcar fabricado (Alexander, 1973; SUGARCANE, 2014; Castro, 2016; Chaves, 2019h, 2020ab).

Como señalara Chaves (2019d) en torno al tema, de acuerdo con el criterio de FAO y CENICAÑA se estima que la demanda de agua por la caña de azúcar esta entre 15.000 y 20.000 m³/hectárea/año, requerimiento bastante alto y significativo cuando se le compara con el de otros cultivos. Aseguran Figueroa et al (2009), que “...la caña de azúcar es una de las especies cultivadas de mayor eficiencia en el uso del agua, construyendo 2,0-2,7 gr de materia seca y de 0,6-1,0 gr de azúcar por kg de agua consumida.” Agrega y amplía Chaves (2019d) en referencia al tópico, que “los proveedores del agua son la lluvia o los sistemas de riego implementados para suministrarla, siendo el suelo el depositario y almacenador del líquido, a partir de donde la planta la absorbe, relación que debe tenerse muy en cuenta, en consideración de que esa dependencia no es igual y ni siquiera similar en el país para todas las condiciones y ambientes donde se cultiva comercialmente caña de azúcar.

El suministro de agua debe ser congruente y suficiente con las necesidades metabólicas y satisfacer los requerimientos básicos específicos del cultivo según el estado fenológico en que se encuentre la planta, por cuanto hay variaciones significativas en su demanda en las fases de establecimiento y crecimiento, donde intervienen actividades como germinación, ahijamiento, encepamiento, retoñamiento, crecimiento y concentración de sacarosa, todo conceptualizado como desarrollo del cultivo (Chaves 2019c)."

Es definitivo que las áreas sembradas comercialmente con caña de azúcar en Costa Rica son disimiles y muy heterogéneas en términos agro-productivos, en consideración de su amplia distribución territorial en la geografía nacional, lo que introduce variaciones en bióticas y abióticas expresadas en el relieve, la topografía, las características fisicoquímicas, microbiológicas y la taxonomía de los suelos, con la consecuencia derivada para el desarrollo de las plantas (Chaves, 2017a, 2019h).

Suelo y agua

El vínculo directo que establece el suelo con relación a las capacidades de percolación, retención, lixiviación y evacuación de las aguas superficiales, sean procedentes de lluvia o riego, es directa, lo cual determina el grado de acceso y disponibilidad que pueda tener una planta al líquido. Está demostrada la influencia que tiene la humedad sobre muchas propiedades físicas del suelo como es el caso de la densidad aparente, el espacio aéreo, la compactabilidad, la resistencia al corte y a la penetración, la consistencia, la succión, el intercambio gaseoso; interviniendo y afectando la respiración del sistema radicular, la actividad de los microorganismos, la condición química del suelo (potencial Redox), entre muchos otros.

La taxonomía de los suelos contiene, describe y proyecta buena parte del potencial agro productivo que pueda tener y desarrollar una plantación en este caso de caña de azúcar, en relación con las condiciones físicas, químicas y microbiológicas que tendrá

como soporte y substrato para desarrollarse, nutrirse, respirar, satisfacer el suministro de agua y demás necesidades biológicas que su fenología le demandan. El nivel freático es también una propiedad influyente sobre la evapotranspiración, que es intervenida por el tipo de suelo presente. Por esta razón, las condiciones y las características edáficas son incuestionablemente determinantes en lo que se ha denominado **Relación Agua-Suelo**, la cual debe ser equilibrada y funcional para satisfacer las demandas variables de la plantación durante su ciclo de desarrollo vegetativo (Chaves, 2019d).

El cuadro 1 expone de manera detallada por indicador y desagregado por región y zona productora, las características más relevantes vinculadas con los factores suelo, relieve y agua, lo que favorece una interpretación correcta y apegada a criterios técnicos de las condiciones prevalecientes donde se ubican las plantaciones comerciales de caña en Costa Rica (Chaves, 2019h). Las condiciones en todos los sentidos como se ha reiterado son muy diferentes y heterogéneas, lo que se traduce y proyecta a los potenciales de producción agroindustrial.

Cuadro 1. Caracterización edáfica y territorial de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica. Zafra 2018-2019.

Indicador	Regiones y Zonas Productoras									Nacional
	Guanacaste		Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte		Turrialba		Zona Sur	
	Este	Oeste			San Carlos	Los Chiles	Zona Media	Juan Vías		
Ordenes Taxonómicas de Suelos Dominantes	Inceptisol (35,0%) Vertisol (31,2%) Mollisol (23,4%) Entisol (8,8%) Ultisol (1,3%) Alfisol (0,3%)		Inceptisol (79,1%) Entisol (15,8%) Ultisol (5,1%)	Andisol (38,8%) Ultisol (29,1%) Inceptisol (24,2%) Entisol (4,4%) Vertisol (3,5%)	Ultisol (47,3%) Inceptisol (44,6%) Entisol (5,5%) Andisol (2,3%) Histisol (0,3%)	Andisol (53,7%) Inceptisol (31,1%) Ultisol (15,2%)		Ultisol (95,3%) Entisol (2,8%) Inceptisol (1,9%)	Inceptisol (36,9%) Vertisol (17,6%) Ultisol (17,6%) Mollisol (13,1%) Entisol (7,6%) Andisol (6,9%)	
Porcentaje	100%		100%	100%	100%		100%	100%	99,70%	
Subordenes Taxonómicos de Suelos Dominantes	Ustepts (34,6%) Usterts (31,2%) Ustolls (23,4%) Orthents (7,9%) Ustults (1,3%)		Ustepts (79,1%) Orthents (12,1%) Ustults (4,2%) Aquepts (3,7%) Humults (0,9%)	Ustands (34,6%) Ustepts (23,7%) Humults (19,4%) Ustults (9,2%) Orthents (4,4%)	Udults (44,7%) Udepts (34,2%) Aquepts (10,3%) Orthents (5,1%) Humults (2,6%)	Udands (53,7%) Udepts (31,1%) Humults (15,2%)		Humults (95,3%) Fluvents (2,8%) Ustepts (1,9%)	Ustepts (27,8%) Usterts (17,6%) Ustolls (13,1%) Humults (9,4%) Udults (6,6%)	
Porcentaje	98,40%		100%	91,30%	96,90%		100%	100%	74,50%	
Relieve	Plano/Casi Plano	Plano/Casi Plano	Plano/Casi Plano	Ondulación Moderada	Ligeramente Ondulado	Ligeramente Ondulado	Ondulación Ligera a Moderada	Ondulación Moderada a Fuerte	Moderadamente ondulado	Plano a Fuerte Ondulación
Grado de Pendiente (%)	0,3 - 3%	1 - 5%	1 - 6%	3 - 25%	2 - 15%	3 - 5%	3 - 30%	5 - 35%	5 - 20%	0,3 - 35%
Drenaje	Moderadamente Lento	Moderadamente Lento	Moderadamente Lento	Bueno	Bueno	Moderadamente Excesivo	Bueno	Moderadamente Excesivo	Moderadamente Excesivo	Moderadamente Lento a Excesivo
Riesgo de Inundación	Moderado	Moderado	Severo	Nulo	Moderado	Leve	Leve	Nulo	Nulo	Severo - Nulo
Riesgo de Sequía	Alto	Alto	Alto	Medio - Bajo	Medio - Alto	Medio - Alto	Bajo	Bajo	Medio - Bajo	Alto - Bajo
Área Regada (ha)	11.804	15.005	1.000	1.609,5	0	0	0	0	24	29.442,5
Uso de Riego (% del área)	95,23	74,02	17,7	38,8	0	0	0	0	0,53	46,62

Fuente: Chaves (2019h).

