

Periodo 22 de junio al 05 de julio 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 DEL 08 DE JUNIO AL 14 DE JUNIO

En la figura 1 se puede observar el acumulado de lluvias de la semana tras anterior sobre el territorio nacional.

Los distritos que sobrepasaron los 200 mm de lluvia fueron Horquetas de Sarapiquí, Telire de Talamanca, Palmar de Osa, así como Cajón y San Pedro de Pérez Zeledón.

A nivel nacional, los registros de lluvia de 114 estaciones meteorológicas consultadas muestran al sábado como el día más lluvioso, mientras el lunes presentó los menores acumulados, con un 15% de lo acumulado el lunes.

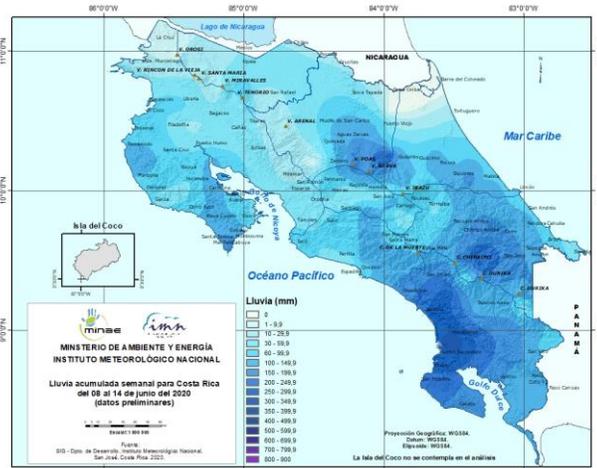


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 08 de junio al 14 de junio del 2020 (datos preliminares).

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA SEMANA DEL 15 DE JUNIO AL 21 DE JUNIO

En la figura 2 se puede observar el acumulado de lluvias de la semana anterior sobre el territorio nacional.

Los distritos que sobrepasaron los 200 mm de lluvia fueron Cajón de Pérez Zeledón y Florencia de San Carlos.

A nivel nacional, los registros de lluvia de 113 estaciones meteorológicas consultadas muestran al martes como el día más lluvioso, mientras el jueves presentó los menores acumulados, con un 11% de lo acumulado el día con los mayores acumulados semanales.

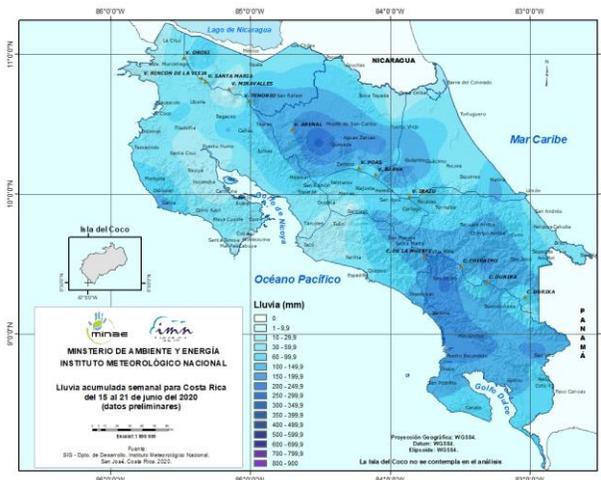


Figura 2. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la semana del 15 de junio al 21 de junio del 2020 (datos preliminares).

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CLIMÁTICAS PERIODO DE 22 JUNIO AL 28 DE JUNIO DE 2020

La semana inicia con lluvias asociadas al efecto de la onda tropical #10 en todo el territorio nacional. Seguida de una reducción en las lluvias de la vertiente Caribe y la Zona Norte, debido a la alta presencia de polvo del Sahara a mitad de la semana, que a su vez mantendrá lluvias aisladas de variable intensidad en la vertiente Pacífico y el Valle Central. Finalizando la semana con un nuevo incremento de las lluvias en la vertiente Pacífico y el Valle Central debido a la onda tropical #11.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS PERIODO DEL 22 DE JUNIO AL 28 DE JUNIO DE 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 inicio de semana con pocas lluvias y condiciones más lluviosas en la segunda mitad para todas las regiones cañeras. Las regiones cañeras Guanacaste Este, Guanacaste Oeste, Valle Central Este y Valle Central Oeste presentarán un incremento de la velocidad del viento en la segunda mitad de la semana; mientras las regiones Zona Norte, Turrialba y Puntarenas mantendrá velocidades relativamente estables a lo largo de la semana; por su parte la zona Sur presentará una reducción del viento a mitad de semana para alcanzar su máximo hacia el final de la semana. Las áreas cultivadas tendrán amplitudes térmicas homogéneas, con los valores superiores de la temperatura máxima y temperatura mínima a mediados de semana.

“Se percibirá polvo procedente del desierto del Sahara a partir del martes, condición que se mantendrá el resto de la semana.”

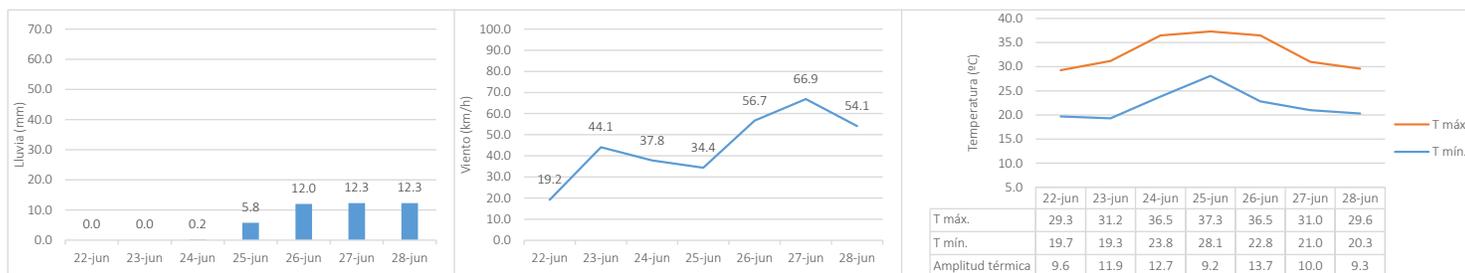


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 22 de junio al 28 de junio en la región cañera Guanacaste Este.



Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 22 de junio al 28 de junio en la región cañera Guanacaste Oeste.

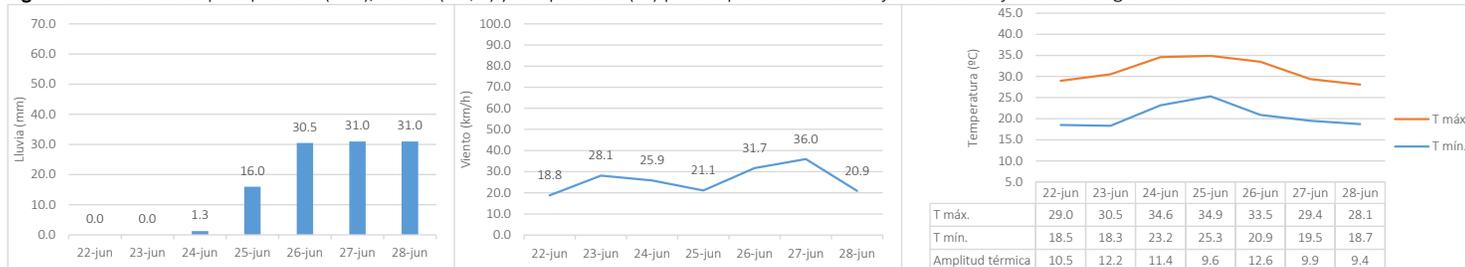


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 22 de junio al 28 de junio en la región cañera Puntarenas.

Junio 2020 - Volumen 2 – Número 13

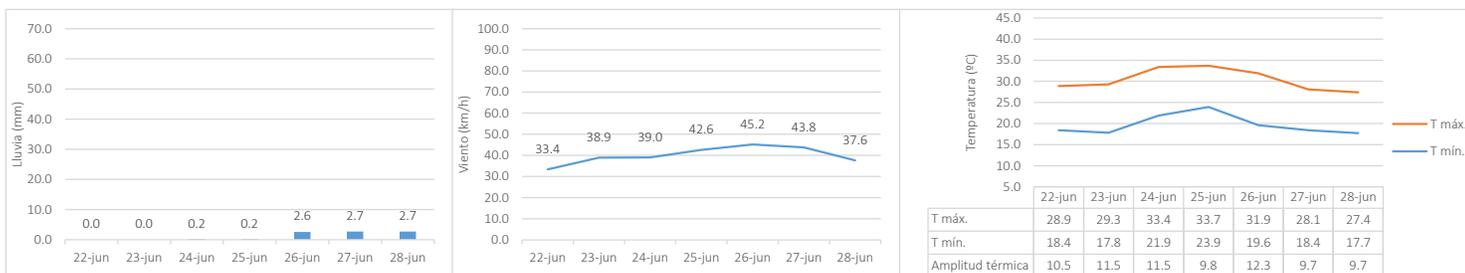


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 22 de junio al 28 de junio en la región cañera Zona Norte.

