

Periodo 03 de octubre al 16 de octubre 2022

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE LA QUINCENA DEL 19 DE SETIEMBRE AL 02 DE OCTUBRE

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) con el apoyo del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar de LAICA (DIECA-LAICA), presenta el boletín agroclimático para caña de azúcar.

En este se incorpora el análisis del tiempo, pronósticos, notas técnicas y recomendaciones con el objetivo de guiar al productor cañero hacia una agricultura climáticamente inteligente.

En la figura 1 se puede observar, a partir de datos preliminares de 104 estaciones meteorológicas, el acumulado quincenal de lluvias sobre el territorio nacional.

Los promedios de lluvia acumulada a nivel diario varían según la región azucarera. Se tuvieron valores acumulados de lluvia diaria entre 7-41 mm, excepto los días sin lluvia (2) en la **Región Guanacaste Este**; por su parte **Guanacaste Oeste** registra entre 1-27 mm; al tiempo que **Región Norte** reporta entre 4-44 mm, excepto los días sin lluvia (2). La **Región Puntarenas** presento entre 1-25 mm. La **Región Sur** muestra lluvias entre 4-38 mm, excepto el día 25 (75 mm) y los días sin lluvia (1 y 2); en cambio la **Región Turrialba** acumula lluvias entre 5-44 mm, excepto los días sin lluvia (20, 23, 24, 28 y 2); mientras la **Región Valle Central** evidencia entre 2-50 mm, excepto los días sin lluvia (2). Donde se asume un día con lluvia si iguala o supera 1 mm.

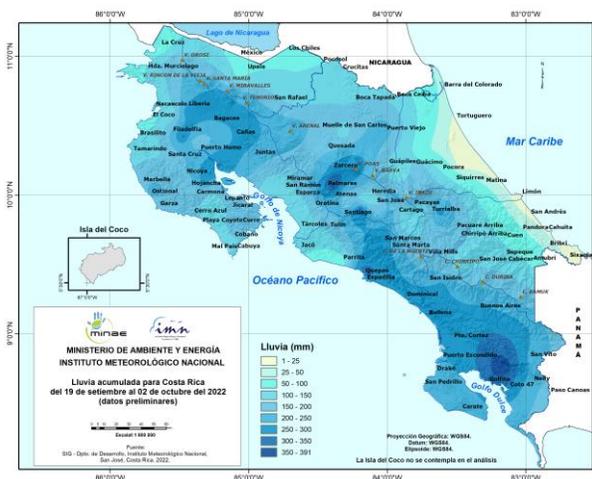


Figura 1. Valores acumulados de la precipitación (mm) durante la quincena 19 de setiembre al 02 de octubre del 2022.

PRONÓSTICO PARA LAS REGIONES CAÑERAS DEL 03 AL 09 DE OCTUBRE

De la figura 2 a la figura 8, se muestran los valores diarios pronosticados de las variables lluvia (mm), velocidad del viento (km/h) y temperaturas extremas (°C) para las regiones azucareras. La **Región Norte** mantendrá humedad media hasta el sábado seguida de humedad alta; así como viento del Este hasta el sábado seguido de viento del Oeste; además de la madrugada cada vez más frescas entre martes y sábado. La **Región Guanacaste (Este y Oeste)** mantendrá humedad baja-media hasta el jueves, seguido de humedad media hasta el viernes y seguida de humedad alta; viento del Este; con madrugadas más cálidas entre miércoles y viernes. En la **Región Sur** se espera contenido de humedad media hasta el jueves, seguida de humedad alta; además de viento variable (Este-Oeste); así como tardes más frescas el fin de semana. El **Valle Central (Este y Oeste)** tendrá contenido de humedad media-alta; mostrando viento del Este hasta el sábado seguido de viento del Oeste; con madrugadas cada vez más cálidas entre miércoles y domingo.

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

BOLETÍN AGROCLIMÁTICO CAÑA DE AZÚCAR

Octubre 2022 - Volumen 4 – Número 20

Para la **Región Turrialba (Alta y Baja)** se prevé humedad media hasta el viernes, seguido de humedad alta; además de viento del Este hasta el viernes, seguido de viento del Oeste; con las tardes más frescas el fin de semana. La **Región Puntarenas** mantendrá humedad media hasta el jueves, seguida de humedad alta; con viento variable (Este-Oeste); y tardes cada vez más frescas.

“La onda tropical #41 mantiene probabilidad del 40% de convertirse en Tormenta Tropical en los próximos 5 días, tras ingresar al Mar Caribe, según el Centro Nacional de Huracanes (NOAA); por lo que podría afectar de forma indirecta durante el fin de semana. Sin presencia significativa de polvo Sahariano en la semana.”

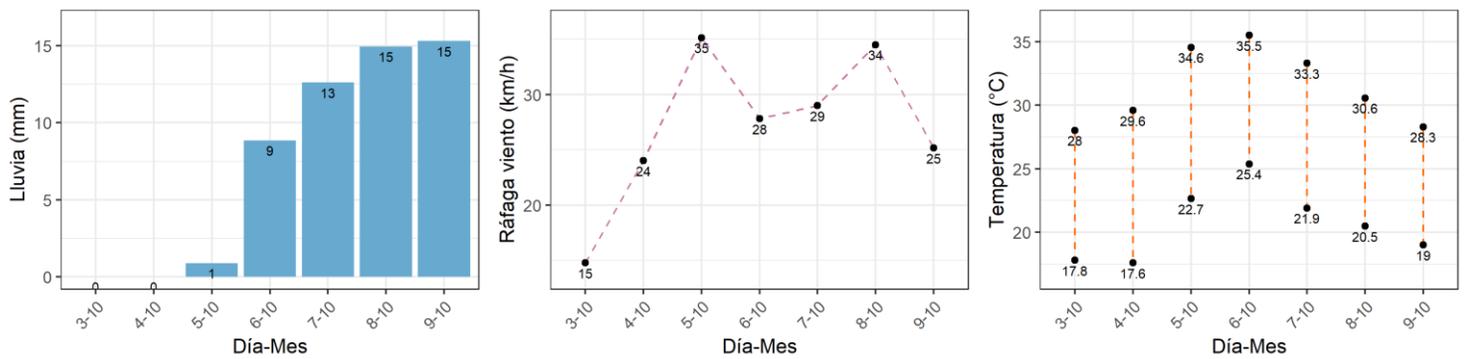


Figura 2. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 03 al 09 de octubre en la región cañera Guanacaste Este.

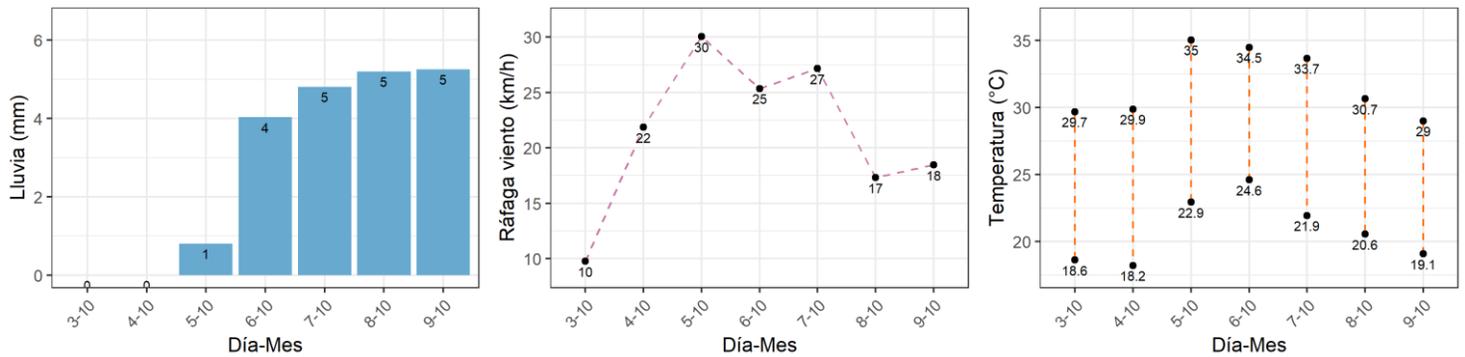


Figura 3. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 03 al 09 de octubre en la región cañera Guanacaste Oeste.

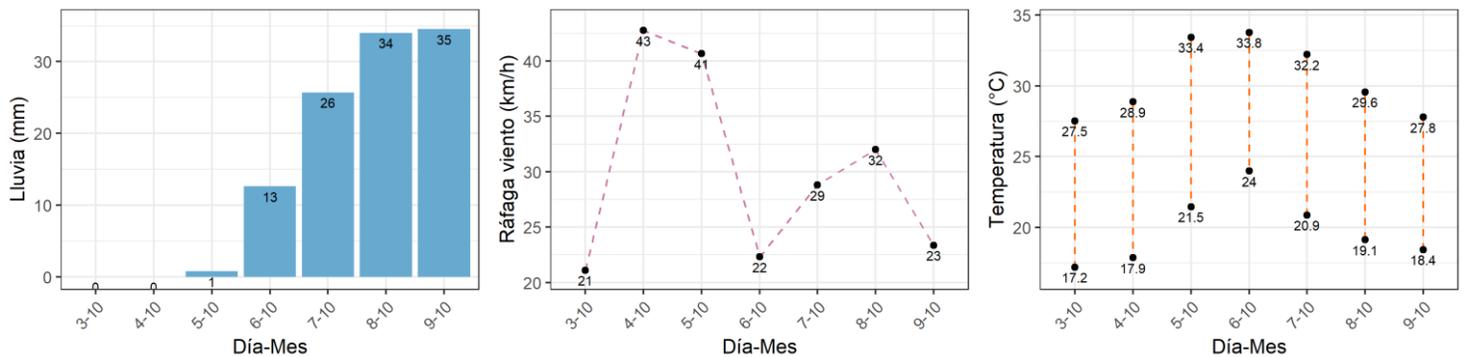


Figura 4. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 03 al 09 de octubre en la región cañera Puntarenas.

Octubre 2022 - Volumen 4 – Número 20

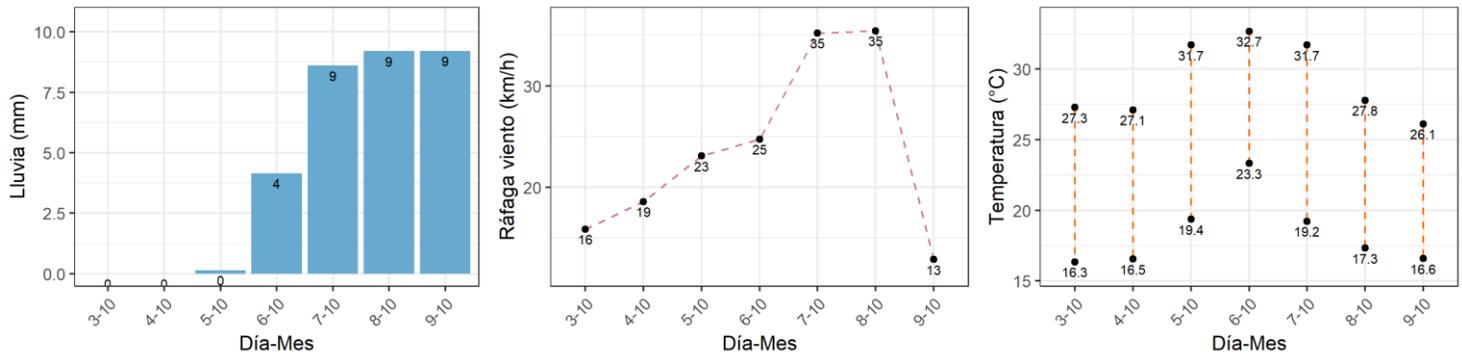


Figura 5. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 03 al 09 de octubre en la región cañera Región Norte.