Una interpretación expedita de esa información revela la presencia de suelos con características físicas muy diferentes entre localidades, presentando los del orden Vertisol (sonzocuitles) presentes en Guanacaste, arcillas (montmorillonita) expandibles, son uniformes y muy oscuros, con serias limitaciones para la infiltración (movimiento vertical) y drenaje de agua llegando casi a la impermeabilidad lo que favorece la inundación en el invierno y el secamiento extremo en el verano, formando bloques masivos que se fracturan en agrietamientos. Estos suelos presentan muy difícil mecanización y facilidad para compactarse, lo cual es dependiente de la consistencia y el grado de humedad presente. Su fertilidad natural es muy buena. Los riesgos de inundación y sequía van de moderado a altos, respectivamente, lo que obliga al uso de riego y la adopción de medidas preventivas para atender esas condiciones excesivas. En el otro extremo están los suelos viejos, rojos, del orden Ultisol/Alfisol presentes en grado importante en la Zona Sur, la Zona Norte, el Valle Central y Turrialba, con predominancia de la arcilla caolinita y los óxidos de hierro y aluminio, su estructura (pseudo arena) les confiere excelente drenaje natural. Su fertilidad natural es muy pobre y limitante para el desarrollo de las raíces. El orden Andisol o suelos de origen volcánico con dominio de la arcilla alofana (coloide organomineral), poseen propiedades físicas muy buenas, son profundos, bien estructurados de buen drenaje y alta retención de humedad, fertilidad moderada y alta fijación de fósforo. Están presentes en el Valle Central y Turrialba-Jiménez. El orden Inceptisol es también muy importante y de amplia distribución en el área cañera nacional, son inmaduros pedogenéticamente, poco problemáticos, se asocian con otros ordenes, de fertilidad moderada, sin problemas de infiltración de agua. El orden Entisol se caracteriza por ser poco desarrollado no siendo posible diferenciar una secuencia de horizontes en el perfil, por lo que carecen de identidad pedogenética, inmaduros, poco profundos, inundables y muy susceptibles a sufrir erosión hídrica y/o eólica. Los del orden Mollisol poseen excelentes características físicas y químicas, no presentan lixiviación excesiva, oscuros, con buena descomposición de materia orgánica, bien estructurados, muy productivos debido a su alta fertilidad (Chaves, 2017a, 2019h).

Sequías e inundaciones en caña de azúcar

No cabe duda de que el agua genera impacto sobre las plantas sea por su limitación o en contrario por su exceso, lo cual en el caso nacional es muy conocido pues de manera recurrente ocurren eventos climáticos que los favorecen y provocan, generando serios impactos y condiciones de estrés variable en

tiempo e intensidad. Expresa Chaves (2019d) al respecto, que *“Una condición de **estrés hídrico** se refiere al grado de tensión sufrido internamente por la planta, ocasionado por la falta de agua; en tanto que el estrés causado por el exceso de agua en el medio, se denomina **estrés por aireación** y designa como cavitación, que ocurre por la ruptura progresiva de las columnas de agua del xilema y la formación de burbujas de aire dentro de los conductos vasculares (embolismo), lo que provoca que el transporte de savia hacia la parte alta de la planta se interrumpa.”*

La humedad contenida en el suelo es muy dinámica y volátil que varía mucho en periodos muy cortos de tiempo, sobre todo en una condición tropical como la costarricense, al ser influenciada directa y significativamente por los elementos del clima (precipitación, temperatura, radiación solar, viento, etc.), por la absorción de las plantas, la evapotranspiración y por las características y propiedades naturales de los suelos. El régimen de humedad prevaleciente en una región resulta muy importante de tomar en cuenta, casi determinante en este particular pues favorece o desfavorece posibles impactos por déficit hídrico o inundación; es así como el Pacífico Seco (Guanacaste y el Pacífico Central) se asocia a condiciones Ústicas; en tanto que el Valle Central y la Zona Norte a las Údicas y la Zona Sur a un intermedio Ústico/Údico.

En torno a los principales regímenes de humedad prevalecientes en Costa Rica, señala Chaves (2017a) a manera de descripción, que: *“a) **Ácuico (L. aqua = agua)**: es un régimen de reducción en un suelo que está virtualmente libre de oxígeno disuelto porque está saturado con agua. Saturado por tiempo suficiente para provocar anaerobiosis. Algunos suelos están saturados con agua, pero hay oxígeno disuelto debido a que el agua está en movimiento o porque el medio no es favorable para los microorganismos. No se conoce qué duración de la saturación es la necesaria para tener este régimen de humedad, pero ésta deberá ser al menos de unos pocos días, porque está implícito en el concepto que el oxígeno está virtualmente ausente; b) **Údico (L. udus = húmedo)**: La sección de control de humedad no está seca en alguna parte por un período tan largo como 90 días acumulativos en años normales. No requieren riego. Es común en suelos de climas húmedos que tienen una precipitación bien distribuida; tienen suficiente lluvia en verano, para que la cantidad de agua almacenada más la lluvia sea aproximadamente igual o exceda a la evapotranspiración o tenga suficiente agua en invierno para recargar a los suelos y enfriarlos, y veranos nublados, como en las áreas costeras. El agua se mueve*

*hacia abajo a través del suelo en algún tiempo en los años normales. Caracteriza los suelos de climas húmedos con una distribución regular de la lluvia a lo largo del año. Hay disponibilidad de agua durante todo el año y c) **Ústico (L. ustus = quemado, seco):** Es intermedio entre el régimen **Árido** y el **Údico**. Con lluvia durante la época de crecimiento de las plantas. Con humedad entre 50-75% del año o húmeda 90 días consecutivos y seca <45 días en verano. Régimen de humedad que está limitado, pero esa humedad está presente cuando existen condiciones favorables para el crecimiento de las plantas. En regiones tropicales y subtropicales con clima monzónico, con una o dos estaciones secas, el verano y el invierno son poco significativos. En esas regiones el régimen de humedad es **Ústico**, si tiene al menos una estación lluviosa de 3 meses o más. De características similares al **Xérico** pero el período de lluvias coincide con la estación cálida.”*

Las condiciones y características de los suelos, sobre todo las de orden físico expresadas por la densidad real y aparente, el grado de estructuración, la textura, la porosidad, la resistencia y consistencia mecánica, el espacio aéreo, la capacidad de infiltración, intervienen el potencial de retención del agua y definen la conductividad hidráulica que pueda tener un suelo y con ello la capacidad real de poder tolerar una condición intensa y extrema de falta o exceso de agua. A lo anterior se une el régimen de humedad prevaleciente en la región, pues la posibilidad de generar una condición de déficit hídrico o anoxia para las raíces se eleva y con ello disminuye significativamente el potencial de lograr niveles sostenidos de productividad agroindustrial rentables y competitivos.