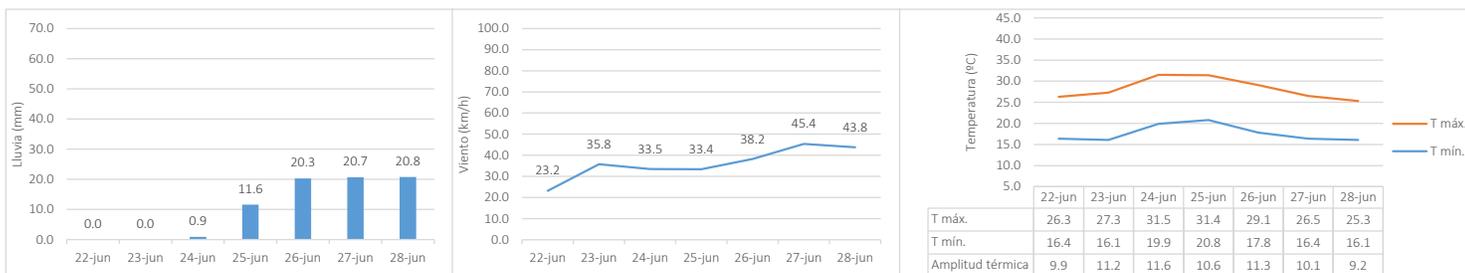


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 22 de junio al 28 de junio en la región cañera Valle Central Este.

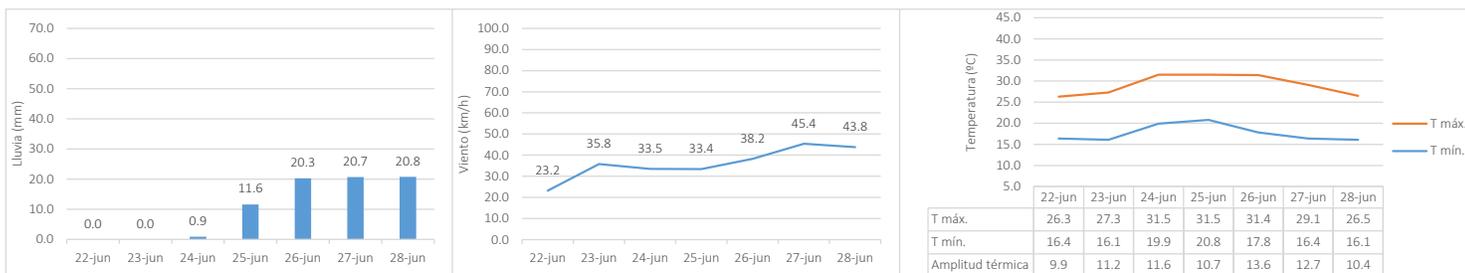


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 22 de junio al 28 de junio en la región cañera Valle Central Oeste.

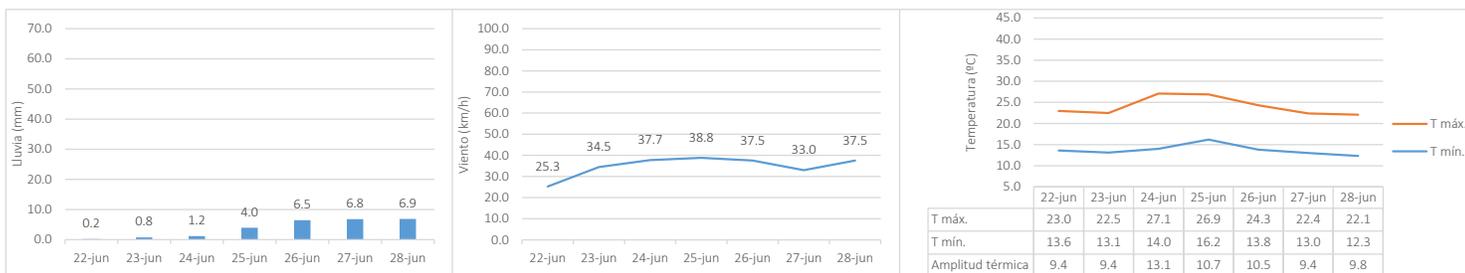


Figura 9. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 22 de junio al 28 de junio en la región cañera Turrialba.

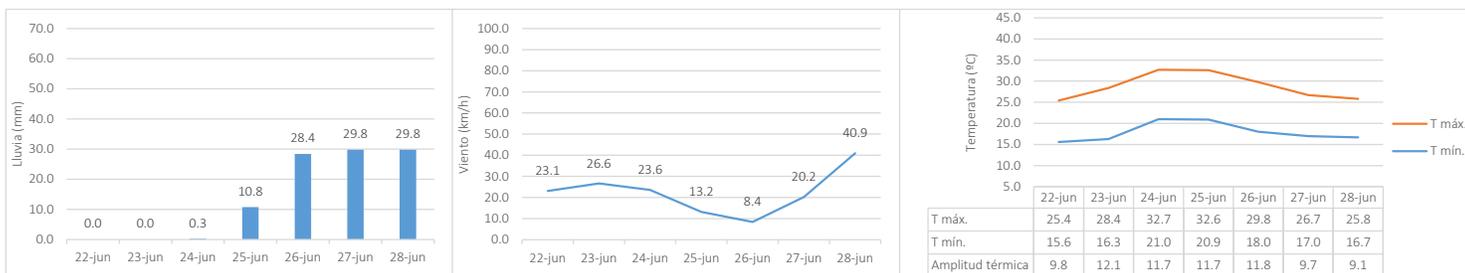


Figura 10. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) para el periodo del 22 de junio al 28 de junio en la región cañera Zona Sur.

Junio 2020 - Volumen 2 – Número 13

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 29 DE JUNIO AL 05 DE JULIO DE 2020

Se esperan condiciones lluviosas asociadas a inestabilidad atmosférica a lo largo de la semana para la vertiente Pacífico y Valle Central, así como en la Zona Norte y vertiente Caribe.

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 22 de junio del 2020.

La Región de Guanacaste Oeste tiene entre 0% y 75% de humedad en los suelos, la Región Guanacaste Este presenta porcentajes de saturación que varían entre 0% y 100%. La Región Puntarenas está entre 0% y 45%.

Los suelos de la Región Valle Central Oeste presentan entre 45% y 100% de humedad, mientras que los de la Región Valle Central Este tienen entre 15% y 45%. La Región Norte está entre 15% y 100%.

La humedad del suelo en la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) está entre 30% y 100%, mientras que la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) se encuentra entre 75% y 100%. La Región Sur presenta porcentajes de saturación variables, que van desde 0% hasta el 100%.

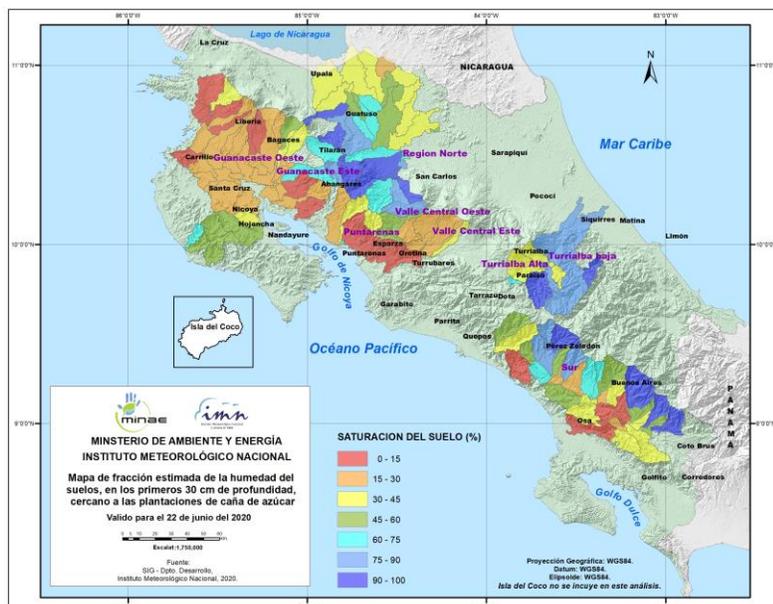


Figura 11. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), a 30m de profundidad, cercana a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 22 de junio del 2020.

DIECA E IMN LE RECOMIENDAN

Por mantenerse activa la temporada de ondas tropicales del océano Atlántico, se recomienda tomar medidas preventivas y de amortiguamiento en cuanto al incremento de las lluvias que prevalecerán durante aquellos días con efecto directo de ondas o tormentas tropicales. Favor mantenerse al tanto de los avisos emitidos por el IMN.

CRÉDITOS BOLETÍN AGROCLIMÁTICO

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

Modelos de tendencia del Departamento de
 Meteorología Sinóptica y Aeronáutica

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

ALERTA SANITARIA

Polvo del Sahara 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)

Met. Karina Hernández Espinoza, M.Sc.

khernandez@imn.ac.cr

Coordinadora Boletín Agroclimático (IMN)

A lo largo de la semana se percibirá la presencia de Polvo del Sahara en Costa Rica, condición que, aunque es típica del periodo entre junio y agosto, varía su densidad y efecto cada año. El fenómeno atmosférico consiste de una masa de aire muy seca, cargada de polvo que se forma sobre el Desierto del Sahara, generada cuando las arenas desérticas se levantan favorecidas por el aire cálido que interacciona con el aire fresco presente en la región sur (Sahel) del desierto. En el tanto las partículas microscópicas ascendentes se remolinan, los vientos alisios intensos comienzan a soplar y movilizan con ruta hacia el oeste del Atlántico Norte. Vale señalar que no siempre las partículas llegan a la superficie del suelo, pues se mantienen en la atmósfera.