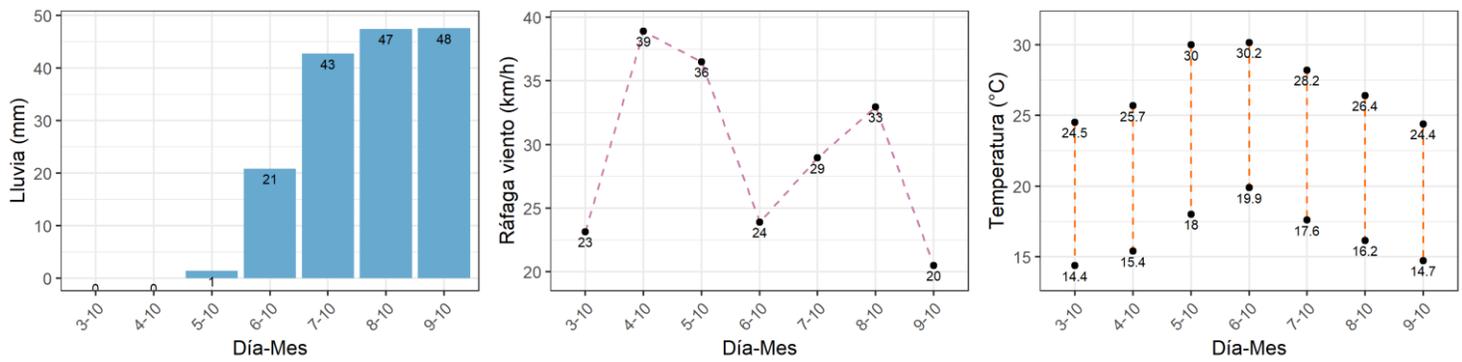


Figura 6. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 03 al 09 de octubre en la región cañera Valle Central (Este y Oeste).

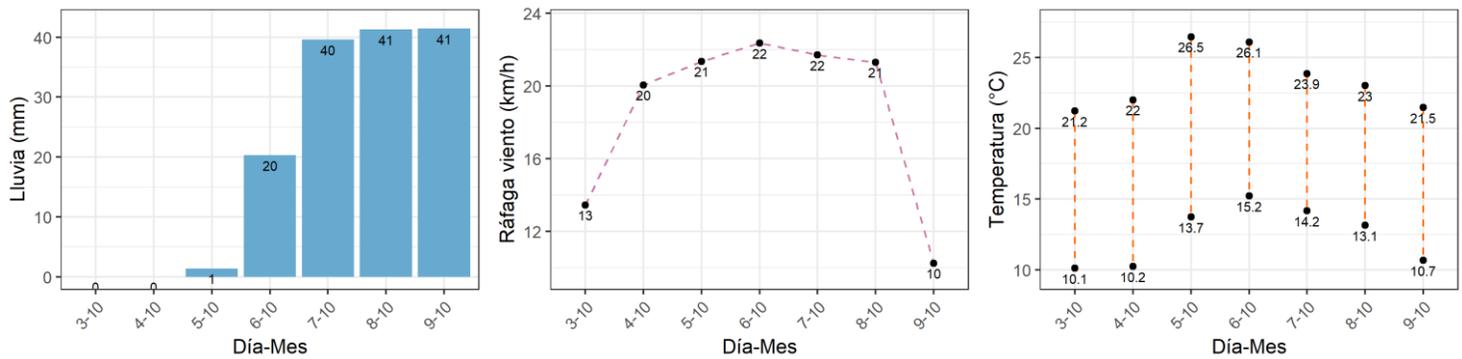


Figura 7. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 03 al 09 de octubre en la región cañera Turrialba (Alta y Baja).

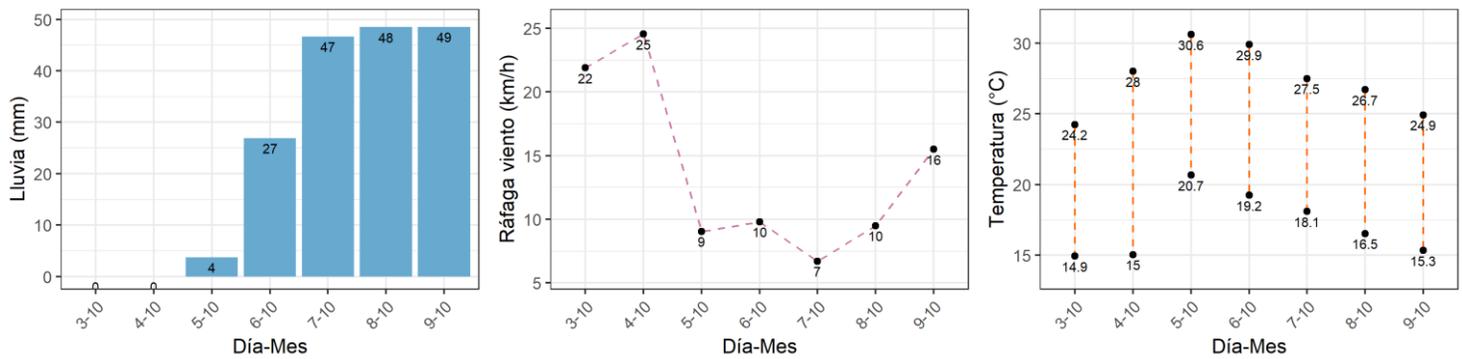


Figura 8. Pronóstico de precipitación (mm), viento (km/h) y temperatura (°C) del 03 al 09 de octubre en la región cañera Región Sur.

Octubre 2022 - Volumen 4 – Número 20

TENDENCIA PARA EL PERIODO DEL 10 AL 16 DE OCTUBRE

No se prevé el tránsito de ondas tropicales en la semana, excepto la #41 que puede afectar ya sea en la semana previa o la actual, según la evolución del sistema. Se incluye un pronóstico diario de lunes a miércoles y una perspectiva de la semana completa para cada región productiva cañera. La **región Huetar Norte** tendrá humedad alta y viento variable (Este-Oeste); con la madrugada del lunes más fresca que martes-miércoles; en tanto la semana completa condiciones levemente más lluvias de lo normal, con dominancia de viento del Oeste y temperatura media normal. La **Región Chorotega (Este y Oeste)** mantendrá humedad alta y viento variable (Este-Oeste); con la tarde del miércoles como la más fresca; en tanto la semana completa evidenciará más lluvias de lo normal, con dominancia de viento del Oeste y temperatura media levemente más fresca de lo normal. En la **Región Sur** evidenciará condiciones de humedad alta con viento variable (Este-Oeste); con tardes más frescas lunes y martes respecto al miércoles; en tanto la semana completa evidenciará más lluvias de lo normal, con dominancia de viento del Oeste y temperatura media normal. La **Región Valle Central (Este y Oeste)** mostrará humedad alta y viento variable (Este-Oeste); con la madrugada más fresca el lunes respecto a martes-miércoles; en tanto la semana completa presentará condiciones levemente más lluvias de lo normal, con dominancia de viento del Oeste y temperatura media normal. La **Región Turrialba (Alta y Baja)** presentará humedad alta, viento variable (Este-Oeste) y madrugadas más cálidas martes-miércoles respecto al lunes; en tanto la semana completa mantendrá condiciones levemente más lluvias de lo normal, con dominancia de viento del Oeste y temperatura media normal. La **Región Puntarenas** mostrará humedad alta, así como viento variable (Este-Oeste) y madrugadas cada vez más cálidas entre lunes-miércoles; en tanto la semana completa presentará más lluvias de lo normal, con dominancia de viento del Oeste y temperatura media levemente más fresca de lo normal.

HUMEDAD DEL SUELO ACTUAL PARA REGIONES CAÑERAS

De acuerdo con Central America Flash Flood Guidance System (CAFFG), el cual estima la humedad en los primeros 30 cm de suelo, en el periodo del 26 de setiembre al 02 de octubre se presentaron condiciones de alta saturación en la mayoría de las regiones cañeras, solamente las Regiones Valle Central Este, Valle Central Oeste y la Región Turrialba se tuvo bajos porcentajes de humedad; a partir del 1° de octubre se incrementó la saturación en todas las regiones.

Como se observa en la figura 09, la Región Guanacaste Oeste tiene entre 45% y 90%, la Región Guanacaste Este presenta entre 45% y 75%, la Región Puntarenas está entre 45% y 60%, tanto la Región Valle Central Oeste como la Región Valle Central Este están entre 45% y 75%.

La Región Norte presenta entre 30% y 100%, la Región Turrialba Alta (> 1000 m.s.n.m.) tiene entre 30% y 90%, la Región Turrialba Baja (600-900 m.s.n.m.) está entre 30% y 60%. La Región Sur varía entre 15% y 90% de humedad.

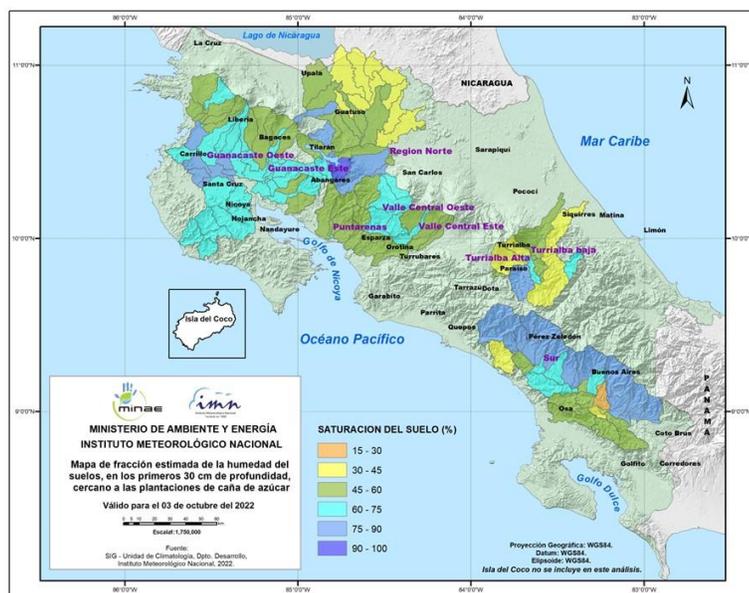


Figura 09. Mapa de fracción estimada de la humedad en porcentaje (%), en los primeros 30 cm de profundidad, cercano a las plantaciones de caña de azúcar, válido para el 03 de octubre del 2022.