La cantidad de eventos vinculados al clima que han impactado negativamente a la agroindustria azucarera nacional en los últimos años han sido muy numerosos y de muy diversa naturaleza y magnitud, como son los sucedidos en los pasados seis años correspondientes a: a) Impacto por Sequía (Decreto Ejecutivo N° 38642-MP-MOPT, octubre 2014), b) Impacto Lluvias (Decreto Ejecutivo N° 39056-MP, julio 2015), c) Impacto por Sequía (Decreto Ejecutivo N° 39530-MP-MAG, julio 2015), d) Huracán Otto (Decreto Ejecutivo N° 40027-MP, noviembre 2016), e) Tormenta Tropical Nate (Decreto Ejecutivo N° 40677-MP, octubre 2017), f) Impacto “El Niño” (Decreto Ejecutivo N° 41852-MP-MAG, agosto 2019), g) Impacto “El Niño” (Decreto Ejecutivo N° 41944-MP-MAG, setiembre 2019). Esta realidad demuestra que buena parte de las áreas sembradas con caña están ubicadas en localidades sensibles a padecer siniestros

climáticos, entre los cuales las sequías y las inundaciones cobran preferencia (Chaves, 2011, 2019i).

Como anotara Chaves (2019i) en torno al clima y sus reiterativas y constantes afectaciones *“Una apreciación objetiva de esta importante y determinante variable de índole abiótico, revela la presencia casi permanente, diríase casi como una constante cada vez más sólida, de fenómenos e impactos climáticos variables y de alta intensidad con efectos detrimentales significativos, traducidos en cuantiosas pérdidas en materia productiva agroindustrial, económica y también social. Lo más preocupante es como se anotó, la constancia de dichos eventos, los cuales se presentan en periodos de tiempo cada vez más cortos, manifestados como sequías, inundaciones, huracanes, tormentas, alta evapotranspiración, alta o baja nubosidad, etc. Puede asegurarse con base en lo prevaleciente y demostrado, que las plantas pasan por inducción diferente, por periodos de permanente “estrés” que distorsionan y confunden el desarrollo vegetativo normal del cultivo y, con ello, los planes y expectativas empresariales previstas alcanzar.”*

Clima nacional

Como ha sido reiterativamente señalado y ampliamente demostrado, los entornos agro productivos en que se ubican y desarrollan las plantaciones comerciales de caña de azúcar en el país, *“se caracterizan por presentar 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”* (Chaves 2019h). Se mantiene válido tener presente 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, las cuales son: 11° 01' 57" y 09° 01' 05" latitud norte y 83° 33' 07" y 85° 38' 56" longitud oeste.

Es también conveniente tener presente que Costa Rica delimita su clima a dos estaciones bien definidas que prevalecen durante todo el año: la estación seca conocida también como verano y la estación lluviosa nombrada invierno. Esta condición ecológica, fisiográfica, topográfica y de relieve variable y heterogéneo, provoca que las características bioclimáticas de las localidades sembradas con caña de azúcar sean inestables y muy cambiantes en tiempos y distancias muy cortas. Esta condición tan especial y particular del país, favorece la formación de *“microclimas”* que

son característicos y muy distintivos del paisaje costarricense y la agroindustria azucarera nacional. **El objetivo procurado por el 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 agua, que pudieran estar eventualmente afectando el desarrollo normal de las plantaciones comerciales de caña de azúcar y con ello sus rendimientos agroindustriales.**

Lluvia y entornos productivos nacionales

De la misma forma que sucedió con los estudios donde se valoró y juzgó la posibilidad de que pudieran estar aconteciendo condiciones inductoras de estrés por calor y por frío (Chaves, 2020cd), se busca en el caso presente, poder evaluar y diagnosticar con criterio técnico y alcance representativo, la situación existente en el campo cañero nacional con respecto a las lluvias prevalecientes en los diferentes entornos agro productivos donde se cultiva actualmente caña en forma comercial en el país. Con ese fin se presentan en el cuadro 1 y la figura 1 los datos acumulados de lluvia anual del periodo de siete años 2013-2019. Para los efectos propuestos la misma fue evaluada en 30 estaciones meteorológicas ubicadas estratégicamente en las seis zonas cañeras del territorio nacional, que miden esa importante variable del clima. En lo particular en la región de Guanacaste fue donde mayor información se dispuso, para lo cual se tomaron valores de 15 estaciones de medición ubicadas en el cantón de Cañas (8): Ingenio Taboga (18 m.s.n.m.), La Pacífica (46 m.s.n.m.), Santa Paula (25 m.s.n.m.), El Cortijo (27 m.s.n.m.), Liberianos (21 m.s.n.m.), Hortigal (30 m.s.n.m.), Puentes G-9 y Superior-K; Bagaces (1): La Soga (30 m.s.n.m.); Abangares (2): San Joaquín (30 m.s.n.m.), Langrand (40 m.s.n.m.); Liberia (2): CATSA (28 m.s.n.m.), Aeropuerto Internacional Daniel Oduber (89 m.s.n.m.) y Carrillo (1): Azucarera El Viejo (23 m.s.n.m.). En el Pacífico Central (2) se contó con datos de El Palmar (41 m.s.n.m.) y Chapernal (9 m.s.n.m.). En el Valle Central operaron la estación DIECA (1.014 m.s.n.m.) y COOPEVICTORIA (1.090 m.s.n.m.) situadas en Grecia; y la Estación Experimental Fabio Baudrit en Alajuela (840 m.s.n.m.). El cantón de San Carlos contó con la correspondiente a Quebrada Azul (180 m.s.n.m.), CoopeVega (46 m.s.n.m.), Scana (840 m.s.n.m.) y Los Chiles “El Tremedal” (45 m.s.n.m.) y Arco Iris (43 m.s.n.m.). Las mismas se complementaron en la Región Atlántica (2) con datos procedentes del distrito Juan Viñas (1.181 m.s.n.m.) y otra estación ubicada en Turrialba Centro (630 m.s.n.m.). En la Zona Sur (3), fueron las correspondientes a El Porvenir (567 m.s.n.m.),

La Presa (585 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 amplia información local fue posible verificar con buena aproximación y representatividad las diferencias y variaciones existentes en cuanto a distribución mensual y anual de la precipitación (mm) total y promedio. Por su trascendencia técnica, es necesario anotar que en el caso de algunas estaciones específicas (La Pacífica, Santa Paula, La Ceniza, El Palmar, Chapernal, Coopevictoria, Arco Iris, La Presa y Turrialba Centro), la información disponible para el periodo anual de siete años (2013-2019) y mensual de cuatro años (2016-2019) evaluada fue parcial e incompleta, pero considerada valiosa por su ubicación y representatividad para el objetivo del estudio.