El polvo es capaz de impactar de varias maneras una vez que llega a tierra, efectos que pueden o no ser perceptibles. Aseguran los especialistas que dicho polvo de origen africano “contiene hierro, sal, sílice y otros compuestos minerales; además de contaminantes orgánicos persistentes, virus, hongos, bacterias y ácaros patógenos, capaces de dañar al hombre, las plantas y los animales”.

El polvo del Sahara es un inhibidor de la generación de huracanes, debido a su composición mayormente de aire seco y cargado de polvo en aerosol, que a su vez desplaza las ondas tropicales del océano Atlántico, evitando que estas compartan su trayectoria, de forma que, teniendo alta presencia de polvo del Sahara en el Mar Caribe, se reduce la posibilidad de tener efectos directos de ondas tropicales sobre Costa Rica.

En la agricultura es importante tomar nota y sobre todo prevención de dicho evento, virtud de la exposición a que se ven sometidas las personas y animales que laboran y se encuentran en el campo, en razón de que dichas arenas:

- Pueden afectar a las personas sensibles con la aparición de cuadros alérgicos.

- Pueden afectar los ojos y con ello la visibilidad.
- Las personas que padecen de problemas respiratorios pueden sufrir crisis por este motivo.
- Tanto plantas como animales pueden verse aquejados de manera variable.
- Las aplicaciones de agroquímicos y las labores de campo pueden ser negativamente intervenidas.

Es fundamental considerar que, en el caso de la caña de azúcar, de manera especulativa y por tanto sin demostración científica fiable, pero con gran sentido pragmático, se ha atribuido algunos de los males y padecimientos que de manera extraña y sin explicación razonable, han aparecido en años anteriores en muchas plantaciones comerciales del país. Esta circunstancia motiva y sugiere mantener bajo supervisión y observación nuestros plantíos. Las Arenas del Sahara no solo inducen amaneceres y atardeceres espectaculares, sino pueden ser contraproducentes para la salud y la agricultura.

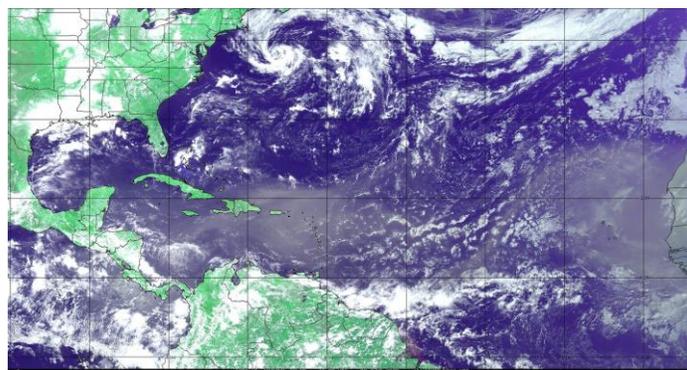


Figura 1. Polvo del Sahara sobre Centroamérica a las 12 horas del 22 de junio del 2020. (Fuente: NOAA)

NOTA TÉCNICA

Sistema radicular de la caña de azúcar y ambiente propicio para su desarrollo en el suelo

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)

Por antecedente, una de las secciones vegetales menos estudiada por la ciencia y sobre la cual menos conoce la agricultura comercial, lo constituye el sistema radicular de las plantas, lo cual resulta paradójico y hasta contraproducente al cotejarlo y ponderarlo en relación con la importancia que el mismo tiene en la producción competitiva de los cultivos. Este descuido por la raíz, como asegura Dillewijn (1952), ha ido sin embargo en contrapartida en favor del estudio de las partes aéreas; lo cual atribuye a las dificultades que presenta este tipo de estudios, por: 1) encontrarse el sistema de raíces oculto en una masa de terreno que requiere cuidadosa excavación, 2) el medio de crecimiento (suelo), al contrario de las partes aéreas a menudo se caracteriza por la heterogeneidad (piedras, capas duras, diferencias en humedad, en estructura y composición química del suelo) dando lugar a grandes diferencias en el desarrollo de la raíz y 3) lo anterior dificulta la interpretación de los resultados. Opinión similar mantienen Vasconcellos y Casagrande (2008) en torno al mismo tema, anotando adicionalmente como dificultad, lo concerniente a las técnicas y métodos de investigación empleados. Esos mismos autores, citando a Luxmoore y Stolzy (1987), agregan otros elementos calificados como desafíos, como son: a) la arquitectura geométrica compleja del sistema radicular, b) la amplia gama de tipos y diámetros de raíces de las plantas perennes, c) las diferencias existentes en la actividad fisiológica de las raíces en diferentes edades, d) el rápido crecimiento y descomposición de las raíces más finas, e) los procesos microbiológicos que ocurren en la interfase suelo/raíz, f) las relaciones simbióticas que acontecen en la Rizosfera y g) la variabilidad prevalente en el ambiente edáfico (física, química y biológica) en el cual se desenvuelven las raíces.

Esta realidad constituye y debe representar una preocupación y una motivación más que una justificación, para abordar y procurar ahondar responsablemente en conocer los aspectos relevantes y reveladores de la raíz, que puedan contribuir con la

optimización del potencial inherente a la planta. Cualquier pretensión de mejora sostenible y competitiva de carácter agro productiva que se pretenda implementar, debe ineludible e insoslayablemente considerar valorar e intervenir sobre la condición y optimización del sistema radicular, como factor determinante del éxito agroindustrial y empresarial de una plantación, en este caso de caña de azúcar. Es trascendente considerar y tener muy presente, que las plantas presentan naturalmente diferencias importantes, no apenas en los tallos, hojas, flores o frutos, como muchos podrían erróneamente creer, sino también en las raíces, motivo por el cual resulta importante indagar y profundizar en torno al mismo. El abordaje del tema de la raíz constituye el objetivo primario del presente documento.

Entorno productivo de la caña en el país

Por lo general, las condiciones y localidades geográficas en que se desarrolla la actividad agrícola no siempre son las mejores y las más idóneas para expresar, materializar y plasmar en productividad el potencial disponible intrínsecamente en un determinado material genético. Lo anterior se agrava y dificulta cuando se trata de un cultivo extensivo como la caña de azúcar, donde encontrar homogeneidad significa un verdadero reto. Esta realidad obliga imperativamente incorporar medidas de contención, corrección, mejora o mitigación a las limitantes existentes; lo cual, sin embargo, resulta muchas veces insuficiente, deficiente u oneroso, si por acaso la planta es susceptible o sensible a la intensidad, magnitud o características de una o varias de las condiciones limitantes prevalentes. La agricultura rentable y competitiva ha procurado resolver esta condición por la vía del manejo responsable, sostenible y ecoeficiente, procurando por medio del mejoramiento genético desarrollar sistemas de raíces rústicas pero eficientes que se adapten, toleren y superen la situación limitante presente.

Como se ha ampliamente señalado, comentado y demostrado, en el caso particular de la caña de azúcar, las condiciones y

localidades de cultivo en el país son muy heterogéneas y disimiles en casi cualquiera de los indicadores básicos con que se pretendan avaluar y comparar. Lo anterior ha sido referenciado y puntualizado por Chaves (2019cd) al manifestar, que *“Sin tener que ir territorialmente lejos, pueden encontrarse y localizarse en Costa Rica condiciones muy disimiles y opuestas en prácticamente todos los elementos que participan directa o indirectamente en la producción de caña, donde destacan y marcan diferencias significativas los elementos clima, edáficos, relieve, fitosanidad, manejo agronómico de plantaciones, potencial mecanizable, ciclos vegetativos (12-24 meses), variedades cultivadas, estructura de tenencia de la tierra, potencial de riesgo climático (sequía, inundación, tormenta, huracán, etc.), ciclo de maduración, inversión tecnológica, capacidad y eficiencia fabril, entre muchos otros que pueden identificarse y nombrarse.”*

Las condiciones limitantes y adversas que prevalecen y dominan en varias localidades de Costa Rica para producir caña de azúcar de alta calidad, son numerosas y en la mayoría de los casos difíciles de superar, lo que demanda para ser productivo y competitivo, adoptar imperativamente medidas en varias direcciones para mitigarlas, corregirlas, mejorarlas o en su caso contornarlas. El clima es un factor que afecta bastante la actividad agrícola vinculada al cultivo, como también la calidad de la materia prima que se produce, cosecha y procesa en nuestras fábricas de azúcar, como lo demostrara Chaves (2020a). No hay duda de que, en esta difícil gestión de ajuste y mejora, el empleo de variedades adecuadas constituye una de las mejores y más inteligentes acciones por implementar, virtud de no implicar costos extraordinarios adicionales que afecten la rentabilidad final de la empresa cañero-azucarera. Asimismo, la administración visionaria, responsable y eficiente en el manejo de los recursos coadyuva de manera significativa en esta misión.