LAICA Y EL IMN LE RECOMIENDAN

Mantenerse informado con los avisos emitidos por el IMN en:

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

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

NOTA TÉCNICA

Sistemas agrícolas de producción de caña de azúcar en Costa Rica: primera aproximación

Marco A. Chaves Solera ¹

Una de las actividades que con mayor constancia, perseverancia y continuidad ha mantenido activa el ser humano a través de su historia y evolución social, económica y tecnológica, ha sido su actitud y disposición permanente por ordenar, organizar y clasificar las cosas, no apenas aquellas importantes y trascendentes, sino aún hasta las más triviales y ordinarias; lo cual le ha permitido y deparado con el tiempo poder medir, comparar y generar conocimiento sobre las mismas procurando su control y manejo ágil y dinámico para su propio beneficio. Dicha actitud tiene como fundamento primario la identificación, tipificación y clasificación por medio de propiedades, atributos, características, indicadores y comportamientos de diferente naturaleza propios y particulares de cada asunto o entorno, sea éste de origen biótico o en su caso abiótico.

La agricultura y por ende el cultivo de la caña de azúcar no han estado exentos para nada de esta manifestación tan humana, tan importante y que tanto provecho le ha generado a la humanidad y en lo específico a la agricultura y la agroindustria cañero-azucarera; pues de diferente manera, la actividad productiva se ha visto beneficiada de esa necesidad de ordenar y contextualizar las cosas, en este caso atinentes al cultivo y la actividad agroindustrial vinculada con la misma. La razón y necesidad de ordenar y clasificar busca en lo esencial medir, comparar, interpretar y proyectar comportamientos con fundamento en tendencias basadas en antecedentes válidos y representativos. Se busca en lo pragmático “conocer el futuro con base en lo recabado en el pasado”; así como también “explicar y juzgar razonablemente con buena aproximación el pasado y lo actuado”, lo que requiere

inexcusablemente contar con información representativa y de muy alta calidad.

Acontece, sin embargo, que una actividad empresarial y productiva tan amplia y dispersa geográficamente y territorialmente en el país, compleja en lo biológico, agrónomicamente rica en labores y actividades orientadas al manejo rentable productivo competitivo del cultivo y muy sensible en cuanto a la incidencia y el efecto provocado por los elementos edafoclimáticos; obligan sin excusa atender con solvencia la imperiosa necesidad de contar con un conocimiento profundo sobre su comportamiento y tendencias. Como se ha comentado en diversas oportunidades y foros, en los tiempos actuales resulta obligado para cualquier actividad empresarial o para cualquier productor serio y eficiente que pretenda ser competitivo, no exclusivamente en el campo agrícola, mantener acceso y proximidad con la información de carácter edáfica, climática, meteorológica, tecnológica y comercial; por cuanto geográficamente Costa Rica se ubica en una zona tropical donde los factores vinculados a los mismos resultan altamente volátiles y modificables en periodos cortos de tiempo, como la realidad del día a día lo tiene bien demostrado.

Como apuntara Chaves (2020) específicamente en relación a la importancia y necesidad de incorporar la climatología como instrumento estratégico de administración agro empresarial, “Las empresas modernas, eficientes y visionarias dedican en la actualidad esfuerzo y recursos para disponer de información climática de calidad en tiempo real, que les permita la toma de decisiones oportuna y proyectista; los otros, simplemente se quedarán viendo para el cielo a

¹ Especialista cultivo de la Caña de Azúcar. Ingeniero Agrónomo. Correo: chavessolera@gmail.com

ver cómo están las nubes y posteriormente a cuantificar los daños e impactos recibidos por falta de preparación y previsión.”

El siempre procurado, ansiado, deseado y anhelado esfuerzo por procurar incrementar y maximizar los rendimientos agrícola e industrial en el caso de la caña de azúcar, como también en otros cultivos y actividades pecuarias, no depende únicamente del tamaño de la finca (hectáreas), tampoco del hecho de disponer de un buen clima o contar con suelos fértiles y capital de trabajo, pues el indicador está supeditado a la influencia e intervención de muchos otros factores y elementos de diversa naturaleza actuando en interacción (sinérgica y antagónica). Es definitivo que solo esa variable técnico-económica requiere de la consideración de una gama muy amplia de aspectos de gestión de la tierra que participan de su definición y materialización en el campo.

Para lograr incrementar, maximizar, potenciar, optimizar, o en caso contrario, mitigar, reducir o eliminar el efecto e impacto de una determinada variable, elemento o factor, cualquiera sea su naturaleza, biótica o abiótica; es imperativo y obligado en primera instancia conocerla en cuanto a sus características, atributos, constitución y propiedades, pues caso contrario se actúa a ciegas de manera mediática y con muy bajas posibilidades y probabilidades de éxito en concretar el objetivo pretendido. Es por esta razón que resulta necesario recabar, organizar, validar, analizar e interpretar correctamente información de muy alta calidad que permita generar inferencias y conclusiones representativas y certeras sobre el asunto, indicador o variable analizada.

Acontece, sin embargo, que disponer oportunamente de la información necesaria no basta apenas con medir variables como erróneamente se cree, pues hay otros valores asociados que aportan mucho crédito a las inferencias que éstas puedan generar virtud de que contextualizan, dan trazabilidad y revelan el origen de los datos. Es por este motivo que un indicador como por ejemplo el rendimiento agrícola dado como el promedio de toneladas de caña cosechadas en una hectárea de terreno, por si solo resulta valioso y revelador; sin embargo, si además cuenta con información adicional importante como variedad sembrada, fertilización aplicada, edad y método de cosecha, condiciones del clima prevalecientes, tipo y calidad del suelo en cuanto a fertilidad, manejo agronómico del cultivo, entre otros, le aportan mucho más valor al juzgamiento, inferencias generadas y la interpretación que se realice de los mismos.

Es en esta circunstancia donde procurar organizar, conjuntar y agrupar la información bajo un criterio aceptado resulta de gran valor puesto

que puede aportar intrínsecamente información certera que contextualiza un dato; por ejemplo, citar un determinado orden taxonómico de suelo (*Vertisol*, *Andisol*, etc.) reúne íntimamente muchas características que lo tipifican, aún sin tener que medirlas en el campo; igual acontece con un régimen de humedad (*Ústico*, *Ácuico*) en el suelo. Esta razón y circunstancia ofrece la oportunidad de generar criterios de valoración que provoquen un efecto similar de ahorro de recursos, agilidad y ganancia de tiempo valioso, conocimiento experto y facilidad de interpretación, entre otros. Por este motivo, el presente documento tiene por objetivo identificar, comentar y proponer como primera aproximación, algunos elementos básicos que contribuyan y coadyuven a organizar, agrupar, contextualizar y visualizar la agricultura cañera por Sistemas Agroproductivos similares, como precursor para la futura zonificación agroecológica y productiva del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica.

¿Qué es un sistema de producción agrícola?

Un Sistema de Producción Agrícola se refiere a los elementos existentes y disponibles debidamente identificados, organizados, ordenados, relacionados y que interactúan entre sí para buscar satisfacer un objetivo común; en este caso producir caña de azúcar. Un Sistema Agroproductivo involucra equipos mecánicos, personas, tecnologías, materiales e insumos, e incluso hasta elementos del entorno de índole edáfico, climático y biótico como son las variedades, plagas y patógenos. El sistema de producción contextualiza una estructura y forma particular de producir que facilita y agiliza la descripción, la ejecución y explicación del proceso de producción de caña en el campo. El sistema homogeniza los factores y elementos involucrados con la producción.

El conjunto de factores y elementos conformado por la familia, sus recursos, los flujos de recursos y las interacciones que se dan a nivel de finca se denomina y reconoce de acuerdo con Dixon *et al* (2001), como “**sistema agrícola**”. Es claro que, por ser abierto y expuesto al entorno, su funcionamiento puede ser y estar influenciado en gran medida por factores externos, como son los de índole biótico y abiótico como el clima, el suelo, el cultivo y la fitosanidad (malezas, plagas y enfermedades); pero también por las políticas públicas, las instituciones, las organizaciones, los mercados y los vínculos de información existentes. De esta manera, el enfoque de los sistemas agrícolas reconoce la existencia del componente político, institucional, comercial y de procesos encadenados o no; además del tradicional rol de la tecnología y demás componentes naturales asociados con la producción. Esos y otros factores tienen implicaciones directas e

indirectas para con la eficiencia, la rentabilidad y la sostenibilidad de un determinado sistema de producción agrícola, demostrando con ello cómo ciertos aspectos operan como dinamizadores de la producción y la productividad, como son la propiedad de la tierra, la variabilidad de las precipitaciones, el grado de tecnología incorporado, el manejo prestado al cultivo, la productividad alcanzada y los ingresos de la agricultura, los cuales afectan la competitividad y sostenibilidad final del proyecto o emprendimiento empresarial.

De esta manera, es comprensible entender que un sistema agrícola pueda definirse como una población o agrupamiento de fincas o unidades productivas individuales que presentan y mantienen alguna semejanza y similitud en cuanto a los recursos disponibles, modalidades empresariales implementadas, manejo de recursos en el campo, modos de vida desarrollados en el hogar, problemas, limitantes y dificultades prevalecientes, entre otras; para cuya solución será necesario y recomendable la incorporación de estrategias e intervenciones de desarrollo muy similares como lo apuntaron los mismos autores. Es imperativo reconocer la necesidad de ajustar y adaptar las intervenciones orientadas a promover y favorecer el desarrollo y la mejora productiva, social y económica, al tipo de agricultura particular operado en cada región y localidad a un sistema.

El enfoque de sistemas agrícolas es relativamente nuevo pues surgió en los años setenta y desde entonces la visión del desarrollo económico se modificó radicalmente hasta adquirir un carácter más genérico y global. El tema central del enfoque de los sistemas agrícolas ha sufrido con el tiempo ajustes y modificaciones centrando algunos de sus esfuerzos en la extensión de los servicios técnicos en favor de las fincas con producción en pequeña escala. Por otra parte, algunos autores abogan por que los elementos socioeconómicos de los sistemas agrícolas reciban mayor atención y tratamiento, a juzgar por el objetivo procurado consistente en mejorar los modos de vida y aumentar la seguridad alimentaria. No hay duda que los instrumentos analíticos van adquiriendo un carácter cada vez más participativo e inclusivo con visión social, otorgando mayor relevancia e importancia a los conocimientos locales, la organización, la planificación de grupo y el seguimiento continuo, entre otros.

Gracias a la categorización de los distintos tipos de sistemas agroproductivos existentes en una misma región, entre regiones y zonas diferentes, el enfoque de sistemas admite y facilita poder orientar, alinear y ajustar los esfuerzos y las intervenciones promotoras del desarrollo de manera más acertada y efectiva a como se hacía en el pasado, pues permite:

- a) A los participantes reducir o compartir los riesgos
- b) Aprovechar eficientemente los recursos disponibles
- c) Solucionar con mayor facilidad y equidad los conflictos relacionados con la distribución de los recursos mientras aseguran una sostenibilidad a largo plazo del limitado patrimonio de recursos naturales.