Revisando el contenido del cuadro 1 y la figura 1 se demuestra, que **la mayoría de las regiones cañeras de Costa Rica reciben una cantidad de agua anual bastante satisfactoria que supera en promedio los 2.400 mm, a excepción como era esperable de la región baja (<400 m.s.n.m.) del Pacífico Seco (Guanacaste y Puntarenas) virtud de su régimen de humedad ústico.** En Guanacaste el promedio absoluto apenas se aproxima a los 1.500 mm anuales ubicándose en un límite peligroso de tener condiciones hídricas deficitarias inductoras de estrés fisiológico en algunos periodos del año, que obviamente impactan negativamente algunas de las fases de desarrollo del ciclo vegetativo del cultivo, sobre todo las iniciales (Chaves, 2019c). En esto no puede desconocerse que en ese periodo se han presentado afectaciones importantes por causa del fenómeno de “El Niño”, sobre todo en los años 2014 y 2015. La región guanacasteca recibió muy poca agua en el año 2015 con solo 1.136 mm, en el 2014 1.170 mm y más recientemente el 2019 con apenas 1.382 mm. Sin embargo, el aumento de lluvias provocado por el corto paso de la tormenta tropical Nate se marca muy bien en el año 2017 en el Pacífico Seco, con niveles superiores a los 2.000 mm. Son evidentes a su vez las altas precipitaciones acaecidas en la Zona Sur en el año 2015 (3.426 mm), el 2015 en Turrialba (3.359 mm) y la Zona Norte (3.181 mm) y el Valle Central en el 2013 (3.112 mm). El 2015 fue un año atípico que marco diferencias muy significativas entre regiones, alcanzando una amplitud de 2.222 mm entre la máxima y la mínima nacional para un CV del 40,8%. Asimismo, se notan y contrastan bien las diferencias entre Vertientes, pues cuando el Pacífico bajó la precipitación el Atlántico por el contrario la elevó, como resultado del fenómeno ENOS. En definitiva, puede asegurarse que **comparativamente hay poca consistencia y estabilidad entre las lluvias que año a año se dan en las diferentes**

localidades productoras de caña, lo que evidencia la presencia de factores interventores de diferente naturaleza participando y, con ello, la sentida y demostrada sensibilidad del país y el área cañera nacional a sufrir los embates del cambio climático.

Cuadro 2.
Lluvia caída (mm) durante el periodo 2013-2019 según Región Agrícola (6) productora de caña de azúcar en Costa Rica.

Región *	Altitud (m.s.n.m)	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio
Guanacaste	5- 150	1 613,4	1 170,4	1 136,2	1 569,5	2 099,7	1 469,5	1 382,3	1 491,6
Puntarenas	4- 350	1 484,0	1 455,0	1 446,3	1 896,2	2 096,0	1 847,9	920,2 *	1 704,2
Zona Norte	30- 680	2 378,6	3 084,3	3 180,8	2 769,5	2 712,3	2 832,0	2 754,9	2 816,1
Valle Central	174- 1360	3 112,1	2 542,5	2 116,8	2 447,2	3 023,9	1 870,1	1 825,7	2 419,8
Turrialba - JV	480- 1550	1 938,0	2 732,9	3 358,5	2 178,5	2 410,3	2 647,0	2 266,8	2 504,6
Zona Sur	180- 870	2 637,0	2 610,3	2 158,7	2 844,7	3 425,8	2 920,2	2 143,0	2 677,1
Promedio		2 193,8	2 265,9	2 232,9	2 284,3	2 628,0	2 264,5	1 882,2	2 250,2
Valor Máximo		3 112,1	3 084,3	3 358,5	2 844,7	3 425,8	2 920,2	2 754,9	2 816,1
Valor Mínimo		1 484,0	1 170,4	1 136,2	1 569,5	2 096,0	1 469,5	920,2	1 491,6
Amplitud		1 628,1	1 913,9	2 222,3	1 275,2	1 329,8	1 450,7	1 834,7	1 324,5
Desv. Estandar		629,3	766,9	895,1	499,8	531,0	609,8	656,7	541,7
CV (%)		28,7	35,0	40,8	22,8	24,2	27,8	29,9	24,1

* Correspondiente a datos de 30 Estaciones Meteorológicas ubicadas en todas las regiones.
Nota: Algunas Estaciones presentaron datos incompletos.

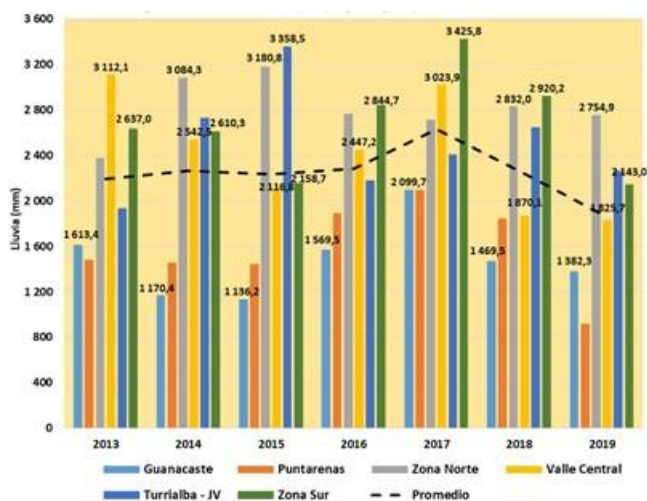


Figura 1. Cantidad de lluvia (mm) según región y año. Periodo 2013-2019.

Al desagregar y promediar la información del periodo 2016-2019 en sus valores mensuales para cada ciclo anual, con el objeto de ubicar insuficiencias o excesos de agua que revelen posibles tendencias generadoras de estrés, se encontró como muestran el cuadro 3 y la figura 2, que los valores promedio nacional más altos de lluvia ocurren en los meses de octubre (379,1 mm), setiembre (328,5 mm) y mayo (325,4 mm); por el contrario, son marzo, febrero y enero los que menos lluvia presentan con apenas 33,2 mm, 36,3 mm y 75,7 mm, respectivamente. La figura 2 muestra como el “*veranillo*” que se da en las regiones del Pacífico y el Valle Central a finales (día 21) del mes de junio por un corto espacio de tiempo (3 a 6 días), se ha distorsionado en

intensidad por razones climáticas. De igual manera, queda evidenciado que las épocas para realizar zafra y que por antecedente como apuntara Chaves (2020b), se sitúan en las últimas 9 zafras (2010-2018) entre el 25 de noviembre y el 14 de agosto para 243 días de operación agroindustrial continua, se tornan difíciles en consideración de la cantidad de humedad presente en el medio, lo que deteriora significativamente la calidad de la materia prima y las plantaciones de caña por la afectación y daño que provocan al suelo (Chaves, 2017ab, 2019abdfg, 2020a). La región del Pacífico Seco en lo particular presenta condiciones extremas de sequía total en los meses de febrero y marzo y muy reducida en enero, lo que obliga a disponer de la opción del riego complementario si se desea alcanzar y mantener niveles de producción agroindustrial rentables y competitivos. El Valle Central expone también condiciones muy similares que podrían eventualmente tornarse limitantes en productividad agrícola e industrial. El Cuadro 1 muestra que la adición de agua a las plantaciones en los periodos críticos de verano es una práctica bastante difundida en esas localidades. La información y el antecedente de precipitación revela con bastante certeza, que son las regiones de Guanacaste, Puntarenas y el Valle Central las que presentan condiciones que podrían bajo situaciones adversas pero factibles de ocurrir, generar estados de estrés que van de moderados a extremos y muy severos, con potenciales pérdidas significativas de productividad agroindustrial de fuerte impacto comercial. El riego de uso complementario resulta ser en este caso obligado para lograr mantener un estado razonable de estabilidad productiva.