Importancia de la raíz

La raíz desempeña y cumple un papel fundamental y determinante en el desarrollo general del ciclo vegetativo del cultivo de la caña de azúcar, siendo parte esencial de la primera etapa de este, como lo indicara Chaves (2019b). La dotación de una raíz fuerte, pródiga, resistente y eficiente representa posiblemente una de las alternativas tecnológicas más viables,

rentables y factibles de implementar para resolver muchos de los problemas que en este caso presentan e inducen el suelo y el clima, principalmente. Esos dos factores van estrechamente asociados al manejo agronómico que se le realice a la plantación comercial y que contribuyen con incrementar la productividad agroindustrial. Asegura Chaves (2018) al respecto, que *“El sistema radicular es determinante en el potencial de adaptación y éxito comercial que pueda tener una determinada variedad, en consideración de los diversos entornos en que es cultivada, siendo sometida por ello, a condiciones de estrés muy diversos (bióticos y abióticos). Esta estructura es muy importante en la labor de mejora genética de la caña de azúcar y se procura mejorar mediante cruces interespecíficos.”*

Los programas mundiales de mejora genética prestan en la actualidad especial atención a los factores de índole anatómico-fisiológica de la planta, buscando incorporar propiedades y atributos apropiados y sobresalientes a los nuevos clones, mediante cruzamientos intra e interespecíficos con especies del mismo género o afines a él, en este caso *Saccharum*, que los favorezcan y abastezcan en su participación como progenitores (Chaves, 2018). El notorio avance logrado en las técnicas, procedimientos y protocolos científicos lo habilitan y permiten en la actualidad.

En el caso particular de la caña de azúcar, las características y propiedades dominantes que tipifican sus seis especies (*officinarum*, *spontaneum*, *robustum*, *barberi*, *sinense* y *edule*), muestran diferencias importantes de constitución, que pueden ser determinantes para los intereses comerciales de la actividad, lo que es utilizado por los mejoradores del cultivo para su aprovechamiento, reconociendo que por naturaleza la caña es una planta muy compleja. La reconocida y tradicional *Saccharum officinarum* es un biotipo de caña que aporta contenidos importantes de sacarosa, significativamente más que cualquiera de las otras especies, pero es en contrario muy débil y limitada en lo concerniente a otras características deseables; lo que se busca resolver e incorporar por aporte heredable externo de otras de las especies del género. A la especie *S. spontaneum* se le atribuye por ejemplo presentar rizomas de varios metros de longitud; a *S. barberi* y *S. sinense* (cañas chinas) se les distingue y reconoce su alta rusticidad y gran tolerancia a desarrollarse en condiciones ambientales extremas y difíciles. La *S. robustum* se

considera por su parte, la especie más afín a *S. officinarum* y es junto a *S. spontaneum* las dos especies silvestres del género y dotada (la última) por ello de una mayor rusticidad (Chaves, 2018). Como se nota, esas propiedades especiales van asociadas y coligadas directamente con la raíz, pues por posición y exposición, este órgano sufre los embates del entorno inmediato; ahí la importancia de que las variedades de uso comercial cuenten con una raíz robusta, rústica y muy activa.

Las actuales variedades de caña de azúcar de uso comercial sembradas por los agricultores en el mundo corresponden a híbridos obtenidos a partir del cruzamiento principalmente de las especies *S. officinarum* y *S. spontaneum*. Se infiere de lo anterior, la importancia que adquiere y mantiene la genética en la fabricación de clones promisorios, lo cual parte de la raíz como órgano que da soporte y provee la hidratación y nutrición a la planta. La raíz es, en definitiva, un órgano con propiedades y aportes ganadores y determinantes del éxito que pueda tener un cultivar de caña de azúcar, que pretenda destacarse y consolidarse comercialmente virtud de sus atributos, propiedades y características agroindustriales.

Sistema radical de la caña

Una estructura de constitución y función tan compleja como es la raíz ha merecido y generado descripciones diferenciadas en su caracterización y definición, las cuales son sin embargo bastante coincidentes. Se le ubica como el primer órgano embrionario de las plantas vasculares que se desarrolla durante la germinación de la semilla, que por lo general crece orientada hacia el interior del suelo por presentar geotropismo positivo y fototropismo negativo. La raíz en conjunto con el tallo constituye el eje principal de la planta, no existiendo entre ambas estructuras una separación clara por poseer las dos un cilindro de tejido vascular contenido en el tejido fundamental; sin embargo, la estructura radicular tiende a ser más simple que la del tallo debido a su hábitat subterráneo. Cuando los tallos o parte de ellos crecen debajo del suelo son llamados rizomas. En las monocotiledóneas como la caña, la raíz embrionaria pierde funcionalidad pronto y el sistema radicular de la planta adulta se forma por encima del lugar de origen de la raíz inicial. El sistema de raíces de la caña se denomina homorrizo (no hay raíces principales), es fasciculado (constituido por un puñado de raíces secundarias que tienen el

mismo grosor o muy parecido), en cabellera o fibroso, está formado por un conjunto de raíces adventicias y se halla profusamente ramificado. Es interesante mencionar que las raíces principales dan origen a las secundarias, estas a las terciarias y así sucesivamente (radicelas). Algunos autores señalan que en la caña de azúcar se pueden encontrar dos tipos de tallos; el primero que es un falso tallo subterráneo denominado rizoma, y el segundo nombrado tallo aéreo, a partir de donde se extrae el jugo que contiene la sacarosa. En el rizoma surgen raíces de vida subterránea que no deben confundirse con la raíz de la planta.

Es importante señalar para mejor comprensión que en el caso particular de la caña de azúcar, lo correcto es concebir el conjunto de raíces no de manera simple e independiente, sino por el contrario como todo un “sistema complejo y articulado”, que se reconoce y denomina sistema radical o radicular. Cabe recordar que la caña de azúcar se reproduce por la vía asexual a partir del brotamiento de yemas axilares situadas en la semilla, que corresponde a un trozo (esqueje) de tallo con al menos una yema (fitómero) capaz de engendrar y reproducir un nuevo individuo. Sobre esa yema se origina un brote guía o tallo primario, a partir de donde se forman los tallos secundarios y sucesivamente los terciarios y más, conformando lo que conocemos como “cepa o macolla”.

La mayoría de autores describen la raíz como la sección subterránea de la planta que está conformada por dos tipos de raíces (figura 1): a) Raíces primordiales o adventicias: son las primeras que brotan del anillo radicular del esqueje inicial implantado durante la siembra; son delgadas, muy ramificadas, con pelos absorbentes y radicelas, cuentan con un período de vida activa muy corto que no supera por lo general los 2-3 meses, dan sostén al nuevo vástago en el tanto se establece el otro sistema funcional (permanente), aparecen después de 24 horas de la siembra, lo que sin embargo es muy varietal; y b) Raíces permanentes: son aquellas que surgen de los nuevos brotes a los 5-7 días de plantada la semilla, son gruesas, numerosas, color blanco, menos ramificadas, de rápido crecimiento y su proliferación acompaña el desarrollo de la planta; su longitud, cantidad y tiempo de vida dependen de la variedad, de los factores ambientales y las condiciones del medio suelo.

Conforme salen del vástago gradualmente se van haciendo más delgadas.

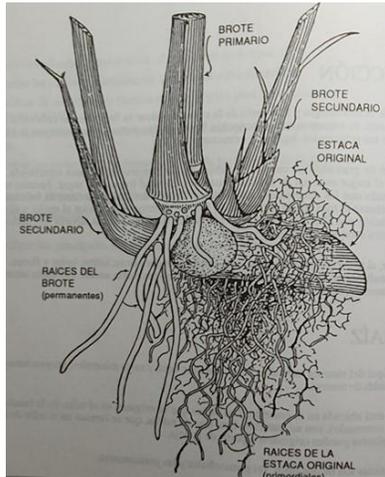


Figura 1. Sistema radicular de la caña de azúcar. Fuente: Subirós, 1995.

Cabe mencionar que la reproducción de la caña se realiza mediante la siembra de esquejes o trozos del tallo donde cada nudo posee una yema axilar y un anillo de primordios radiculares, a partir de donde surge la nueva planta. La yema en crecimiento depende en principio de las reservas contenidas en el esqueje y lo que las raíces primordiales le provean; lo cual, si las condiciones del medio lo favorecen, pronto es sustituido por las propias de la nueva planta en activo crecimiento. Las raíces del esqueje (a) mantienen su emergencia y crecimiento luego de efectuada la siembra por un periodo de 6 a 15 días, desapareciendo entre los 60 y 90 días (2-3 meses) tiempo en el cual abastecen de agua y nutrimentos a los tallos en crecimiento, que utilizan también las reservas contenidas en el esqueje. Se estima que entre 4-5 meses las raíces primordiales necrosan y pierden funcionalidad, aunque algunas permanecen. Posteriormente las raíces de los nuevos retoños primarios satisfacen ese requerimiento, por lo que las primordiales pierden su función y actividad. Puede asegurarse que luego de 3 meses del plantío, la caña planta depende casi exclusivamente de los retoños recién germinados. En este momento el sistema de raíces está localizado prácticamente en los primeros 30 cm. Es cierto también que la vida de las raíces del nuevo vástago es limitada, pero como cada nuevo retoño produce sus propias

raíces, el sistema como tal, se renueva y rejuvenece permanentemente, no viéndose afectado. Este mecanismo de producción continua de nuevas raíces es muy valioso, ya que permite que la planta de caña se auto ajuste a los cambios surgidos en las condiciones ambientales impuestas por su entorno.

En referencia al tema anatómico-genético y particularmente al analizado en el presente documento, Chaves (2018) menciona que, la raíz de la caña de azúcar “constituye todo un sistema que de acuerdo con Dillewijn (1952) y Bacchi (1983) está compuesto por tres subsistemas: a) raíces superficiales, ramificadas y absorbentes, b) raíces de fijación más profundas y c) raíces cordón, que pueden alcanzar hasta 6 m de profundidad. El profuso y poderoso sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo. Las raíces propiamente se identifican en su desarrollo inicial en dos tipos principales: a) primordiales del esqueje original (semilla): brotan a partir de la banda de primordios ubicada en el anillo de crecimiento del tallo sembrado, son muy finas, ramificadas y de vida muy corta hasta la aparición de los brotes (a los 2 a 3 meses), b) permanentes: emergen rápido y en gran número de los anillos de crecimiento de los nuevos brotes, son gruesas y proliferan con el desarrollo vegetativo de la planta. Varían con las variedades y son muy influenciadas por los elementos del clima y el manejo agronómico de la plantación.”