Virtud de sus razonables, lógicas y entendibles diferencias prevalecientes, acontece que en los distintos sistemas agrícolas convergen, intervienen e influyen factores de muy diversa naturaleza, que obligan tener que diseñar y elaborar categorías temáticas generales y prescribir un conjunto flexible de posibles factores y elementos influyentes; reconociendo con ello la variabilidad y heterogeneidad existente dentro de esas categorías. Algunos de los factores que caracterizan, tipifican y determinan un sistema agrícola, son entre otros los siguientes:

- A. **Los recursos naturales y el clima:** la insoslayable y frecuente relación e interacción que se da entre los recursos naturales, el clima y la población constituye la base de cualquier sistema de producción agrícola. Es evidente que los cambios climáticos mundiales han incrementado de manera notable el grado de inseguridad alimentaria al afectar la agricultura; con lo cual se agrava considerablemente el nivel de riesgo y modo de vida de muchas familias, lo cual se traduce en la intensificación de la producción y en una consiguiente carga ambiental adicional que afecta los ecosistemas. Esta realidad ha provocado una desmesurada sobreexplotación de las tierras boscosas con afectación de los ecosistemas naturales, poniendo en peligro la biodiversidad de muchas regiones en las que se realizan actividades agropecuarias. En tiempos recientes se viene intentando con resultados positivos, romper el ciclo acelerado de degradación del medio ambiente, cambio climático e inseguridad alimentaria generado (o inducido) por causas naturales y antropogénicas, principalmente climáticas, mediante el reconocimiento de la interdependencia prevaleciente entre ambos factores; en vez de considerar que se excluyen mutuamente.
- B. **Ciencia y tecnología:** en los últimos decenios las inversiones aplicadas en promover la ciencia y la tecnología en el campo agropecuario se han incrementado con rapidez. Los nuevos enfoques basados en el desarrollo rural integrado y en los sistemas agrícolas han estimulado la adopción de métodos científicos y un mayor uso de las tecnologías en el sector agrícola para tratar de superar el problema de la pobreza rural. No obstante, los pequeños agricultores carentes de recursos y condiciones de las

zonas marginales han recibido escasos beneficios de esas inversiones. Existen muy pocas investigaciones en tecnología integrada dirigidas a diversificar los sistemas de producción y los modos de vida de los pequeños agricultores, elevar sus rendimientos y aumentar la sostenibilidad y competitividad de las actividades de aprovechamiento de la tierra.

C. Liberalización del comercio y desarrollo del mercado: como es conocido, en los años ochenta el Fondo Monetario Internacional (FMI) y el Banco Mundial impulsaron la ejecución de “Programas de Ajuste Estructural” en muchos países en vías de desarrollo, entre ellos Costa Rica, que en el corto plazo casi nunca lograron asegurar la prestación de servicios adecuados para las pequeñas explotaciones marginales, ya que los bienes públicos se fueron sistemáticamente privatizando con rapidez y el gobierno dejó de intervenir, dejando casi a la libre sus obligaciones en desventaja de los grupos de pequeños agricultores, sobre todo los carentes de organización. Dicha liberalización del comercio se fundamentó en la falsa premisa y creencia de que abriría indefectiblemente nuevas y mejores posibilidades de mercado a los agricultores rurales, ya que provocaría una mayor competitividad, redundando con el tiempo en un mayor bienestar para los pequeños agricultores y sus familias en zonas marginales; lo cual como sabemos no ha sido tan cierto como se propaló y aseguró por parte de los políticos de turno, con algunas pocas excepciones. Muchos han quedado en el camino pues es claro que las fuerzas de mercado externas han tenido un enorme impacto en los modos de vida de la población rural pobre.

D. Políticas, instituciones y bienes públicos: los dinámicos desplazamientos acontecidos en la escena internacional y nacional, hacia la descentralización de los gobiernos y la privatización de los servicios públicos, han modificado y alterado de manera sustantiva el orden y disminuido las posibilidades de los grupos productivos más pequeños y carentes de recursos. Es un hecho constatable que la marginalización de los segmentos de pequeños agricultores y los hogares encabezados por mujeres sigue agravándose debido a que el sector privado fortalecido no ha sustituido con eficacia los servicios que anteriormente brindaba el Estado y, por lo general, la sociedad civil no ha logrado subsanar estas deficiencias. No hay duda de que los cambios de política tienen un efecto detrimental en los incentivos a la producción en el ámbito de los sistemas agrícolas.

E. La información, capacitación y educación del capital humano: la imperativa necesidad y exigencia de mejorar la información, capacitación y educación para realzar el capital humano del agro ha sido un hecho reconocido y hasta reclamado por todos, pero

sin embargo paradójicamente desatendido y casi abandonado. Actualmente, en su mayoría, los grupos de pequeños agricultores rurales son desatendidos por los servicios públicos de extensión agrícola.

Una valoración ampliada y más detallada de los elementos anteriores se presenta en el documento intitulado “*Problemas y limitantes que condicionan y obstaculizan la gestión del productor independiente de caña de azúcar en Costa Rica: valoración e interpretación en el tiempo*”, formulado por Chaves (2022h), donde se puntualizan y comentan algunos de los numerosos obstáculos que tiene actualmente el productor de caña de azúcar en Costa Rica, particularmente un segmento importante de los pequeños productores, para desarrollar de manera fácil y eficiente su labor en el campo. El tema es importante de conocer para actuar, virtud de representar hechos reales que sin lugar a duda se convierten en verdaderos problemas y limitantes para el empresario productor. Adicionalmente Chaves (2022ge) complementa la misma visión, pero orientada y aplicada en este caso al campo tecnológico en su publicación “*Retos tecnológicos de la agroindustria azucarera costarricense en procura de lograr la ecoeficiencia y la eco-competitividad comercial.*”

Con lo anterior queda demostrado que no basta con tener condiciones edáficas y climáticas favorables, disponer de tecnología de punta y contar con recursos de capital para ser eficiente y competitivo en el negocio del azúcar, pues existen otros elementos determinantes que también intervienen de manera concluyente. Es necesario conjuntar, integrar, articular y operar factores y elementos del entorno como sistema para alcanzar a satisfacer a cabalidad esa deseada meta agroempresarial.

De acuerdo con Dixon *et al* (2001), los sistemas agrícolas pueden clasificarse en ocho categorías generales, en función del clima, los recursos, etc. de que dispongan los agricultores de una determinada región, como son:

- 1) sistemas agrícolas de regadío
- 2) sistemas agrícolas basados en el arroz acuático
- 3) sistemas agrícolas de secano en zonas húmedas de elevado potencial de recursos
- 4) sistemas agrícolas de secano en las estepas y tierras altas
- 5) sistemas agrícolas de secano en zonas secas o frías de potencial bajo
- 6) sistemas agrícolas duales (combinación de grandes explotaciones comerciales y de pequeñas fincas)

- 7) sistemas de pesca artesanal costera y
- 8) sistemas agrícolas urbanos, basados por lo general en la horticultura y la producción ganadera.

En el caso particular de la caña de azúcar es posible encontrar en Costa Rica los sistemas de producción mencionados en los puntos N° 1, 3, 5 y 6; lo cual sin embargo presenta también otros condicionantes de acuerdo con la realidad del cultivo en los diferentes y muy variables entornos de producción nacional, lo que debe ser revisado y ajustado al contexto costarricense como se expondrá más adelante.

Complementariamente, se tiene que el enfoque de los sistemas agrícolas considera y toma en cuenta las diversas estrategias a las que pueden recurrir los pequeños agricultores para ser eficientes, competitivos y procurar salir de la pobreza; de los cuales Dixon *et al* (2001) mencionan los cinco anotados seguidamente:

- a) Intensificación de los sistemas de producción existentes
- b) Diversificación de la producción y la elaboración
- c) Ampliación de la finca o del rebaño
- d) Aumento de los ingresos no agrícolas y
- e) Abandono completo del sector agrícola dentro de un sistema agrícola específico.

Como se infiere esas opciones son aplicadas y encontradas también en la agricultura cañera costarricense, inclusive lamentablemente la última, como es el abandono y salida definitiva de la actividad productiva y hasta del sector, ante la dificultad que presenta hacer agricultura hoy día, como es perceptible en todas las regiones productoras de caña del país. Los registros son claros en la pérdida social y participativa de base productiva.

Sistemas de producción nacional

En la agricultura cañera nacional están identificados varios sistemas de producción interactuando simultáneamente de manera diferencial en varias regiones y localidades productoras que pueden ser perfectamente descritos e inclusive caracterizados y hasta tipificados virtud de su frecuencia e importancia, como es el caso de los siguientes 14 escenarios potenciales:

- 1) Sistema mecanizado (preparación de terreno, siembra, manejo y cosecha) de producción
- 2) Sistema de producción semi-mecanizado (preparación de terreno, siembra, manejo y cosecha)

- 3) Sistema agroproductivo de manejo manual y con uso de tracción animal
- 4) Sistema de producción con riego
- 5) Sistema de producción en condición de secano (sin riego)
- 6) Sistema de producción desarrollado en condiciones de alta humedad
- 7) Sistema de producción operado en condiciones de pendiente (ladera)
- 8) Sistema de producción con cosecha de plantaciones en verde
- 9) Sistema de producción en plantaciones de ciclo bianual en áreas superiores a 1.000 msnm
- 10) Sistema productivo con uso intensivo de tecnología
- 11) Sistema productivo con uso de bajos insumos
- 12) Sistema de producción de caña orgánica
- 13) Sistema de producción con empleo de labranza mínima
- 14) Sistema de producción con incorporación de tecnología NAMA

En el Cuadro 1 y las Figuras de 1 a 5 adjuntas se exponen y describen sumariamente los 14 sistemas identificados y mencionados anteriormente con base en sus características, propiedades y particularidades más notorias que los tipifican, las cuales pueden presentar modificaciones de intensidad, presencia y cobertura entre regiones y localidades. Los sistemas de producción agrícola de caña de azúcar por principio no son absolutos ni irrestrictos en su conformación, lo que da lugar y posibilidad de encontrar variaciones en la presencia y manifestación de sus elementos estructurales.



Figura 1. Sistemas de producción mecanizado, semimecanizado y manual, respectivamente.



Figura 2. Sistema de producción con riego, en seco, alta humedad y ladera.



Figura 3. Sistema de producción con manejo verde, ciclo bianual y con alta tecnología.



Figura 4. Sistemas de producción con bajos insumos, orgánico y labranza mínima.



Figura 5. Sistema de producción con incorporación de tecnología NAMA.

Cuadro 1. Caracterización de los principales (14) Sistemas de Producción Agrícola de caña de azúcar existentes comercialmente en Costa Rica.