En contraste con lo anterior se aprecia la cantidad de humedad que está presente en la época de cosecha de plantaciones y molienda de materia prima en la Zona Norte y Turrialba-Jiménez, con el agravante del impacto y las dificultades derivadas a toda la operación agroindustrial. Las lluvias alcanzan en esas localidades en el mes de enero 132,9 y 261,0 mm y en febrero 71,8 y 132,3 mm, respectivamente; disminuyendo en el mes de marzo a 44,9 y 98,7 mm. A esa seria limitante natural se le suma la alta humedad precedente y remanente en los suelos de los meses anteriores, manteniendo un grado de saturación muy elevado, lo que sin lugar a duda genera una condición de **estrés por aireación** que tiene afectación severa sobre los rendimientos y la calidad agroindustrial, como lo demostrara Chaves (2019i) para el caso de la zafra 2018-2019. En esas condiciones de alta humedad ambiente y edáfica la maduración natural se ve impedida y muy limitada, quedando condicionada al efecto

favorable y sustitutivo que puedan inducir las bajas temperaturas, lo que como se ha analizado en estudios anteriores tampoco es favorable en el caso de la Zona Norte, lo que explica la baja concentración de sacarosa contenida en sus

cañas (Alexander, 1973; SUGARCANE, 2014; Castro, 2016; Chaves, 2019efghi, 2020ad).

Cuadro 3. LLUVIA (mm) caída por mes según región productora de caña de azúcar en Costa Rica. Promedio 2016-2019.

Región	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	Promedio
Guanacaste	2,4	0,1	0,0	35,7	299,3	208,6	113,0	187,8	254,6	384,0	78,6	24,5	1 588,7	132,4
Puntarenas	4,7	0,0	0,0	72,3	334,5	229,3	132,7	163,4	326,9	501,8	114,6	60,9*	1 880,2	170,9
Zona Norte	132,9	71,8	44,9	41,6	237,5	358,5	413,2	285,5	285,0	304,4	283,3	277,6	2 736,2	228,0
Valle Central	3,2	4,7	0,5	70,1	418,8	308,5	209,8	257,5	472,8	379,1	173,0	65,0	2 363,0	196,9
Turrialba - JV	261,0	132,3	98,7	84,5	309,0	260,2	318,2	186,7	189,4	205,0	250,8	144,5	2 440,2	203,3
Zona Sur	50,2	9,1	54,9	195,0	352,3	327,6	210,6	287,4	442,7	500,3	281,4	85,3	2 796,7	233,1
Promedio	75,7	36,3	33,2	83,2	325,2	282,1	232,9	228,1	328,5	379,1	196,9	119,3	2 300,8	194,1
Valor Máximo	261,0	132,3	98,7	195,0	418,8	358,5	413,2	287,4	472,8	501,8	283,3	277,6	2 796,7	233,1
Valor Mínimo	2,4	0,0	0,0	35,7	237,5	208,6	113,0	163,4	189,4	205,0	78,6	24,5	1 588,7	132,4
Amplitud	258,6	132,3	98,7	159,2	181,4	149,9	300,2	124,0	283,4	296,8	204,7	253,1	1 208,0	100,7
Desv. Estandar	103,9	54,5	40,4	57,9	60,4	58,8	114,2	55,1	110,1	114,6	88,1	98,5	478,1	37,7
CV (%)	137,1	71,9	53,3	76,5	79,7	77,6	150,8	72,8	145,3	151,3	116,4	130,0	631,3	49,8

Nota: La información proviene de 30 Estaciones Meteorológicas ubicadas estratégicamente en todas las regiones productoras.
 * Hubo Estaciones con datos parciales por falta de información en algunos periodos.

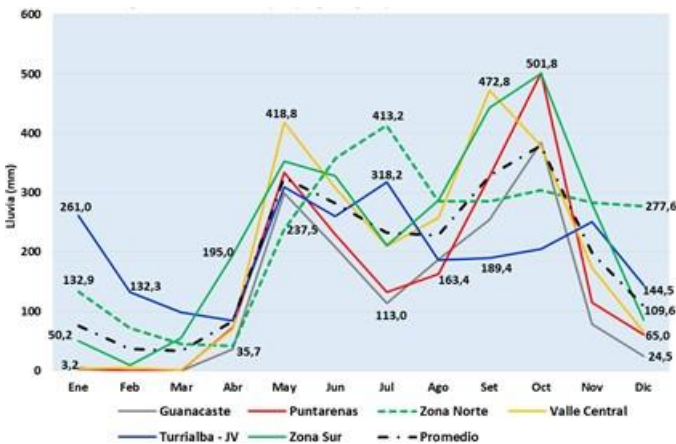


Figura 2. Lluvia mensual (mm) según región productora. Promedio 2016-2019.

Aplicando un criterio de selección geográfica más específica dirigida a algunas regiones que por sus características contrastantes poseen potencial de generar y mantener condiciones de estrés hídrico, sea por exceso o déficit, se presenta la figura 3, con la distribución mensual promedio de lluvia del periodo de cuatro años evaluado (2016-2019) para siete reconocidas localidades productoras de caña: Cañas (Taboga), Carrillo (El Viejo), Grecia (DIECA), San Carlos (Quebrada Azul), Los Chiles (El Tremedal), Juan Viñas y Buenos Aires (El Ceibo). Como

se infiere, esa selección recoge los casos más extremos que permiten establecer inferencias sobre posibles estados de estrés por agua. Se demuestra nuevamente que **en la Zona de Guanacaste y Puntarenas es donde mayor propensión hay al estrés hídrico por falta del líquido en los tres primeros meses del año**; esto en plantaciones sin riego o donde el mismo es deficiente o muy limitado, lo que se agrava por las características físicas de algunos de sus suelos (Vertisol). **La región del Valle Central podría tener eventualmente, aunque en evidente menor grado condiciones de estrés hídrico en la zona media-baja como Atenas, Grecia, Naranjo Alajuela y con predominio de suelos del orden Ultisol.** Más distante están las localidades de Buenos Aires en la Zona Sur y Los Chiles en el Norte, donde los suelos del orden Ultisol y el régimen de lluvias disminuido en los primeros tres meses del año, pueden llevar en circunstancias especiales (sequía temporal) a esa condición. Hay que tener presente que la zona de Los Chiles mantiene un comportamiento más afín al de la región Pacífico Seco que a la atlántica, lo que habilita la posibilidad de emplear riego. La zona alta de Juan Viñas no parece tener problemas por agua, pues es suficiente y constante durante todo el año, en perjuicio directo de la operación agrícola y de cosecha; como también la maduración natural deseada (Chaves, 2019fg).