La proporción entre los tipos de raíces predominantes es una característica propia y específica de las variedades, lo cual trasciende inclusive a las especies del género; se ha comprobado que *Saccharum officinarum* posee menor cantidad de raíces de sustentación o fijación que *Saccharum spontaneum*, lo que explica y justifica su mayor rusticidad y resistencia a soportar condiciones secas. Se considera que las raíces de cordón están más vigorosamente desarrolladas en las cañas con origen silvestre que en las cañas nobles tropicales. Esa propiedad es heredable y se busca introducir con el trabajo de mejora genética realizado por los científicos. El sistema de raíces cordón se caracterizan, según Dillewijn (1952), por crecer más verticalmente hacia abajo y formar cordones que pueden contener e integrar de 15 a 20 raíces que pueden resistir esfuerzos de ruptura elevados; son además capaces de ofrecer una vigorosa absorción, debido particularmente a que descienden a profundidades del suelo que por lo general se

mantienen húmedas, aún en épocas de extrema sequía. Las raíces cordón crecen tanto en plantaciones recién establecidas (planta) como también en los ciclos posteriores de retoño. Resulta en la práctica agronómica difícil poder diferenciar las raíces tipo superficiales de fijación de las de sostén.

Con la cosecha y corta de la sección aérea las raíces no mueren o el sistema radicular es naturalmente renovado, como bien podría creerse; lo cual sí es favorecido y provocado por los ciclos permanentes de humedecimiento-secado que ocurren en el suelo y que son coincidentes con la corta de las plantaciones, cuando las condiciones ambientales pueden concordar con periodos de estrés hídrico. Los retoños salidos luego de superar la primera cosecha en caña planta poseen un sistema de raíces propio, motivo por el cual, luego de la cosecha de la plantación el sistema de raíces existente se mantiene activo por un tiempo corto y luego es sustituido por el sistema emitido por los nuevos vástagos. En caña soca las raíces son más superficiales respecto a las de la caña planta; por lo cual, entre más cantidad de cosechas más volumen de raíces se encuentra en los horizontes superficiales del suelo. Esta particularidad es fácil observarla en plantaciones viejas que han sufrido muchos cortes.

La caña presenta también bajo ciertas condiciones especiales raíces adventicias, que no se originan en la radícula del embrión, sino en cualquier otro lugar de la planta, surgiendo por lo general en las partes aéreas. Es común observarlas cuando las condiciones de humedad ambiente son muy altas, hay nubosidad y la temperatura lo favorece; o también, cuando los tallos industrializables vuelcan y tocan el suelo, surgiendo en el anillo radicular de los tallos. Estos crecimientos no son industrial y comercialmente convenientes pues le hacen perder a la planta riqueza en sacarosa.

Función de las raíces

El desarrollo del sistema radicular es uno de los factores determinantes que operan e interactúan en la interacción genotipo-ambiente. Como funciones principales se le consignan a la raíz de la caña varias acciones básicas, como son: a) la absorción de agua para facilitar la hidrólisis de los carbohidratos de reserva y activar la movilización de las enzimas que controlan la división, diferenciación y crecimiento de las células que originan las raíces, b) la absorción de sales minerales del medio

necesarias para la síntesis de carbohidratos, c) el transporte (acrópeto y basípeto) de agua y solutos a las partes aéreas de la planta, d) servir de anclaje, sostén y fijación de las plantas al suelo, e) participar en la formación y mantenimiento de asociaciones simbióticas complejas con microorganismos (bacterias y hongos) del suelo, f) almacenar materiales de reserva y defensa, y g) participar en la creación y protección del suelo mediante la segregación de moléculas y enzimas, entre otras.

Por medio de los pelos absorbentes, la planta absorbe y transporta hasta la raíz agua, sales y compuestos simples que son conducidos (como savia bruta) hacia el tallo y las hojas donde metabólicamente se transforman anabólicamente en compuestos orgánicos complejos durante la fotosíntesis (Chaves, 2020b). No puede omitirse tampoco que las raíces actúan como “mensajeros” mediante señales para la sección aérea, tales como las fitohormonas del ácido abscísico (ABA), las citocininas o citoquininas que promueven la división y la diferenciación celular y el flujo de nitrato, los cuales actúan sobre la fisiología de la planta, en especial la expansión foliar, el comportamiento estomático, el crecimiento y la biosíntesis de enzimas fotosintéticas y la defoliación. Es conocido también en la práctica agrícola, que las raíces de la caña poseen una excepcional y elevadísima capacidad y poder de extracción de nutrientes del suelo, lo cual llega muchas veces si no se opera una labor correctiva de adición suplementaria por medio de la fertilización, al grado de agotamiento tornándolos infértiles e improductivos, como lo mencionan Alfaro y Chaves (1999).

La eficiencia con que se den y satisfagan esas funciones depende de diversos mecanismos fisiológicos, lo cual ejerce influencia directa sobre algunas propiedades de la planta de caña y el cultivo, como son entre otras: a) aportar tolerancia a la sequía; b) asistir con tolerancia al exceso de humedad; c) aumentar la capacidad de brotamiento, retoñamiento y ahijamiento; d) contribuir con el porte de la planta (erecto o inclinado); e) dar tolerancia al movimiento y circulación de equipo mecánico; e) proveer eficiencia en la absorción de agua; f) eficientizar la absorción y transporte de nutrimentos; g) favorecer tolerancia al ataque de plagas del suelo; h) mostrar tolerancia al volcamiento de la plantación por causa del viento y el peso de la biomasa; i) hacer aprovechamiento de los recursos disponibles o aquellos incorporados al suelo (fertilizantes sintéticos y abonos

orgánicos); j) contribuir con la prolongación de la vida comercial de la plantación. Como se infiere, de la adecuación y preferiblemente optimización de todos esos factores, depende en alto grado la productividad agroindustrial y duración de la vida comercial de la plantación que pueda alcanzarse en cualquier proyecto agro comercial.

Tamaño, localización, distribución y profundización de las raíces

Los estudios de raíz se han concentrado mayoritariamente en evaluar y valorar el ciclo planta respecto a la soca o retoño, revelando que las últimas sufren más las condiciones adversas del entorno, generando como respuesta por su ciclo vegetativo más corto raíces más superficiales. Es un hecho comprobado que la masa de raíces muestra una declinación exponencial conforme se profundiza en el suelo; encontrándose la mayoría de las raíces situada en los primeros 2 m superficiales, aunque hay informes de raíces a mayores profundidades. De igual manera pareciera encontrarse mayor volumen de raíz en sistemas de producción en verde con cosecha mecanizada, respecto a los de caña quemada y cortada manualmente.

La distribución en profundidad y la velocidad de crecimiento radicular están íntimamente vinculadas y determinadas por el genotipo, la edad de la planta, las condiciones físico-químicas del

suelo y la disponibilidad hídrica, lo que impide establecer patrones y tendencias de comportamiento virtud de la dinámica, variabilidad y complejidad de los mecanismos implicados. Se ha constatado también que las raíces superficiales son las primeras en desaparecer durante un periodo seco; aunque también son las primeras en renovarse con la llegada de las lluvias o la aplicación de humedad. Existe mucha variabilidad entre los resultados reportados por la investigación sobre el tema, ratificando la dificultad que impone su investigación (Faroni y Ocheuze, 2006; Romero et al., 2015).

La experiencia y la mayoría de los resultados aportados por la investigación revelan que las raíces superficiales se localizan mayoritariamente en los primeros 60 cm de profundidad, su distribución y movimiento es preferiblemente horizontal y se localizan hasta los 2 m de longitud (crecimiento horizontal) o más, lo que depende del ambiente inmediato en particular en torno a la humedad disponible y la textura. Algunas investigaciones reportan encontrar un 75% de la masa radicular en los primeros 20 cm superficiales y el 55% en los 30 cm próximos a la cepa. Las raíces profundas son escasas. Se considera que en general, entre el 80-90% de las raíces operan en los primeros 40-60 cm de profundidad, lo que depende mucho del suelo y la humedad contenida en el mismo.

Cuadro 1. Factores que podrían directa o indirectamente intervenir (\pm) el sistema radicular de la caña de azúcar.