Nº	Sistema de Producción	Características / Particularidades
1	Mecanizado	Uso intensivo de equipos mecánicos y maquinaria en la realización de las principales labores de preparación del suelo (arada, rastrea, nivelación, subsolada, surcada, tapado), siembra, manejo (desaporca, aporca, escarificado, aplicación agroquímicos) y cosecha (corta, carga, transporte) de plantaciones. Implica contar con condiciones adecuadas de clima, topografía, capital, área de terreno, entre otras. En Guanacaste, Pacífico Central, algunos Ingenios y plantaciones de gran tamaño operan bajo este sistema; zonas altas (>1.000 msnm) se ven muy limitadas por topografía. Los costos asociados (inversión, mantenimiento, operación) son elevados al igual que productividad esperada es alta. Puede haber impacto ambiental importante por mal uso o excesos del equipo (Chaves 2020fg). El empleo de mano de obra se reduce y la dinámica de las actividades se dinamiza y eficientiza significativamente.
2	Semi mecanizado	Algunas, no todas, las labores vinculadas con la preparación de suelos, siembra, manejo y cosecha de plantaciones se realiza utilizando equipo mecánico; otras se ejecutan de forma manual o con uso de fuerza animal. La mecanización es menos intensa por motivos de capital disponible, costos, topografía, clima, área de terreno, etc. El sistema es por su versatilidad de amplio uso en el país con mayor énfasis en preparación de terrenos y siembra. Implica mayor empleo de mano de obra.
3	Manual y con uso de tracción animal	Las labores de campo son realizadas mayoritariamente de forma manual y/o con uso de tracción animal. Limitaciones de clima, topografía, económicas, tamaño de la unidad productiva, interés y capacidad impiden disponer y emplear equipo mecánico. Hay uso intensivo de mano de obra. Los costos de producción son altos y la productividad de baja a media. Impacto ambiental menor. Muy usado en el país principalmente entre pequeños y medianos agricultores.
4	Producción con riego	El uso del agua constituye un factor vital de la producción virtud de su imperiosa y obligada necesidad para condiciones climáticas adversas o insuficientes. Utiliza métodos por gravedad (ventana), aspersión y goteo en menor grado. Es común en Guanacaste, Pacífico Central y Valle Central; otras regiones lo utilizan en semilleros. Implica tecnología e inversiones importantes y algún uso intensivo de mano de obra. Niveles de productividad y rentabilidad son elevados. Interacciona con los sistemas N° 1, 2, 10 y 14.
5	Producción en condición de seco	Carece de sistema de riego instalado pese a requerir por condiciones climáticas de agua. Depende de las lluvias. Limitaciones principalmente económicas y tecnológicas impiden su implementación. Plantaciones de Guanacaste y Pacífico Central, principalmente, sufren severas condiciones de estrés hídrico, térmico y eólicas (Chaves 2020ac). La productividad y la rentabilidad se ven significativamente afectadas e impactadas negativamente. La expectativa productiva es baja y muy limitada. Sistema es agravado por la condición ambiental de "Niño".
6	Desarrollado en condiciones de alta humedad	Condiciones climáticas adversas por alta precipitación (mm), humedad ambiente (%) y de saturación edáfica (%) provocan afectación fisiológica y fitosanitaria (plagas, patógenos, malezas) con fuerte impacto productivo y económico (Cadet 2019; Montero et al 2020). Encharcamiento e inundaciones son comunes (Chaves 2011, 2019ac, 2020b). Obliga implementar onerosas medidas de drenaje y manejo de plantaciones. Eficiencia productiva limitada asociada con altos costos. Incertidumbre por clima es muy alta. Este sistema de producción se encuentra en Zona Norte (San Carlos, Los Chiles), Zona Atlántica (Turrialba, Jiménez) y en algún grado en Zona Sur (Pérez Zeledón, Buenos Aires). Agravado por condición ambiental de "Niña". Circunstancialmente puede afectar con impactos importantes Guanacaste y el Pacífico Central en periodos muy lluviosos.
7	Operado en condiciones de pendiente (ladera)	Localidades cañeras de Cartago (Jiménez, Turrialba, Cervantes) y Valle Central (Grecia, Sarchí, San Ramón, Atenas) mantienen plantaciones en condiciones de pendiente que tipifican como "ladera", que limitan el uso de maquinaria, requiriendo por ello labor manual o empleo de tracción animal que lo torna ineficiente y oneroso (Chaves y Alvarado 1994; Chaves 2020fgi, 2021b). Sistema ha perdido presencia y aplicación en el país, ubicándose en condiciones de área muy limitadas.
8	Cosecha de plantaciones en verde	Por conciencia ambiental, razones urbanísticas, económicas, condiciones climáticas u otros motivos, se decide desarrollar un manejo muy "biológico y cultural" de las plantaciones, que no es estrictamente orgánico, pero si apegado a criterios dogmáticos, conservacionistas y comerciales. Uso restringido de agroquímicos, no uso de la quema en la cosecha, labores preferentemente manuales con uso intenso de mano de obra y tracción animal. Rentabilidad y grado de productividad restringido. Este sistema opera apenas en casos muy particulares y circunstanciales.
9	Plantaciones de ciclo bianual (> 1.000 msnm)	Opera en zonas altas (>1.000 msnm) de Cartago (Juan Viñas, Cervantes) y Valle Central (Grecia, San Ramón, Sarchí) con ciclos vegetativos de 16 a 24 meses (bianuales) de germinación a cosecha (planta-soca). Las características de las variedades de caña sembradas (por lo general Hawaianas sigla H) implica incorporar un manejo agronómico diferente. Por altitud el relieve es por lo general quebrado, con alta humedad, nubosidad, problemas fitosanitarios y alto tonelaje que lo diferencia del ciclo tradicional de 12 meses. Uso de maquinaria es limitado aunque no ausente. Hay uso intensivo de mano de obra y altos costos de producción.
10	Con uso intensivo de tecnología	Corresponde a sistemas de producción modernos con uso intensivo de maquinaria, agua, agroquímicos, tecnologías de punta implementadas mediante técnicas asociadas a la "agricultura de sitio o precisión" (Agricultura 4.0). Implica altas inversiones y costos aunque el nivel de productividad agroindustrial y rentabilidad es alto y competitivo. Algunos pocas unidades productivas en el país, especialmente Ingenios, califican en este selecto grupo sea por razones tecnológicas o de productividad generada. Se asocia en algún grado con los sistemas N° 1 y 4.
11	Con uso de bajos insumos	Asociado más a condiciones de producción marginal y de subsistencia (sistemas mixtos), agricultura familiar, carencia de capital, falta de inversión, poco o ningún desarrollo tecnológico, siembra de variedades tradicionales ya superadas y hasta desinterés del agricultor por invertir (Chaves 2020fg, 2021b). Grado de productividad agrícola e industrial y de rentabilidad muy bajos. Se produce caña por necesidad, tradición o procurar "sacar algún beneficio sin invertir nada o muy poco". Podría en alguna circunstancia muy especial confundirse por conciencia ambiental con el sistema N° 8 y hasta el N° 12.
12	Producción de caña orgánica	Condición especial asociada a criterios estrictos de manejo condicionados por Certificaciones de Calidad aplicadas al sistema de producción y/o el producto final. Implica regulación y/o eliminación de agroquímicos, quema para cosecha, mecanización de labores, estímulo a las relaciones sociales y laborales; además de otros criterios comerciales ligados directamente a la trazabilidad del producto final. El empleo de bioinsumos, coberturas verdes, abonos orgánicos, prácticas de conservación, manejo de residuos (compostaje) y estímulo a la microbiología del suelo son prioritarios. Puede asociarse con los Sistemas N° 4, 8 y 10 y circunstancialmente con N° 11 y 13. Hay experiencias interesantes en el país desarrolladas en Zona Norte, Valle Central, Zona Sur y Juan Viñas. Iniciativa cambiante en intensidad, consistencia y continuidad; asociado más a la producción primaria (caña) que al producto fabricado (azúcar). Alta expectativa para tiempos futuros por demanda de los consumidores por alimentos más sanos.
13	Con empleo de labranza mínima	Restringido a condiciones de producción marginal por falta de recursos tecnológicos y capital, operado por conciencia ambiental y de conservación del suelo y su microbiología, en condiciones con fuertes limitaciones para mecanizar, condiciones climáticas adversas, características del producto deseado, etc. (Chaves 2020g). Aplica básicamente en la preparación y manejo del suelo; emplea fuerza animal. De muy bajo costo. De muy escasa operación en el país.
14	Con incorporación de tecnología NAMA	Sistema moderno pronto a operar en el país como parte de la estrategia ambiental-comercial de producción de "azúcar baja en emisiones de Gases de Efecto Invernadero-GEI", conocida como NAMA (Chaves 2022d). Implica incorporar cambios y ajustes profundos al sistema para mitigar y reducir emisiones GEI (N ₂ O, CH ₄ , CO ₂) generadas en fertilización nitrogenada, uso de enmiendas al suelo, consumo de combustibles fósiles y quema de biomasa; esto, incrementando complementariamente el nivel de productividad agroindustrial del cultivo (Chaves 2018, 2021dc, 2022cd). Los emprendimientos iniciarán operación en 2023 en todo el país, escalando las áreas con el tiempo con apoyo sectorial y Estatal.

Nota: La ejecución de una práctica o labor no es absoluta pues existen situaciones y condiciones donde pueden darse complementos entre sistemas. Se anota una frecuencia mayor.

Las diferencias entre regiones, zonas y localidades productoras es alta y manifiesta, como señalaran Chaves (2017ab; 2019d; 2020lm; 2021a; 2022ab) y Chaves et al (2018).

El Cuadro 2 presenta por su parte el resultado de un ejercicio de aproximación geográfica aplicado sobre las regiones productoras de caña donde se estima pueden ubicarse y encontrarse con mayor

probabilidad y énfasis, cada uno de los 14 sistemas de manejo propuestos y que se considera con buen criterio técnico existen y están actualmente operando en Costa Rica en grado variable; excepto el

sistema con tecnología NAMA que se espera según proyecciones, inicie operaciones en el 2023. Debe considerarse igual que en el caso de los sistemas y para efectos de interpretación y juzgamiento, que en todas las regiones pueden existir actividades consecuentes con una

determinada modalidad, aunque desarrollada en muy baja frecuencia e impacto que la torna irrelevante. El resultado revela una presencia diferenciada de sistemas agroproductivos entre zonas y regiones.

Cuadro 2. Ubicación geográfica aproximada de los Sistemas de Producción Agrícola de caña de azúcar en Costa Rica.

Nº	Sistema de Producción	Guanacaste	Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte	Turrialba	Zona Sur
1	Mecanizado	X	X		X		
2	Semi-mecanizado	X	X	X	X	X	X
3	Manual y con uso de tracción animal			X	X	X	X
4	Producción con riego	X	X	X			
5	Producción en secano	X	X	X	X	X	X
6	Desarrollado en condiciones de alta humedad				X	X	X
7	Operado en condiciones de pendiente (ladera)			X		X	X
8	Cosecha de plantaciones en verde	X	X	X	X	X	X
9	Plantaciones de ciclo bianual (> 1.000 msnm)			X		X	
10	Con uso intensivo de tecnología	X	X		X		
11	Con uso de bajos insumos	X		X	X	X	X
12	Producción de caña orgánica	X		X	X	X	X
13	Con empleo de labranza mínima			X	X	X	X
14	Incorporando tecnología NAMA	X	X	X	X	X	X

Nota: Existen situaciones y condiciones donde hay complemento de sistemas. Se anota en el presente caso apenas una frecuencia mayor.

Una revisión objetiva y detallada de lo actuado y existente en el campo en materia técnico-productiva revela y comprueba con relativa facilidad, que hay en la práctica agrícola nacional grandes diferencias entre regiones productoras de caña en el país, que conllevan a la conformación de sistemas agroproductivos muy particulares como lo revelan Weiss (2002), Angulo *et al* (2020), Barrantes y Chaves (2020), Calderón y Chaves (2020), Vargas *et al* (2020) y Chaves y Barquero (2020). Las variaciones no son solo de orden físico, geográfico, territorial y edafoclimático, sino también tecnológico y social.