El resto de las localidades presentan condiciones que pueden saturar el medio y conformar una situación limitante de temporalidad variable para el normal desarrollo de las raíces, el crecimiento vegetal, la formación de biomasa y la concentración de sacarosa con iguales efectos e impactos provocados por vías y agentes diferentes. Son evidentes las altas precipitaciones que se observan en los meses de setiembre-octubre en Carrillo y Buenos Aires; en junio-julio en San Carlos y Los Chiles y en mayo-setiembre-octubre en el Valle Central. Cabe reiterar lo manifestado en estudios similares anteriores, respecto a la **imperiosa necesidad de realizar mediciones de lluvia aplicadas a periodos más cortos de tiempo, que detecten, evidencien y reflejen con mayor acierto, la magnitud de las precipitaciones y la capacidad real de los suelos de poder evacuarlas convenientemente sin causar afectación a las plantas de caña. De igual manera, resulta muy conveniente y sano establecer una correlación con las temperaturas máximas y los órdenes de suelo presentes, sobre todo con orientación y enfoque a sus características físicas vinculadas con el agua.**

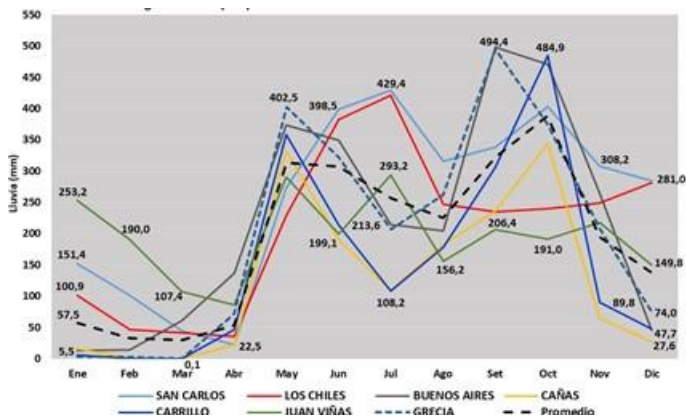


Figura 3. Lluvia (mm) mensual en varias localidades cañeras nacionales. Promedio 2016-2019.

Procurando interpretar con mejor criterio y más elementos la variación ocurrida entre meses, pero aplicado e interpretado a lo interno de una misma región cañera, se presenta la figura 4, en la cual se anotan de manera individual los promedios mensuales de lluvia caídos en el periodo estudiado (2016-2019), en seis localidades guanacastecas: Abangares: San Joaquín, Bagaces: La Soga, Cañas, Taboga, Carrillo: El Viejo y Liberia: CATSA, Aeropuerto Internacional Daniel Oduber. En primera instancia son notorias cinco situaciones: a) existen diferencias significativas de lluvia entre localidades que limitan establecer generalizaciones, solo caben las aproximaciones, b) dichas diferencias se trasladan a los meses del año, c) se marcan cuatro

etapas fácilmente diferenciables que operan de la siguiente forma: 1) reducción severa de las lluvias a partir del mes de octubre y hasta abril, 2) aumento de las aguas de abril a mayo, 3) disminución de las lluvias de mayo a julio y 4) ascenso vertiginoso de julio a octubre; d) La sequía entre los meses de enero a marzo es absoluta con ligeras excepciones que poco cambian la tendencia y e) La lluvia más intensa del periodo se dio en el mes de octubre en CATSA con 495,1 mm, seguida por El Viejo con 484,1 mm y Aeropuerto con 484,0 mm. En cantidad total de agua precipitada en el periodo estudiado, se infiere que fue en El Viejo donde cayeron 1.838,3 mm para una media mensual de 153,2 mm; seguido en importancia por CATSA con 1.773,4 mm (147,8 mm), San Joaquín 1.729,8 mm (144,1 mm), Aeropuerto 1.560,4 mm (130,0 mm), Taboga 1.525,0 mm (127,1 mm) y La Soga que es la sección más seca con solo 1.397,5 mm y una media de 116,5 mm. Interpretado geográficamente por cantón, el nivel de lluvias es como sigue: **Carrillo>Liberia>Abangares>Cañas>Bagaces.**

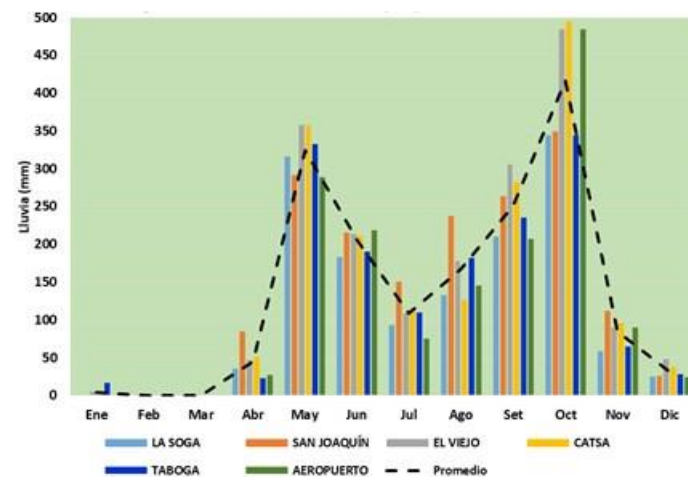


Figura 4. Distribución mensual lluvia (mm) en Guanacaste. Promedio 2016-2019.

Estrés por agua

Como todos los factores que intervienen y asechan sobre cualquier ser vivo, en nuestro caso la planta de caña de azúcar, tanto las limitantes como los excesos traducidos y manifestados en el caso del factor hídrico en sequías o inundaciones, tienen efectos y generan impactos que, dependiendo de su magnitud, su intensidad y el tiempo de exposición pueden tornarse como severos y estresantes para los intereses productivos, comerciales y económicos del emprendimiento empresarial desarrollado. **Reiteradamente se ha manifestado y demostrado que la caña de azúcar es una planta de muy alta afinidad a la luz y el agua; sin embargo, está de la misma manera comprobado en la práctica**

comercial, que un exceso de humedad afecta el cultivo de manera posiblemente más significativa que otros factores, aún que la insuficiencia de agua.

Las consecuencias y el efecto e impacto que pueden ocasionar los periodos de sequía o inundación prolongados resultan a todas luces adversos para los intereses productivos y comerciales de la agroindustria, motivo y razón por la cual se debe abordar el tema hídrico con mucha especificidad y preocupación. El tratamiento pese a ser en este caso relativamente superficial, permite contar con una idea muy clara sobre cuáles son las tendencias regionales con relación al agua, lo que abre y deja espacio para profundizar con mayor intensidad en el futuro.