Factor	Elemento	Impacto / Consecuencia
Meteorológico	Lluvia continua y en cantidades elevadas	El anegamiento genera falta de oxígeno (anoxia). Estimula la producción de Etileno que altera a su vez el ABA; restringiendo el crecimiento de las raíces
	Presencia de alta humedad en el suelo	Favorece la presencia de plagas y patógenos en el medio. induce mayor liberación de Óxido Nitroso (N ₂ O)
	Niveles bajos e insuficientes de lluvia	Pueden inducir periodos secos y limitaciones de humedad a la raíz. Provoca Geotropismo negativo que perjudica la productividad
	Condiciones secas prolongadas	El crecimiento y desarrollo de raíces se ve severamente impedido
	Alta temperatura ambiente	El estrés térmico por alta temperatura afecta el metabolismo de la planta
	Baja temperatura ambiente	El estrés térmico por baja temperatura afecta el metabolismo vegetal
	Baja temperatura en el suelo	Constituyen un impedimento al crecimiento normal
	Alta evapotranspiración	Provoca pérdida de humedad, cierre estomático y límites al metabolismo. Lámina foliar se reduce bajando Punto de Compensación y Tasa de Asimilación de CO ₂
	Alta humedad ambiente	Interviene el metabolismo y limita por derivación la actividad radicular
	Baja humedad ambiente	Favorece la evapotranspiración, una mayor Tasa Fotosintética y más raíces
	Viento de alta velocidad (km/hr)	Afecta el metabolismo, promueve cierre estomático y la actividad radicular
	Baja luminosidad	Impacta fotosíntesis y actividad metabólica general de la planta
	Presencia de heladas	Impiden el crecimiento y desarrollo normal de las raíces
Altitud elevada de la localidad	>1.000 msnm reduce crecimiento, afecta filotaxia de hojas retardando su emisión	
Edáficos	Topografía del relieve	Limita y condiciona la posibilidad de adecuar el suelo a las necesidades
	Grado de pendiente dominante	Según su grado favorece erosión y limita mecanización si es alto
	Origen pedogenético del suelo	Las características y propiedades físicas y químicas del suelo vienen definidas y determinadas en alto grado por
	Orden y suborden taxonómico (USDA)	Caracteriza y tipifica los potenciales y también las limitantes del suelo

Físico Suelo	Textura del suelo	Determina la aireación, el movimiento del agua y la actividad radicular
	Cantidad y tipo de arcilla	Además de lo anterior interviene sobre la nutrición y la compactación
	Grado de agregación	Si es limitante afecta la movilidad y la capacidad de penetración de la raíz
	Nivel de compactación	La compactación es una restricción y una limitante extrema para la raíz
	Adhesividad y plasticidad	Determinan la compactación e intervienen en la mecanización y sus efectos
	Grado de aireación (macro y micro poros)	Sin oxigenación adecuada el desarrollo y la actividad radicular no es posible o se torna muy limitada lo que
	Profundidad del perfil	Interviene y define el área de exploración y movilización de las raíces
	Friabilidad del suelo	Determina la resistencia o facilidad al rompimiento de las capas y la penetración
	Profundidad del Nivel Freático	Determina la disponibilidad de humedad; aunque puede ser también negativa
	Movimiento del agua en el suelo	Sin oxigenación ni agua la actividad radicular no es posible
Grado de erosión	Induce pérdida superficial de la capa arable y fértil del suelo creando limitantes	
Químico Suelo	Grado de acidez del medio (pH)	Índices extremos (<5;>8) afectan la estabilidad y actividad de los tejidos celulares
	Saturación de acidez	Valores altos (>1,5 cmol(+)/l) revelan condición y ambiente inconveniente
	Contenido de Al, Fe, Mn, Cu, Na	En alta concentración pueden "quemar" los tejidos. Son restrictivos
	Capacidad de Intercambio Cationico alta	La CICE adecuada debe fluctuar entre 5 y 25 cmol(+)/l favoreciendo el crecimiento
	Contenido de Bases acorde a necesidades	La Suma de Bases adecuada debe fluctuar entre 5 y 25 cmol(+)/l para tener balance
	Contenido de Materia Orgánica (MO)	Favorece la agregación, el aporte nutricional y la actividad microbiana en el suelo
	Relación C/N	Dependiendo de los materiales implicados puede favorecer y promover la mineralización o la inmovilización. Determina el aporte de N. Debe ser < 20
	Contenido nutricional óptimo y balanceado (macro y micronutrientes)	La raíz es la "boca de la planta" y determina en alto grado su estado hídrico y condición nutricional, lo que requiere disponer de salud y nutrición adecuada
	Balance nutricional (cationes, aniones)	Como cualquier ser vivo la raíz requiere gozar de una buena nutrición balanceada
Grado de salinidad	De ser elevado las raíces simplemente no crecen o reducen cantidad y calidad	
Mecánico	Calidad y capacidad de equipo mecánico empleado en labores de manejo y cosecha	De ser inadecuado pueden provocar compactación y deterioro de la estructura del suelo; o en su caso, no cumplir a cabalidad con el objetivo procurado
	Grado de mecanización aplicado	La intensidad baja o alta puede afectar el desarrollo de las raíces al destruir la agregación y favorecer la
	Profundidad de mecanización	En suelos arcillosos o compactados favorece la movilidad de la raíz
Biológico	Fauna y micro fauna presente	Contribuyen con la incorporación y desagregación (aminación) de la MO
	Actividad microbiana prevalectante	Activan y dinamizan el proceso de mineralización y humificación de la MO
Agronómico	Uso de riego	El aporte de humedad crea ambiente favorable al crecimiento superficial de la raíz
	Disposición de drenajes	Evita el acúmulo de agua y la falta de oxigenación y con ello el crecimiento radical
	Corrección y encalamiento del suelo	Corrige y mitiga el efecto detrimental provocado por la acidez del suelo
	Uso de enmiendas	Aportan nutrientes y mejoran condición físico-química del suelo
	Prácticas de conservación del suelo	Evitan y reducen la pérdida de la capa arable y activa del suelo
	Terreno para siembra de la plantación	Define en alto grado el área potencial de movilización y exploración de la raíz
	Semilla y siembra de la plantación	La densidad, el número de yemas, la profundidad (≈5 cm) y la colocación influyen
	Labranza mínima	Mantiene estructura, aporta MO y minimiza deterioro del suelo
	Uso de coberturas	Aportan MO, nutrientes y mejoran la físico-química del suelo
	Empleo de agroquímicos	Según tipo, cantidad, intensidad y forma de uso pueden ser perjudiciales. Pueden sin embargo proteger contra plagas y patógenos del suelo
	Nutrición de la plantación	Aporta nutrientes esenciales. En exceso puede generar perjuicios (antagonismo)
	Manejo de residuos vegetales	Bien operado puede favorecer o en su caso perjudicar ambiente edáfico
Quema en pie de planta durante la cosecha	Induce pérdida orgánica, incorpora sales y puede afectar microflora del suelo	
Requema de residuos en el suelo	Afecta por temperatura actividad microbiana y favorece pérdida orgánica del suelo	
Fitosanitario	Presencia de plagas del suelo	Afectan directamente las raíces (chupadores, cortadores, ácaros)
	Presencia de patógenos del suelo	Afectan directamente las raíces (hongos, bacterias, virus)
	Presencia de fitonemátodos	Representan una de las limitantes más serias al sistema radicular
	Fitosanidad de la semilla	La sanidad del órgano reproductor es básico para asegurar la calidad del producto
Genético	Variedad cultivada	La rusticidad, sensibilidad, potencial productivo, biomasa radicular, adaptación al estrés, control estomático y conservación del agua son inherentes al cultivar
	Calidad de la semilla	Una calidad deficiente incide negativamente sobre el potencial radicular
	Edad de la semilla	Incide sobre la germinación y la capacidad de desarrollo de la raíz. Ideal 6-7 meses
	Origen de la semilla	Debe proceder de semillero y tomarse del tercio superior del tallo, no de la base
	Volumen y tipo de raíces	Viene determinado por la variedad y el ambiente en que se desarrolla
	Formación de Aerénquima	Se forma en exceso de agua, limitando la formación de raíces adventicias

* Según sea la naturaleza, cantidad, intensidad, características, mecanismo y momento de exposición y/o aplicación, el factor involucrado puede inducir que el efecto e impacto sea favorable (sinérgico) o desfavorable (antagónico).

/o en forma interactiva sobre la raíz o el medio en que esta se desarrolla.

En un estudio realizado en Costa Rica, Alfaro y Ocampo (2015) encontraron con 3 repeticiones al evaluar 4 columnas (0-20; 20-40; 40-60 y 60-80 cm) de un suelo del orden Andisol, establecido en estañones plásticos (56 x 90 cm alto) y cultivado con la variedad Mex 79-431, que las raíces se encuentran en los primeros 40 cm al medirla a los 3, 6 y 9 meses de edad en porcentajes del 55,8%, 55,8% y 50,3%, respectivamente. En espesor las raíces variaron según profundidad al clasificarlas en 4 grosores (<1; 1-2; 2-3 y >3 mm), siendo el de 1-2 mm el más constante durante todo el ciclo. A los 3 meses el 33,7% de las raíces se encontró en los primeros 20 cm y el 87,8% fue de grosor menor a 2 mm. La medición de los 6 meses reveló para los mismos indicadores, índices de 34,2% y 38,5%; los cuales a los 9 meses correspondieron a 28,1% y 72,1%, respectivamente. En la sección menor a 20 cm se notó que a los 6 meses las raíces <1 mm se incrementaron respecto a los 3 meses, para luego descender a los 6 meses. Por su parte, las raíces con un grosor entre 1-2 mm se mantuvieron constantes en cantidad, contrario a las que tenían un diámetro entre 2 y 3 mm, las cuales descienden en proporción con el tiempo pasando del 50% a los 3 meses a un 15% a los 9 meses; igual comportamiento se presentó con las raíces de mayor diámetro (>3 mm). Las raíces de grosor >2 mm crecieron con el tiempo. Se encontró correspondencia lineal entre el crecimiento radicular y el foliar hasta los 6 meses, cuando el área foliar sobrepasó el volumen de las raíces, luego de lo cual se dio una merma en el desarrollo foliar. Concluyeron esos investigadores, que los obstáculos (densidad aparente aumentó con el tiempo) que encuentran las raíces en su crecimiento activo en el suelo, generaron una mayor producción de raíces secundarias más finas propensas a generar una mayor absorción de agua y nutrientes.