De igual forma se dan relaciones de interacción y complemento entre los mismos, lo que posibilita y obliga al empleo y aprovechamiento de algunos factores clave y primarios para su correcta lectura e interpretación. Como es entendible, algunos de esos sistemas se emplean en el país de manera aislada y con muy baja intensidad y frecuencia. **El ejercicio de tipificación de los sistemas de producción de caña de azúcar prevaletentes y dominantes en Costa Rica debe ser necesariamente desarrollado como primer eslabón para pretender generar y diseñar una estrategia de zonificación agroecológica realista,**

objetiva y representativa para el cultivo; de lo contrario, cualquier esfuerzo será parcial, incompleto e insuficiente.

Formular y contextualizar un sistema agroproductivo de caña de azúcar implica necesariamente operar y seguir protocolariamente varios pasos sucesivos que conllevan a su diseño de la forma más objetiva y representativa; el cual estará inevitablemente constituido y tipificado básicamente por la forma en que se estructure, opere y maneje el cultivo en sus diferentes actividades, prácticas y labores de campo, por cuanto como ha sido amplia y suficientemente demostrado “*el azúcar se hace en el campo y extrae en la fábrica*” (Chaves 2020k).

En esta importante y trascendente labor de identificación y contextualización el **Ciclo Vegetativo del Cultivo** adquiere relevancia principal, virtud de que involucra las diferentes etapas fenológicas sucesivas que conlleva el desarrollo de la plantación en el campo, las cuales incluyen eventos fisiológicos, metabólicos, hormonales, diferenciación y multiplicación de tejidos, entre otros (Chaves 2020d).

Como apuntara con gran detalle Chaves (2019b) en torno al tema:

“Genéricamente, el ciclo vegetativo de la caña de azúcar se ha establecido en cuatro fases o etapas sucesivas que independientemente de su duración, deben cumplirse como parte del ciclo vital natural. En este sentido cabe señalar que en Costa Rica la caña de azúcar se cosecha comercialmente entre 11 y 24 meses de edad, lo que viene influenciado y determinado por la altitud (msnm), el clima, la variedad, longevidad (caña planta o retoño) y el manejo de la plantación, entre otros. Entre mayor altitud más prolongado se torna el ciclo vegetativo, por lo cual, sobre los 1.000 msnm los mismos son bianuales variando entre 18 y 24 meses desde germinación hasta cosecha.”

Menciona el mismo autor que la caña de azúcar posee definidas y concertadas genéricamente cuatro fases fenológicas del cultivo dentro de su ciclo de cultivo, a saber: **1) germinación, emergencia y brotación de las yemas, 2) formación de macolla e ahijamiento hasta cierre de la plantación, 3) crecimiento acelerado “boom” del cultivo y 4) maduración y concentración de sacarosa en los tallos.** Otros autores establecen y fijan por comodidad el ciclo en apenas tres fases, integrando la 1) y la 2). El conocimiento de estas etapas permitirá y facilitará la planificación armonizada y concertada de las diferentes labores del cultivo involucradas en la producción de caña de azúcar en el campo en un sistema.

Todas esas actividades en principio de contenido biológico pueden y deben asociarse al momento de tipificar un sistema de producción de caña con otras de índole abiótico que también marcan pauta en dicha labor; a partir de lo cual se integran acciones relacionadas con el establecimiento, germinación, ahijamiento, amacollamiento, crecimiento rápido, maduración y cosecha de la plantación, como se describe a continuación:

A. Fase de establecimiento: corresponde a la iniciación del crecimiento de tejidos dado a partir del brotamiento y emergencia de plántulas de las yemas presentes en la semilla sembrada por medio de esquejes, proceso denominado germinación, el cual es influenciado por la humedad, la temperatura y aireación del suelo. Otros factores propios del material vegetativo también inciden como son la humedad del esqueje, la condición de la yema, la época del año, la forma y profundidad de cultivo y las características fisicoquímicas del suelo (Chaves 2020e). La germinación y emergencia puede tener de acuerdo con el entorno donde se ubique el plantío una duración de 30 a 60 días o más en zonas de altura (>1.000 msnm) o variedades de lenta gestación. En

lo pragmático en esta fase se ejecutan labores determinantes para el éxito productivo y empresarial asociadas con la preparación y acondicionamiento del terreno para siembra, que involucra labores como levantamiento topográfico, definición de lotes y caminos de acceso, destroncada, descepado, arada, rastrea, nivelación, surcada y tapado de semilla, entre otras; cuya ejecución puede ser manual, mecánica o con el uso de tracción animal. También la labranza mínima cobra relevancia en esta fase. Aquí se define la conformación, estructura y disposición de la plantación en el campo, que luego será manejada agrónomicamente siguiendo las recomendaciones particulares y específicas para el lugar, por lo cual esta fase es en definitiva muy atinente al tipo particular de sistema productivo incorporado.

- B. Fase de amacollamiento, ahijamiento y crecimiento vegetativo:** El amacollamiento y el ahijamiento asociados al crecimiento vegetativo inicial de la biomasa, corresponden a procesos de ramificación subterránea múltiple originado a partir de las articulaciones nodales del tallo primario, proporcionándole al cultivo un número de hojas activas adecuado para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Se ha encontrado que factores como la variedad de caña sembrada, el espaciamiento físico, la luz, la temperatura, el riego, las características fisicoquímicas del suelo, el desarrollo del sistema radical y las prácticas de fertilización afectan el ahijamiento e iniciación del cultivo. Aquí labores como la nutrición, el uso de bioinsumos, las coberturas verdes, el control de malezas, la fitosanidad, el riego y drenaje, desaporca y aporca y el escarificado cobran enorme relevancia (Chaves 2020eij). Este proceso se estima puede durar entre 50 y 100 días. Señala Chaves (2020d) con relación a esta fase vegetativa, que *“...se distingue por la formación de “macolla” donde se concentran las plántulas emergentes del conjunto de yemas; es importante pues define inicialmente la cantidad de biomasa (población de tallos) y con ello en principio el tonelaje futuro. Hay elongación inicial de tallos. Ocurre un aumento significativo del Índice de Área Foliar (IAF), favoreciendo el cierre del cañaver. Su final se ubica con el cierre de la plantación cuando las plantas de los surcos alternos se contactan y el espacio entre los mismos se obstruye, lo que obviamente depende del distanciamiento de siembra empleado (1,40-1,80 m), la modalidad de siembra (surco paralelo, doble, escalera), la variedad cultivada y las condiciones ambientales del lugar (suelo, agua, luz, temperatura, nutrimentos, etc.), lo que puede ocurrir entre los 4 y 6 meses.”*
- C. Fase de crecimiento rápido:** se caracteriza por el incremento acelerado de la biomasa, la definición y consolidación del número,

elongación y engrosamiento de entrenudos de los tallos industrializables recolectados durante la cosecha (toneladas). Aquí se establece el acúmulo sistemático de materia verde y seca que define en alto grado el tonelaje final esperado de la plantación. En esta etapa es fundamental disponer de humedad óptima para acompañar y sustentar el buen desarrollo del sistema radical que favorezca la absorción de nutrimentos y de soporte físico al cultivo (Chaves 2020j). Los tallos presentan un crecimiento rápido con la formación de 4 o 5 nudos por mes, acompañados por un incremento significativo de hojas y cogollo. Entre los factores que pueden favorecer una mayor elongación de la caña se encuentran la presencia de condiciones climáticas de alta radiación, temperatura y humedad elevadas, lo que obliga mantener sistemas de drenaje efectivos. El impedimento físico de ingreso a las plantaciones incita al uso de Drones. La duración de esta fase se establece entre 180 y 230 días. En referencia a esta fase señala Chaves (2020d), que *“Es reconocida como “Período de Gran Crecimiento”. En los entrenudos que van completando su desarrollo se inicia el almacenamiento de azúcar. En esta fase se dan incrementos notables en altura y peso fresco (kg) de los tallos, la ampliación del área foliar y acontece una alta mortalidad por competencia en la población de tallos, determinando en parte el rendimiento agrícola final medido en toneladas métricas de caña. La floración marca el final de esta fase. El IAF en esta etapa varía entre 8-12 hojas verdes/tallo. Puede tener una duración de 5-6 meses.”*

D. Fase de maduración: La maduración es un mecanismo natural fundamentalmente fisiológico y metabólico mediante el cual la planta de caña reduce y suspende su crecimiento y comienza a almacenar y acumular en el tallo la energía generada en forma de sacarosa (Chaves 2020d). El proceso puede ocurrir en un periodo comprendido que dura entre 60 y 120 días según condiciones. Se da en forma creciente de la base hacia el ápice, razón por la cual la sección basal contiene más azúcares con relación a la superior. Las condiciones óptimas para la maduración son: poca lluvia y humedad en el suelo, abundante luminosidad y una elevada variación diaria de la temperatura (mínima-máxima) con preferencia a nocturnas muy bajas. Por esta razón el contenido de humedad en el suelo debe ser reducido, lo que incluye el riego. Esta fase inicia dos o tres meses antes de la cosecha teórica (por edad) del cultivo, aunque varía con el ciclo. Expresa Chaves (2020d) que esta fase *“...final es determinante pues define el*

contenido final de sacarosa concentrada en los tallos y la producción de azúcar obtenida por unidad de área (t/ha). Se mide en términos de rendimiento industrial por los kilogramos de sacarosa recuperada en la materia prima procesada en la fábrica (kg/t). Erróneamente se nombra como de “maduración” aunque la caña por no ser un fruto no madura, solo acumula y concentra sacarosa, por lo cual esa acepción es más comercial que fisiológica. Su ocurrencia se relaciona con una reducción progresiva en el ritmo de elongación de los entrenudos del tallo y disminución paulatina del área foliar fotosintéticamente activa; puede ocurrir volcamiento de tallos. Las variedades constituyen un factor intrínseco determinante en esta fase, existiendo diferencias significativas entre ellas (tiempo, homogeneidad y estabilidad para máxima concentración), lo que repercute en la producción final de azúcar. En teoría la maduración inicia y se acentúa entre 60 y 90 días previos a la corta esperada de la planta, siendo incrementada artificialmente mediante el uso de madurantes (herbicidas y no herbicidas) aplicados 45 días antes de cosechar.”

E. Fase de cosecha: Su importancia, aunque de menor incidencia biológica y fuera del contexto biótico del Ciclo Vegetativo natural de la planta, radica en que posee un fuerte, determinante y trascendente vínculo con el éxito final de todo el esfuerzo del productor-empresario, pues todo lo ganado puede perderse aquí en pocas horas. Esta fase de fondo técnico-administrativo se coloca para coadyuvar a los fines pretendidos por el impacto que incorpora en el sistema productivo si la labor en los campos agrícola e industrial no se realiza con la calidad, agilidad y en los tiempos permisibles. La fase tiene que ver con la forma en que se maneje la materia prima cosechada en el campo en cuanto a corta, carga, transporte y procesamiento en el Ingenio. La decisión de quemar o no, la posibilidad de cortar, cargar y transportar en forma mecánica (sin que la caña toque el suelo) es también determinante en la calidad del producto final; sin embargo, son los tiempos implicados lo que más impacta y afecta negativamente la calidad industrial de la materia prima cosechada, pues lo deseable es que el todo el proceso se realice en el término de las primeras 24 horas con un máximo de 48 horas luego de cortada. Tiempos y procesos ineficientes favorecen la contaminación bacteriana provocada por *Dextranas*, la inversión de azúcares y la fermentación de la materia prima reduciendo significativamente la calidad de esta (Chaves 2019f). Es por esta razón que la forma y el equipo empleado determina en mucho esa eficiencia.