La ponderación de los valores expuestos en los cuadros y las figuras adjuntas, permiten concluir que la condición establecida por las lluvias en los campos de producción de caña de azúcar en Costa Rica, se ubican en su gran mayoría dentro de los límites de aceptación y tolerancia fisiológica del cultivo; lo cual sin embargo, en localidades bajas (<400 m.s.n.m.) como Puntarenas y Guanacaste podría circunstancialmente verse comprometido en razón de que sus condiciones naturales pueden en determinados momentos y ambientes, acercarse a límites de posible impacto y afectación por insuficiencia o déficit hídrico, afectando negativamente el normal desarrollo de la planta. En un menor grado y probabilidad podría darse el mismo efecto en el Valle Central, también en los tres primeros meses del año. Esta situación agregada a la presencia adicional de déficit puntuales y de corta duración, como también las características físicas de algunos suelos del lugar, potencian la conformación de un estado estresante para las plantas favorecido por la baja humedad y las altas temperaturas presentes. Dicho peligro se concentra principalmente en esas tres regiones y en menor grado en las localidades de Los Chiles y El Ceibo de Buenos Aires, pues el resto de las zonas cañeras no muestran antecedentes preocupantes de mantener niveles hídricos bajos y consistentes en el tiempo. Este riesgo se da principalmente durante los meses de enero, febrero y marzo del año, pues en otros momentos son de carácter excepcional y casi fortuito.

En condiciones de sequía como las enunciadas, el riego adicional y suplementario se torna necesario y obligado, requiriendo el criterio técnico y experto para su correcta implementación. Por lo general el agua se aplica 1-2 días luego de realizar la siembra o corta de la plantación, con reiteraciones en frecuencias cada 15 días en suelos francos; en el ciclo soca la adición se realiza en periodos de 20 días hasta la llegada de las lluvias. Importante

señalar que el riego pre cosecha es también empleado en Costa Rica por el beneficio en tonelaje de biomasa que incorpora, iniciando el riego en el mes de diciembre y suspendiéndolo de 30 a 45 días previa la corta de la plantación.

Como se evidencio, pareciera también razonable esperar la posible conformación de condiciones potencialmente estresantes por causa del exceso de humedad en el suelo, sobre todo en los meses de setiembre y octubre en Guanacaste y Zona Sur; entre junio-julio en la Zona Norte; en el mes de julio en Los Chiles y en el Valle Central durante los meses de mayo, setiembre y octubre. La saturación de suelos provocada por lluvias anteriores es determinante en alcanzar en menor tiempo un grado de estrés importante y perdurable.

Como sucede también con otros factores bióticos y abióticos, una condición de estrés hídrico por causa de circunstancias vinculadas al agua en principio se incrementa, potencia y acrecienta cuando otras condiciones propias del clima, el suelo, el manejo agronómico y el entorno agro productivo la favorecen y fortifican al verse intervenidas y desbordadas, como acontece particularmente con la lluvia, el viento, la textura del suelo, la disponibilidad de agua e infraestructura de riego. La presencia de periodos secos o en contrario muy húmedos prolongados que forjen condiciones de *“estrés hídrico por sequía o inundación”*, con vientos persistentes de alta velocidad (>30 km/hora) que inducen el desecamiento vegetal, el cierre estomático, la alta evapotranspiración asociada con periodos de baja o nula precipitación, favorecen la posible 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. El grado de impacto depende mucho de la duración, intensidad y magnitud agregada de los eventos y factores involucrados.

Resulta apropiado en este punto reiterar lo expresado por Cadet (2019) al manifestar, que *“El estrés hídrico en el cultivo de la caña de azúcar es considerado multifactorial e involucra frecuentemente alta temperatura, alta luminosidad, fotoinhibición, lesiones por el efecto del sol, y es agravado por deficiencias nutricionales debido a la reducida disponibilidad de iones en el suelo, baja asimilación y transporte de nutrientes por parte de las plantas estresadas. Dado lo anterior, una gran cantidad de procesos fisiológicos con grados distintos de sensibilidad al déficit hídrico se ven afectados (Singels et al., 2000).”*

La insuficiencia de humedad además de promover una acción desecante sobre los tejidos de la planta, sobre todo si las características del suelo lo favorecen, limita y reduce el metabolismo, el crecimiento de raíces y biomasa, la absorción de agua y nutrimentos esenciales, con afectación del equilibrio general de la planta. El exceso por su parte impide el normal intercambio de gases, la muerte de tejidos por anoxia y la pérdida de crecimiento. No hay duda en aceptar que la sequía o el exceso de humedad en el suelo, presente por periodos prolongados o muy intensos puede ocasionar perjuicios directos e indirectos al productor de caña y también al industrial del azúcar, lo que justifica su consideración y estudio.

Conclusiones

A partir de los resultados e inferencias anteriores, se concluye lo siguiente:

- a) Por su ubicación tropical, Costa Rica presenta una heterogeneidad y variabilidad muy significativa durante todo el año en todas las regiones, zonas y localidades cañeras, con presencia de cambios importantes en magnitud e intensidad en los elementos del clima que intervienen e impactan de manera variable el potencial productivo agroindustrial de las plantaciones comerciales; la lluvia es uno de ellos.
- b) Por ser la caña una actividad comercial territorialmente extensiva que cuenta en la actualidad con un área sembrada de 62.630 hectáreas, la geografía nacional favorece la diversidad y variabilidad de sus entornos agro-productivos, lo que limita e impide realizar generalizaciones aún dentro de una misma región. El cambio, la variabilidad y las diferencias son comunes.
- c) La disponibilidad de agua constituye un factor primario y determinante para definir el potencial y la aptitud de una zona o localidad para cultivar exitosamente caña de azúcar. Por su naturaleza la dinámica del factor es muy inestable y cambiante en el tiempo, lo que merece atención.
- d) Como factor primario del clima, la humedad es vital en su participación e incidencia sobre la planta de caña durante todas las fases del ciclo vegetativo para favorecer los procesos de división celular, crecimiento y producción de biomasa (tonelaje). En su fase final de maduración es deseable que disminuya para inducir la concentración de sacarosa en los tallos (kg/t caña).
- e) La humedad es importante de conocer y estudiar en lo concerniente a sus efectos, en consideración de que se vincula y asocia con repercusiones poco deseables asociadas a “estrés por sequía o estrés por aireación” dependiendo de si su origen es por déficit o exceso de agua, respectivamente. Los resultados implícitos van en contra de los intereses productivos y económicos del agricultor.
- f) El periodo de cuatro años evaluado (2016-2019) en las 30 estaciones meteorológicas nacionales referidas, fue válido y muy representativo para generar inferencias y conclusiones consistentes y representativas.
- g) El tipo (orden taxonómico) de suelo y sus características y propiedades deben ser consideradas al valorar estados de posible estrés hídrico. La humedad influye sobre muchas propiedades físicas del suelo como son la densidad aparente, el espacio aéreo, la compactibilidad, la resistencia al corte y a la penetración, la consistencia, la succión, el intercambio gaseoso; interviniendo y afectando la respiración del sistema radicular, la actividad de los microorganismos, la condición química del suelo (potencial Redox), entre otros. Las propiedades de orden físico expresadas por la densidad real y aparente, el grado de estructuración, la textura, la porosidad, la resistencia y consistencia mecánica, el espacio aéreo, la capacidad de infiltración, intervienen el potencial de retención del agua y definen la conductividad hidráulica que pueda tener un suelo y con ello la capacidad real de poder tolerar o no una condición intensa y extrema de falta o exceso de agua.
- h) La lluvia en el área cañera nacional varía en un ámbito de promedios anuales extremos entre 1.136,2 y 3.425,8 mm, para un diferencial de 2.289,6 mm, correspondiente a un muy significativo 201,5% que dimensiona la magnitud de la variación. La condición “*más seca*” se da en la zona baja (<400 m.s.n.m.) de Guanacaste, el Pacífico Central, la Zona de Los Chiles y Buenos Aires en los meses de enero a marzo; contrariamente, las mayores en la Zona sur, Norte y Turrialba-Jiménez en los meses de mayo, setiembre y octubre.
- i) La zona productora del Pacífico Seco (<400 m.s.n.m.) representó el 64,8% (≈40.588 hectáreas) del área nacional, produjo y procesó en la Zafra 2017-2018 el 68,8% de la caña con la que fabricó el 67,8% de toda el azúcar costarricense. Por lo anterior, cualquier impacto que acontezca por sequía o inundación en esta región tan sensible, impacta significativamente la producción agroindustrial del país.
- j) Las lluvias promedio anual más altas para el periodo 2016-2019 se dieron en la Zona Sur con 2.796,7 mm, seguidas por Zona Norte (2.736,2 mm), Turrialba-Jiménez (2.440,2 mm), Valle Central (2.363,0 mm), Puntarenas (1.880,2 mm) y Guanacaste (1.588,7 mm), situándose el 66,7% de las mismas