En plantaciones con riego las raíces se concentran primordialmente en los primeros 20 cm o donde la textura lo permita y la lámina de agua humedezca el suelo. La frecuencia de riego afecta y determina en alto grado la distribución de las raíces en el perfil del suelo; algunas experiencias revelan que conforme el periodo de riego se prolonga el volumen de raíces se incrementa y profundiza más, lo cual se torna extremo entre condiciones de riego y sequía; ratificando con ello el fuerte estímulo que sufre la planta por buscar agua y evitar padecer el estrés hídrico, aún en suelos de textura arcillosa. Thompson (1976) encontró en plantaciones de caña con riego y suelo arcilloso, que las raíces absorbieron agua almacenada a 90 cm de profundidad; mientras que en condiciones irrigadas el suelo

exploro y alcanzó profundidades de 1,20 m. En suelos sin irrigación las raíces profundizaron hasta los 4,0 m, absorbiendo agua hasta los 1,8 m.

Durante el desarrollo vegetativo del cultivo es válido estimar y establecer un interesante patrón de distribución de la masa seca entre la sección aérea y la radicular, el cual varía en función de las condiciones ambientales y la variedad. Alfaro y Ocampo (2015) encontraron que el desarrollo foliar de la caña creció linealmente hasta los 3 meses, pero a partir de los 6 meses disminuyó posiblemente por el mayor crecimiento de los tallos. La Relación Sección Aérea/Raíces medida en peso (g) es muy reveladora del vínculo y relación directa que existe entre ambas secciones, lo cual, al estimarla a partir del resultado anterior, se encuentran valores de 3,14, 3,0 y 2,1 a los 3, 6 y 9 meses, respectivamente. La literatura reporta en cañas de 6 meses de edad deficientes en N, una relación de 1,32, que al contar con N se elevó a 4,0.

¿Qué perjudica y qué favorece a la raíz?

Son numerosos y muy diversos en cuanto a características, magnitud, intensidad, efecto, impacto y consecuencias, los elementos y factores del entorno agro productivo que intervienen, tanto de manera independiente como en interacción, sea afectando o en su caso promoviendo, potenciando y favoreciendo el desarrollo del sistema radicular; motivo por el cual, identificarlos resulta determinante en cualquier pretensión de solución y mejora del ambiente inmediato a la raíz. Genéricamente los factores que influyen de alguna manera el sistema de raíces de la caña pueden agruparse en: a) Meteorológicos, b) Edáficos, c) Físico-químicos, d) Mecánicos, e) Biológicos, f) Agronómicos y de manejo, g) Fitosanitarios y h) Genéticos, entre otros.

En el cuadro 1 se proponen, describen, desagregan y exponen con gran detalle dichos factores de naturaleza biótica y abiótica, expresados y desarticulados en los elementos que en grado variable y con diferente magnitud e intensidad participan e intervienen sobre el sistema radicular de la caña de azúcar; sea estimulándolo y promoviendo en una clara relación sinérgica o, por el contrario, limitándolo y afectándolo en una relación antagónica de efectos detrimentales y consecuencias negativas para la productividad agroindustrial del cultivo.

El intenso tráfico vehicular y de equipos mecánicos que circulan habitualmente por las plantaciones de caña durante las labores

de siembra, manejo y cosecha, provocan una distribución desequilibrada de las cargas sobre el suelo que conducen a la compactación de los horizontes internos, principalmente si hubiese humedad en exceso, reduciendo por restricción física los espacios porosos (macro y micro) ocupados por aire y agua, afectando consecuentemente el crecimiento de raíces y el suministro de agua y nutrientes (Chaves, 2017ab, 2019a). Es definitivo que el factor edáfico es integralmente determinante para optimizar el desarrollo y la actividad del sistema radicular, lo cual, en el caso de Costa Rica se dificulta virtud de la diversidad de tipos de suelo presentes y utilizados, representado por 9 órdenes y 16 subórdenes de acuerdo con la taxonomía USDA que están sembrados con caña de azúcar. Esta situación admite y permite la presencia de restricciones físicas (Vertisoles) y también químicas (Ultisoles, Andisoles, Alfisoles) por prevalencia de condiciones ácidas, presencia de elementos tóxicos, deficiencias y desbalances nutricionales, que marcan diferencias de fondo que se proyectan y manifiestan en los índices de productividad agroindustrial (Chaves, 2017ab, 2019a).

El factor genético y la expresión genotípica de las variedades comerciales marca significativas diferencias entre los sistemas radiculares de la caña de azúcar, lo cual está muy bien documentado. En la práctica se observa que las variedades que generan muchos retoños están dotadas de sistemas radiculares muy profusos, lo cual es consecuencia del aporte individual y agregado de cada nuevo retoño. De igual manera, aquellos clones que mantienen un crecimiento y penetración de raíces más horizontal (menos gravitrópico favoreciendo el crecimiento basípeto de las raíces, que se hundan en el suelo) presentan mayor tolerancia a la sequía, respecto a los de respuesta más gravitrópica. Se considera que las diferencias que manifiestan algunas variedades de tolerancia o sensibilidad a la sequía, es debida en parte a la capacidad de exploración y profundización a que pueden llegar las raíces. Se ha comprobado que en suelos de baja fertilidad y con problemas de humedad la raíz prolifera más, sugiriendo que en esa condición la planta requiere contar con más puntos de absorción respecto a un suelo fértil, donde se puede lograr el mismo suministro con menos raíces y un gasto energético menor; la planta responde a la exigencia y necesidad en este caso, generando más raíces. Es importante dejar claro que no siempre una mayor cantidad de raíces se traduce en mayor rusticidad, pues las variedades pueden diferir en las características anatómicas y fisiológicas internas de las raíces, lo que ha sugerido utilizar el factor anatómico (diámetro del

metaxilema, cortex) como criterio de selección para identificar mayor capacidad de absorción. Los factores genéticos actúan sobre el medio ambiente por medio de las raíces.

En definitiva, cualquier agente, factor o elemento que interfiera y afecte la sección del suelo más próxima a las raíces de la planta constituida por las radículas, conocida como Rizosfera, deteriora la estabilidad y equilibrio general de todo el cultivo, pues esta es la zona donde se desarrollan las relaciones físicas, químicas y microbiológicas que afectan la estructura del suelo y a los organismos (microflora) que conviven en el medio, generando propiedades diferentes no siempre favorables. La Rizosfera normalmente circunda unos cuantos milímetros o algunos centímetros alrededor de la raíz; caracterizándose por el aumento de la biomasa microbiana y el asocio con una población muy grande de microorganismos que ejercen un papel relevante en la absorción de nutrimentos y otros procesos afines. El sistema radicular puede alterar las condiciones químicas del suelo por la excreción de sustancias que causan alteraciones del pH en la Rizosfera.

El clima y el factor edáfico son restricciones y/o estímulos determinantes al sistema de raíces de la caña de azúcar. Como se infiere, la temperatura y la condición de humedad presentes en el suelo constituyen elementos del clima trascendentes para estimular o en su defecto afectar el desarrollo de las raíces; a lo cual deben agregarse la oxigenación como elemento vital y la variedad como factor genético.

¿Cómo podemos contribuir a mejorar el sistema radicular de la caña?

Las opciones de mejoramiento del sistema agro productivo en procura de habilitar, estimular y activar el sistema de raíces de la caña de azúcar son múltiples y muy variados virtud de las características y naturaleza de las limitantes y restricciones que se pretenden potenciar y/o resolver. El empleo de prácticas como son el uso de enmiendas y correctivos de acidez efectivos se torna obligada si se pretende alcanzar productividades competitivas. La selección de materiales e insumos convenientes, el uso de coberturas vegetales y la habilitación de prácticas de manejo agronómico apropiadas en las plantaciones, que favorezcan la incorporación de Materia Orgánica resultan siempre muy oportunas y satisfactorias. La incorporación de nutrimentos esenciales adicionados según necesidades y en cantidades balanceadas, concebidos y operados en programas

apropiados y ajustados estrictamente a las condiciones particulares de cada entorno, es sano y muy contributivo con el objetivo pretendido. Cualquier mejora que se haga al sistema radicular trasciende y se proyecta sobre el brotamiento de las yemas, la formación de cepa, el ahijamiento, el retoñamiento y el crecimiento de los tallos y la planta de caña en general (Chaves, 1988, 1999ab, 2002, 2010, 2017a, 2020c; Matsuoka y Santos, 2015; FAO, 2017, Kiehl, 1985).

De igual manera, reducir al mínimo necesario y permisible el tránsito y paso de maquinaria y equipos mecánicos por el campo, evitan la compactación de áreas importantes de la plantación. Asegurar el suministro de agua en periodos secos y retirar oportunamente los excesos de humedad en periodos de lluvia alta mediante sistemas de drenaje efectivos resultan también muy contributivos a la causa. Implementar medidas de Conservación de Suelos y Buenas Prácticas Agronómicas (BPA), asegurar condiciones que favorezcan la fitosanidad, evitar o minimizar la quema de la plantación en pie y eliminar la requema de residuos vegetales en el suelo son muy valiosas para el ambiente donde se desarrolla la planta, y con ello, para el sistema radicular, pues impiden el deterioro y afectación de la actividad biológica en el suelo.