Cuadro 3. Contextualización de las variables que determinan el tipo de Sistema de Producción empleado en el cultivo de la caña de azúcar aplicado a Costa Rica, según fase del ciclo vegetativo.

N°	Actividad / Labor	Fases de la plantación				
		Establecimiento	Amacollamiento, ahijamiento y crecimiento	Crecimiento rápido	Maduración	Cosecha
1	Limpieza y Descepado de Terreno	X				
2	Levantamiento Topográfico	X				
3	Arada Mecánica (pesada, liviana)	X				
4	Rastrea Mecánica	X				
5	Nivelación Mecánica	X				
6	Subsolado mecánico	X	X			
7	Surcado Mecánico	X	X			
8	Siembra Manual	X				
9	siembra Mecánica	X				
10	Tapado de Semilla	X				
11	Labranza Mínima	X	X			
12	Siembra en Contorno	X	X			
13	Uso de Tracción Animal	X	X			
14	Corrección de Suelos	X	X			
15	Fertilización Orgánica	X	X			
16	Fertilización Mineral	X	X			
17	Fertilización Foliar	X	X			
18	Uso de Abonos Verdes	X	X			
19	Aplicación de Bioinsumos	X	X			
20	Escarificado		X			
21	Control Mecánico de Malezas		X	X		
22	Control Manual de Malezas		X	X		
23	Aplicación Manual de Plaguicidas		X	X		
24	Aplicación Mecánica de Plaguicidas		X	X		
25	Riego por Gravedad	X	X	X		
26	Riego por Aspersión	X	X	X		
27	Riego por Goteo	X	X	X		
28	Diseño Mecánico de Drenajes	X	X	X		
29	Diseño Manual de Drenajes	X	X	X		
30	Desaporca y Aporca Mecánica		X	X		
31	Desaporca y Aporca Manual		X	X		
32	Aplicación de Madurantes				X	
33	aplicación Inhibidores de Floración			X	X	
34	Uso de Drones	X	X	X	X	X
35	Quema para Cosechar					X
36	Cosecha en Verde					X
37	Quema de RAC en Suelo					X
38	Corta Manual de Plantación					X
39	Corta Mecánica de Plantación					X
40	Alza y Carga Manual de Caña					X
41	Alza y Carga Mecánica de Caña					X
42	Transporte en Carreta (≤ 6 ton)					X
43	Transporte en Camión (> 6 ton)					X
44	Remanga Manual					X
45	Remanga Mecánica					X
46	Cultivo de Variedades Recomendadas	X				
47	Establecimiento de Semilleros	X				
48	Compostaje de Residuos Orgánicos	X	X			X
49	Prácticas de Conservación	X	X	X	X	X
50	Mantenimiento de Cercas y Caminos	X	X	X	X	X

X = Referencia la práctica o labor según fase del ciclo vegetativo.

Aplica para ciclo planta y soca.

En el Cuadro 3 se presenta un detalle de las variables e indicadores principales que se considera influyen en grado variable y determinan el prototipo de sistema de producción empleado en el cultivo de la caña de azúcar, aplicado en este caso a Costa Rica; razón por la cual esos son los factores y elementos que deben evaluarse y estimarse para pretender establecer un calificativo realista, objetivo y representativo a un determinado sistema de producción. Como se infiere de dicho cuadro, los 50 elementos consignados pueden y deben ubicarse y contextualizarse todos dentro de las cinco Fases descritas anteriormente.

Para el diseño, identificación y definición del sistema dentro de las 14 posibilidades nombradas anteriormente como opciones (puede haber otras), es necesario en primera instancia seguir el siguiente procedimiento:

- 1) Identificar plenamente las “unidades productivas” que serán objeto de la evaluación, la cual puede estar preferiblemente constituida por toda la finca; lo cual no exige sin embargo que puedan darse situaciones especiales como son, por ejemplo, la presencia de: *áreas excepcionales por topografía (pendiente); distanciamiento geográfico al encontrarse físicamente alejadas entre sí; desarrollo de un programa especial como es un plan de producción orgánica, agricultura conservacionista u otro, coexistiendo dentro de otro sistema.* Es imperativo en estos casos que la forma de manejar agronómicamente la plantación en el campo sea notoriamente diferente para marcar contraste y divergencia.
- 2) Conocer y ubicar con buen criterio técnico todas las labores y actividades técnicas que se desarrollan en la unidad agroproductiva de interés tipificar, como se muestra en el Cuadro 3. Este punto ligado al anterior, representan la clave de éxito de todo el proceso.
- 3) Debe identificarse y asignarse un grado de prioridad a cada una de las actividades y labores más relevantes, asignando en el Cuadro 4 un valor porcentual, asociado con el grado de intensidad y frecuencia que mantenga la misma dentro de la unidad productiva.
- 4) Virtud de lo anterior es perfectamente factible encontrar contrastes, coberturas y complementos, no necesariamente valores absolutos en la realización de una determinada práctica, por ej. pueden coexistir formas diferentes (manual y mecánica) para realizar una misma práctica. Lo que pesa al final es lo más frecuente y ejecutado con mayor intensidad.
- 5) La ubicación de las prácticas involucra tanto plantaciones en estado vegetativo de planta (recién instaladas) como en estado de soca o retoño (ya cosechadas).
- 6) Las calificaciones porcentuales deben aplicarse a las labores consideradas en cada una de las cinco fases descritas anteriormente, como son: a) establecimiento, b) amacollamiento, ahijamiento y crecimiento vegetativo, c) crecimiento rápido, d) maduración y e) cosecha de la plantación.
- 7) Los mayores porcentajes marcan, como se indicó, la pauta y permiten aproximarse en cada labor a lo más cercano para conceptualizar y tipificar con buena certeza el sistema de producción vigente.
- 8) La decisión final de si el sistema productivo es por ejemplo más de índole manual que mecanizado, irrigado o en seco, orgánico o tradicional, entre otros, lo determinará este ejercicio aplicado a cada fase en específico.
- 9) El ejercicio puede como fue anotado anteriormente realizarse para toda la finca o en su caso discrecionalmente dependiendo de las características de la unidad productiva y del objetivo deseado.
- 10) La integración, agrupamiento e interpretación final de resultados dilucidará y explicará la modalidad que más se aproxime el tipo de desarrollo conducido en la unidad particular productora de caña de azúcar.
- 11) El “criterio experto” final basado en la experiencia que se tenga en el cultivo, el conocimiento de la región, del entorno donde se produce la caña y la unidad agroproductiva, serán los que en definitiva puedan dilucidar las características del sistema de producción y definir con mucha certeza el mismo.
- 12) Con fundamento en el cumplimiento cabal del procedimiento expuesto será posible ubicar con buen grado de aproximación los recursos bióticos y abióticos empleados y demandados por cada uno de los sistemas de producción de caña identificados; así como también las prácticas, labores y actividades de manejo de la plantación implementadas, como se anota en el Cuadro 5.
- 13) La ampliación del criterio sugerido a las unidades productivas tipo existentes en toda la región y hasta el país, permitirá conocer cuáles, y en qué proporción son los sistemas de producción de caña de azúcar más frecuentes y dominantes, lo que aporta importantes ventajas como se comentará adelante.

Agosto 2022 - Volumen 4 – Número 17

Cuadro 4. Variables que determinan el tipo de Sistema de Producción empleado en el cultivo de la caña de azúcar aplicado a Costa Rica.

N°	Actividad / Labor	Actividad en Finca / Localidad / Región	
		Aplica *	% de Intensidad **
1	Limpieza y Descepado de Terreno		
2	Levantamiento Topográfico		
3	Arada Mecánica (pesada, liviana)		
4	Rastrea Mecánica		
5	Nivelación Mecánica		
6	Subsolado mecánico		
7	Surcado Mecánico		
8	Siembra Manual		
9	Siembra Mecánica		
10	Tapado de Semilla		
11	Labranza Mínima		
12	Siembra en Contorno		
13	Uso de Tracción Animal		
14	Corrección de Suelos		
15	Fertilización Orgánica		
16	Fertilización Mineral		
17	Fertilización Foliar		
18	Uso de Abonos Verdes		
19	Aplicación de Bioinsumos		
20	Escarificado		
21	Control Mecánico de Malezas		
22	Control Manual de Malezas		
23	Aplicación Manual de Plaguicidas		
24	Aplicación Mecánica de Plaguicidas		
25	Riego por Gravedad		
26	Riego por Aspersión		
27	Riego por Goteo		
28	Diseño Mecánico de Drenajes		
29	Diseño Manual de Drenajes		
30	Desaporca y Aporca Mecánica		
31	Desaporca y Aporca Manual		
32	Aplicación de Madurantes		
33	aplicación Inhibidores de Floración		
34	Uso de Drones		
35	Quema para Cosechar		
36	Cosecha en Verde		
37	Quema de RAC en Suelo		
38	Corta Manual de Plantación		
39	Corta Mecánica de Plantación		
40	Alza y Carga Manual de Caña		
41	Alza y Carga Mecánica de Caña		
42	Transporte en Carreta (≤ 6 ton)		
43	Transporte en Camión (> 6 ton)		
44	Remanga Manual		
45	Remanga Mecánica		
46	Cultivo de Variedades Recomendadas		
47	Establecimiento de Semilleros		
48	Compostaje de Residuos Orgánicos		
49	Prácticas de Conservación		
50	Mantenimiento de Cercas y Caminos		

* Indica si la práctica o labor se realiza en el lugar.

** Expresa la intensidad de la labor medida en porcentaje.

Aplica para ciclo planta y soca.

Cuadro 5. Uso aproximado de recursos bióticos y abióticos por los Sistemas de Producción Agrícola de caña de azúcar propuestos para Costa Rica.

Nº	Sistema de Producción	Incorpora alta tecnología	Uso intensivo mano de obra	Equipo mecánico	Manual o tracción animal	Uso de agro químicos	Bioinsumos y productos verdes	Conservación de recursos	Manejo del agua	Uso del fuego
1	Mecanizado	X		X		X	X	X	X	X
2	Semi mecanizado	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Manual y con uso de tracción animal		X		X	X		X	X	X
4	Producción con riego	X	X	X		X	X	X	X	X
5	Producción en condición de seco		X	X		X				X
6	Desarrollado en condiciones de alta humedad	X	X	X		X	X	X	X	
7	Operado en condiciones de pendiente (ladera)		X		X	X		X	X	X
8	Cosecha de plantaciones en verde	X	X	X	X	X		X	X	
9	Plantaciones de ciclo bianual (> 1.000 msnm)	X	X	X	X	X		X	X	X
10	Con uso intensivo de tecnología	X		X		X	X	X	X	X
11	Con uso de bajos insumos		X		X		X	X	X	X
12	Producción de caña orgánica	X	X		X		X	X	X	
13	Con empleo de labranza mínima		X		X	X		X	X	X
14	Incorporando tecnología NAMA	X		X		X	X	X	X	

Nota: La ejecución de una práctica o labor no es absoluta pues existen situaciones y condiciones donde hay complementos y coberturas. Se anota la frecuencia mayor.