por encima de los 2.000 mm, lo que es conveniente en términos de volumen.

- k) El 50% de las regiones cañeras del país mostraron niveles de precipitación promedio anual inferiores a 200 mm; siendo el 50% correspondiente superior. El promedio mensual de lluvia nacional fue de 194,1 mm durante los cuatro años (2016-2019) evaluados, lo que resulta muy sugestivo.
- l) En los meses de mayo, setiembre y octubre es cuando las lluvias en el área cañera nacional alcanzan sus índices promedio más altos, con valores de 325,2 mm, 328,5 mm y 379,1 mm, respectivamente.
- m) Los meses críticos donde la precipitación promedio es más baja en el país se presentan en los meses de enero, febrero y marzo alcanzando una media trimestral de apenas 0,83 mm en Guanacaste, 1,6 mm en Puntarenas y 2,8 mm en el Valle Central. Entre febrero y marzo, se presenta una condición extrema de “cero precipitaciones” en la zona baja (<400 m.s.n.m.) del Pacífico Seco.
- n) De igual manera, pero en sentido contrario, mayo es un mes crítico por las altas lluvias como acontece en el Valle Central donde precipitaron en promedio 418,8 mm y la Zona Sur con 352,3 mm. A la vez, los meses de setiembre-octubre se expresan en promedio en la Zona Sur en 471,5 mm de lluvia, el Valle Central en 418,8 mm y en Turrialba-Jiménez 352,3 mm.
- o) Resulta recomendable procurar reducir en las zonas más sensibles y propensas a sufrir impactos por la lluvia, como son Guanacaste, Puntarenas, Los Chiles, Buenos Aires y Valle Central en el caso de eventuales déficit hídricos; o la Zona Sur, Norte y Turrialba-Jiménez por excesos, el ámbito de medición e interpretación de los datos evaluados a tiempos de lectura más cortos, sean semanales y preferiblemente diarios, que permitan y favorezcan una mejor inferencia y ubicación de los impactos potenciales que puedan suceder en el corto plazo. Interpretaciones basadas en promedios mensuales resultan amplios e insuficientes para juzgar posibles impactos por sequía o exceso de humedad.
- p) El antecedente de precipitación revela con bastante certeza, que son las regiones de Guanacaste, Puntarenas y el Valle Central las que presentan condiciones que podrían bajo situaciones adversas pero factibles de ocurrir, generar estados de estrés que van de moderados a extremos y muy severos, con potenciales pérdidas significativas de productividad agroindustrial de fuerte impacto comercial. El riego de uso complementario resulta ser en este caso

obligado para lograr mantener un estado razonable de estabilidad productiva.

- q) Basados en la información recabada e inferencias generadas en el presente estudio, se concluye que los ámbitos promedio de humedad alcanzados por las precipitaciones nacionales, pueden presentar y generar en algunas localidades condiciones extremas de estrés hídrico inducido por déficit (sequía) o exceso (inundación) de agua 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 y edáficos válidos y representativos que aporten una mejor contextualización de cada entorno agro productivo.
- r) La tolerancia a déficit o en su caso exceso de humedad en el medio, es una condición vegetativa que puede y debe ser atendida y abordada 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 sobre todo en el caso de las zonas más bajas y calientes (<400 m.s.n.m.).



Figura 5. Comparación entre grados de afectación por sequía vs. elongación de entrenudos en los tallos. Variedad RB 86 7515.



Figura 6. Impactos por inundación y sequía en plantaciones comerciales de caña de azúcar.

Literatura citada

Alexander, AG. 1973. *Sugarcane Physiology*. Amsterdam: Elsevier. Scientific Publishing Company 752 p.

- Cadet Piedra, E. 2019. *Caracterización, sintomatología y respuesta de la caña de azúcar al estrés por déficit hídrico*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(14): 5-7, octubre.
- 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. 2011. *Impacto de las lluvias y las inundaciones sobre la caña de azúcar en Costa Rica*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 14 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017a. *Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica*. En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 2017. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 38 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017b. *La compactación de suelos en la caña de azúcar*. Revista Entre Cañeros N° 9. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, diciembre. p: 33-48.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. *Lluvia: imperativo para corregir la acidez de los suelos para cultivar caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(2): 4-5, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. *Humedad y compactación de suelos en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(6): 4-6, junio-julio.
- Chaves Solera, MA. 2019c. *Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019d. *Relación agua-suelo en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(10): 5-7, agosto-setiembre.
- Chaves Solera, MA. 2019e. *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. 2019f. *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. 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. 2019h. *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. 2019i. *Resultado final de la Zafra 2018-2019: un periodo agroindustrial con grandes diferencias y contrastes*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 73 p.
- 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, MA. 2020b. *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. 2020c. *Estrés por calor en la caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(5): 5-12, marzo.
- Chaves Solera, M.A. 2020d. *Estrés por frío en la caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(7): 6-16, marzo-abril.
- Figuroa, L.R.; Romero, E.R.; Fadda, G.S. 2009. *El riego en la caña de azúcar*. En: Manual del Cañero. Capítulo 8. 1ª ed. Las Talitas: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Tucumán, Argentina. p: 101-120.
- 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