La preparación del terreno y la siembra de la plantación son fases determinantes para potenciar un desarrollo radicular robusto, sano, dotado con un área de exploración (horizontal y vertical) amplio, que permita asegurar el suministro de agua y nutrientes en periodos secos y cuando las condiciones del entorno son adversas (figura 2). Las actividades de acondicionamiento del suelo para colocar la semilla merecen especial atención y cuidado, pues en principio y dependiendo del tipo de sustrato, se debe aflojar el mismo en una profundidad conveniente que aseguren aireación, lixiviación y percolación del agua, lo que condiciona la actividad radicular. En suelos pesados (Vertisoles) la descompactación previa a la siembra resulta esencial; lo que aplica para todos los suelos sobre todo cuando se renuevan plantaciones viejas. En suelos poco profundos (Ultisoles, Entisoles) se debe tener sumo cuidado con el laboreo mecánico, evitando eliminar la escasa capa arable existente sea por nivelación, uso de arados o rastras pesadas de discos; esto se torna de máximo cuidado en áreas onduladas o de lomerío.



Figura 2. Sistema de raíces de la caña de azúcar, variedad Mex 79-431. Fuente: DIECA, 1999

La calidad y sanidad de la semilla por utilizar debe ser máxima, sin daños mecánicos o físicos ocasionados por plagas o patógenos, asegurando que proviene de una plantación de semillero y no de una comercial, cuenta con la edad deseada (6-7 meses), procede del tercio superior del tallo, está fresca, hidratada y el esqueje sembrado consta de tres yemas, nunca el tallo completo para evitar problemas de germinación por efecto de la dominancia apical (auxina). Lo ideal es que la semilla provenga de semilleros originados a partir de plantaciones establecidas con plántulas generadas por Cultivo de Tejidos *in vitro* que asegure calidad y sanidad. Es recomendable de ser viable que la semilla reciba tratamiento hidrotérmico previo, por medio del cual la misma es sometida a un periodo de inmersión en agua caliente de 51°C por 60 minutos, contados a partir del momento en que el agua alcanzó temperatura estable. También se emplean periodos de 20 minutos a 52°C. En el caso de variedades sensibles al calor se deben tratar a temperaturas mayores (máximo 53°C) por 30 minutos. La semilla debe taparse con una capa de 5-6 cm de suelo. En caña soca se deben realizar labores de subsolado (profundidades de 0,4-1,0 m) periódicamente y el paso de rastra de cinceles que favorezcan la ruptura profunda y el escarificado superficial del terreno, respectivamente. La práctica de desaporcar y aporcar la plantación (30-45 días) es muy propicia como lo demuestra la experiencia del campo, pues se induce y provoca un estímulo al crecimiento de las raíces.

En materia de agroquímicos (herbicidas, insecticidas, nematicidas, acaricidas, fertilizantes, adyuvantes) se deben evitar los excesos o la impericia en la selección y empleo de los

productos y materias requeridas, pues un mal uso puede ser más perjudicial que el problema que se pretende resolver. Hay que asegurar y conocer sobre ingrediente activo, dosis, oportunidad de uso, equipos de aplicación y protección, condiciones ambientales, calibración del equipo, preparación de la mezcla, sinergias y antagonismo de productos, coadyuvantes, aplicación del producto en el campo, etc.

Conclusión

Una valoración objetiva y realista de la condición actual con proyección futura del desarrollo y evolución del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica, vislumbra con mucha aproximación y certeza la posibilidad de que las condiciones del clima se tornen difíciles y contraproducentes para el bienestar de la agroindustria. Si a lo anterior agregamos las condiciones variables y heterogéneas en que se ubican las plantaciones comerciales de caña en el territorio nacional, dominada por un entorno agro productivo con presencia de serias limitantes edafoclimáticas, se constata la necesidad de orientar los esfuerzos hacia la atención de esas necesidades.

Hasta el momento, vale reconocer que en materia tecnológica y de investigación en el cultivo de la caña de azúcar mucho bueno se ha logrado en el país, lo cual ha permitido con los resultados logrados, resolver, potenciar y elucidar diversos aspectos con relación a la funcionalidad y la dinámica del desarrollo de la planta de caña; pese a lo cual, resulta necesario, imperativo e insoslayable en las actuales circunstancias de profundos cambios climáticos, ahondar en el estudio del sistema radicular y sus relaciones con el desarrollo de la sección aérea de la planta. El sistema radicular de la planta cobra en este particular especial atención, relevancia y prioridad, lo cual resulta aún más perentorio y decisivo si consideramos la poca investigación y conocimiento que se tiene sobre esta sección de la planta.

No cabe la menor duda en reconocer entonces que los estudios sobre el desarrollo y la distribución de las raíces en el suelo son de gran valor práctico, pues están muy relacionados con la selección de variedades, la ejecución de prácticas habituales de manejo agronómico; también con el aprovechamiento y optimización de los recursos y las acciones orientadas a potenciar elevar los niveles de productividad agroindustrial, lo cual adquiere relevancia pragmática si consideramos que el sistema radicular de la caña se concentra en los primeros 40 cm de

profundidad, por lo que resulta razonable realizar estudios en esa dirección.

El conocimiento del sistema radicular de la caña de azúcar y la dinámica de su desarrollo en el suelo, proporcionan y aportan elementos valiosos y muy utilitarios para comprender y orientar con buen suceso las técnicas de manejo del cultivo, en procura de lograr optimizar los limitados recursos disponibles y aprovechar el potencial de producción inherente a las variedades sembradas comercialmente en el país.

Literatura citada

- Alfaro, R.; Chaves, M. 1999. *Observaciones sobre la capacidad de extracción y agotamiento nutricional de un Ultisol cultivado con caña de azúcar*. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: *Recursos Naturales y Producción Animal*. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 36. También en: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 153. También en: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 84.
- Alfaro Portuguese, R.; Ocampo Chinchilla, R. 2015. *Evaluación del sistema radicular en tres periodos del desarrollo de la caña*. En: Congreso Tecnológico DIECA 2015, 6, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 20 y 21 de agosto del 2015. 12 p.
- Bacchi, O.O.S. 1983. *Botânica da cana-de-açúcar*. En: Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. José Orlando Filho (Coordenador). Piracicaba, São Paulo, Brasil. IAA/PLANALSUCAR. p: 25-37.
- Chaves Solera, M.A. 1988. *Efeito de Relações Ca:Mg, utilizando Carbonatos e Sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana-de-açúcar*. Tesis Magister Scientiae. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 186 p.

- Chaves, M. 1999a. *La práctica del encalado de los suelos cañeros en Costa Rica*. En: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 216-223.
- Chaves Solera, M. 1999b. *El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- Chaves Solera, M. 2002. *Corrección de suelos ácidos para cultivar caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio. 8 p.
- Chaves Solera, M. 2010. *Dinámica del Nitrógeno en el suelo y la planta de caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 57 láminas.
- 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, 2017a. 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. 2018. *Genética aplicada a la mejora de las plantaciones comerciales de caña de caña de azúcar*. En: Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 43 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. *Humedad y compactación de suelos en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(6): 4-6, junio-julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. *Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019c. *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. 2019d. *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. 2020a. *Implicaciones del clima en la calidad de la materia prima caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(1): 5-12, enero.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. *Atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar para enfrentar el cambio climático*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 5-14, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. *Participación del clima en la degradación y mineralización de la materia orgánica: aplicación a la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 6-17, junio.
- Dillewijn, C. Van. 1952. *Botany of Sugarcane*. Chronica Botánica Co. Waltham, Mass. Trad. Español Instituto del libro. La Habana, Cuba. 460 p.
- FAO. 2017. *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 90 p.
- Faroni, C.E.; Ocheuze T., P.C. 2006. *Cuantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar*. Pesquisa agropecuária bras., Brasília 41(6): 1007-1013, jun.
- Kiehl, E.J. 1985. *Fertilizantes Orgânicos*. Piracicaba, São Paulo, Brasil; Editora Agronômica "Ceres" Ltda. 492 p.
- Matsuoka, S.; Santos, E.G.D. 2015. *Ecofisiologia da brotação e desenvolvimento da cana-de-açúcar*. Em: Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. Fabio Cesar da Silva, Bruno

José Rodríguez Alves, Pedro Luiz de Freitas, editores técnicos.
Brasilia, DF: EMBRAPA. p:190-221.

Romero, J.L.; Correa, R.; Sosa, F.A.; Sotomayor, C.; Morandini, M.;
Aranda, N.; Sanzano, G.A. 2015. *Estudios del Sistema
Radicular de la Caña de Azúcar en Tucumán. Método de la
Pared de Perfil*. Avance Agroindustrial 36(1): 14-20, EEAOC.

Subirós Ruíz, F. 1995. *El Cultivo de la Caña de Azúcar*. 1ed. San
José, Costa Rica: EUNED. p: 17-36.

Thompson, G.D. 1976. *Water use by sugar cane*. South African
Journal 60: 627-635.

Vasconcellos, A.C.M.; Casagrande, A.A. 2008. *Fisiologia do
Sistema Radicular*. Em: *Cana-de-açúcar*. Eds. Leila Luci Miranda;
Antonio Carlos Machado de Vasconcellos; Marcos Guimarães de
Andrade Landell. Campinas, São Paulo: Instituto Agrônômico. p:
79-97.

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