Las diferencias entre regiones, zonas y localidades productoras es manifiesta, como señalara Chaves (2017ab; 2019de; 2020lm; 2021a; 2022a) y Chaves y Chavarría (2021).

¿Qué ventajas ofrece conocer un sistema de producción agrícola?

La importancia de conocer, organizar y tipificar los sistemas de producción primaria de caña de azúcar de una determinada región, zona y país no puede pasar desapercibida ni ser tampoco desconocida, pues son varias y muy importantes las ventajas que ofrece poder formalizar y operar este interesante y contributivo ejercicio, con el cual se puede apoyar de varias formas distintas a segmentos productivos particulares del sector. Seguidamente se anotan algunos de los beneficios más destacables que aporta a la organización cañero-azucarera nacional definir, contextualizar y tipificar un sistema de producción agrícola, como son entre otras las siguientes:

- 1) El sistema como conjunto de elementos estructurado y conformado por relaciones de interacción e interdependencia adquiere identidad propia al formar un todo unificado, lo que facilita la comprensión del mismo.
- 2) Recoge, integra e identifica los elementos bióticos y abióticos, así como las actividades, labores y prácticas que conforman, definen, participan e identifican un modelo y forma de producir caña de azúcar en el campo.
- 3) Favorece poder caracterizar, analizar e interpretar comportamientos y tendencias agroproductivas de forma grupal e

integral por sistema y no apenas de manera fragmentada e individual.

- 4) Estima y proyecta con buena precisión los índices de producción y productividad de caña y azúcar (t/ha) potencialmente alcanzables en un determinado segmento y sistema de producción agrícola.
- 5) Es factible estimar costos de producción representativos y muy confiables.
- 6) Permite y facilita la cuantificación, estimación y proyección de recursos e insumos implicados (empleados y requeridos) en la gestión agroproductiva desarrollada.
- 7) Dimensiona y proyecta más eficientemente los posibles efectos, impactos y consecuencias ambientales generadas por la gestión productiva desarrollada en el campo.
- 8) Optimiza y maximiza el uso efectivo y productivo de los activos y recursos disponibles generando valor agregado.
- 9) Cuantifica eficientemente la cantidad y calidad de los residuos agroindustriales producidos.
- 10) Favorece y apoya a la organización cañera en su trascendente gestión institucional de canalizar recursos operada en materia técnica, financiera, administrativa, ambiental y social. Permite desarrollar políticas, planes y programas de manera organizada y direccionada a fines específicos y medibles.
- 11) Promueve, impulsa y fortalece la conciencia y preocupación por el ambiente dentro del segmento productivo involucrado.

- 12) Alcanza un conocimiento superior de los efectos productivos y ambientales (favorables y detrimentales) provocados por la labor empresarial operada bajo un sistema particular de manejo de plantaciones en el campo.
- 13) Aumenta los beneficios de la unidad y emprendimiento mediante la ejecución de operaciones más productivas.
- 14) Constituye un elemento muy valioso e insustituible para actuar en los procesos e iniciativas de zonificación productiva y agroecológica.

No cabe duda de que trabajar por segmentos y unidades afines, en este caso sistemas agroproductivos similares, dinamiza y agiliza los procesos implicados y optimiza el uso de los recursos disponibles. Es en definitiva una buena estrategia técnico-administrativa que debe fomentarse y fortalecerse.

Sugerencias y elementos para identificar y diseñar un sistema agroproductivo

El diseño y descripción de un proceso productivo complejo como es el agrícola, virtud de la gran cantidad de factores y elementos que lo influyen y determinan, implica y obliga actuar con sumo cuidado en la identificación, organización, agrupamiento y selección óptima de las actividades, labores, operaciones, flujos de trabajo, insumos y métodos empleados en la producción de caña de azúcar en el campo. Son varios y muy diversos los elementos y mecanismos requeridos implementar para desarrollar la iniciativa y el ejercicio de diseñar, caracterizar y tipificar un sistema agrícola, como indican SEPSA (1987) y Weiss (2002); en este caso aplicado y referido a la producción de caña de azúcar para el caso particular de Costa Rica, entre los que pueden mencionarse entre otros los siguientes:

- 1) Un sistema es en principio un conjunto de elementos interrelacionados entre sí buscando alcanzar un objetivo común. Los componentes básicos del sistema están constituidos, por: Entradas: datos, información, insumos, activos que componen el sistema; y Procesos: cambios que se producen en y con las actividades, labores y acciones desarrolladas para producir caña, como resultado del sistema.
- 2) Definir el fin y los objetivos para que se quiere y como utilizará la información de sistemas diseñada.
- 3) Conocer y ubicar territorialmente el cultivo dentro de la zona y región agrícola de interés estudiar es en definitiva muy importante; cuya dimensión es muy variable y cambiante entre localidades como lo demostró Chaves (2019d, 2020Im, 2021a, 2022a). Debe establecerse en primera instancia una distribución geográfica ordenada de las plantaciones por provincia, cantón y distrito de acuerdo con criterios aceptados (Costa Rica 2015) y donde DIECA puede colaborar mucho.
- 4) La localización y ubicación geográfica correcta del área sembrada con caña se debe preferiblemente establecer con base en información generada a partir de mapas cartográficos actualizados.
- 5) Establecer el perímetro geográfico del área cultivada con caña ubicando las coordenadas extremas norte-sur y este-oeste donde están sembradas las plantaciones comerciales con caña de azúcar en una región, zona o localidad, con lo cual se tendría el plano espacial territorial del área sembrada.
- 6) Disponer de la información regional y local de la caña producida en el lugar distribuida por Rango de Entrega expresada en toneladas, indicando la cantidad (N°) de productores involucrada en cada uno de ellos, en concordancia con lo establecido por la legislación azucarera nacional (LAICA 1998, 2000). Hay establecidos y vigentes por norma legal seis rangos de entrega (1 a +5.000 toneladas) más la caña producida por los Ingenios, lo que incluye Productores Independientes, No Independientes y Caña Propia. Esa desagregación resulta interesante pues explica buena parte del sistema operado.
- 7) Ubicar muy bien la forma, modalidades y peculiaridades en que se produce la caña en la región, lo que implica valorar e identificar entre diferentes unidades productivas las diferencias más notables, empleando para ello criterios como: *características edafoclimáticas y de relieve; tamaño de la finca (ha); producción (rango de entrega) y productividad agrícola obtenida (t/ha); forma de preparar el terreno, sembrar, manejar y cosechar la plantación; tecnología incorporada; potencial y grado de mecanización empleado; uso de riego y drenaje; prácticas de conservación implementadas; impactos ambientales potenciales; capital invertido; potencial y expectativas productivas reales (no solo expectativas); excepciones, particularidades y especialidades del modo de producir*, entre otras que coadyuven al cumplimiento del objetivo pretendido.
- 8) Con base en lo anterior definir, tipificar y contextualizar la información recabada empleando criterio y opinión experta, así como las características que conforman y definen un determinado sistema de producción de caña de azúcar. Esta operación debe ser consistente y muy realista, apegada estrictamente a criterios medibles, representativos y constatables que den solidez al argumento empleado; evitando emplear elementos subjetivos, relativos, intangibles y anímicos de quién juzga e interpreta. Esta

es posiblemente la labor más importante por desarrollar pues será la base de éxito del ejercicio desarrollado.

- 9) Definidos los posibles sistemas productivos que se estima pueden por frecuencia, representatividad, impacto (productivo, ambiental) y área involucrada (ha) existir en la región, se procede a identificar y juzgar unidades productivas ubicándolas de acuerdo con sus características en cada uno de ellos.
- 10) Muy difícil resulta tipificar y juzgar todo el universo de unidades productivas de una región y zona, lo que obliga a identificar y seleccionar “unidades tipo” muy representativas evitando incurrir en sesgos que desvirtúen los resultados, inferencias y conclusiones que a partir de su análisis se derivarán.
- 11) El resultado y producto final de la acción estará constituido por el agrupamiento de todas las unidades productivas afines del lugar, o al menos una muestra representativa de las mismas, catalogadas y referenciadas según sistema de producción de caña empleado con mayor énfasis.
- 12) Es importante revisar y validar periódicamente los resultados (2-3 años) pues puede y va a darse de hecho movilización de unidades dentro de cada sistema.

Zonas productoras de caña en Costa Rica

Son varios y de muy diversa calidad y naturaleza los elementos del clima que pueden y requieren ser necesariamente conocidos, medidos, documentados y de ser viable controlados, mitigados o incorporados al medio caso de ser excesivos, deficientes y/o deficitarios para contextualizar mejor un sistema agroproductivo. Entre dichos indicadores están la lluvia y humedad del suelo en cantidad (mm) y su distribución, las temperaturas en °C (máxima, media, mínima y amplitud) del aire y el suelo, la radiación solar, el viento (km/hr), la humedad del aire (%), la nubosidad, la evaporación y más específicamente la evapotranspiración, entre otras, las cuales inciden de forma significativa sobre los indicadores de productividad agroindustrial (Chaves *et al* 2018; Chaves 2019d).

Como es de todos conocido luego de 1980 la afectación sufrida por causa del calentamiento de la superficie de las aguas ecuatoriales del Océano Pacífico Tropical, han sido las inductoras y promotoras del Fenómeno de “El Niño” y su fase opuesta “La Niña” o fase fría del fenómeno ENOS, que provoca el enfriamiento anormal de esas aguas. Estos eventos han causado cuantiosos daños a la agricultura, la agroindustria azucarera, la infraestructura y al país en general como consta en los registros históricos nacionales. El tema clima es incuestionablemente determinante en la aspiración de conocer potenciales y afectaciones de una zona o región productora de caña.

Valoraciones recientes de ubicación geográfica de las plantaciones de caña destinadas a la fabricación de azúcar en el país, realizadas por Chaves y Chavarría (2021), demuestran que las mismas se distribuyen y ubican en un entorno muy disímil y cambiante de condiciones, como se infiere al manifestar, que “...existen diferencias importantes en relación con la referencia geográfica y agroindustrial anterior, pues de acuerdo con lo obtenido, para el año 2020 se identificaron 27 cantones de 82 (32,9% nacional) y 109 distritos de 488 (22,3% nacional) sembrados con caña de azúcar destinada a la fabricación de azúcar, en las 10 plantas industriales que operaron con ese destino en todo el país. Las mismas están ubicadas en las coordenadas más extremas sentido norte-sur y este-oeste a 11° 01' 57" (Los Chiles) y 09° 09' 55" (Brunka) latitud norte y 85° 38' 56" (Sardinal) y 83° 20' 14" (Buenos Aires) longitud oeste (Cuadro 1). La altitud de siembra de las plantaciones se establece entre 4 msnm (Puntarenas) y 1.653 msnm (Alvarado); identificando un 4,6% de las mismas (2.865,8 hectáreas) cultivadas sobre los 1.000 msnm, pertenecientes a 11 cantones del Valle Central (7= 63,6%) y Turrialba (4= 36,4%), además de 27 distritos.”

En torno al tópico atmosférico-climático demuestra asimismo Chaves (2019e) la existencia, para tomar en cuenta al diseñar un sistema productivo de caña, de variaciones significativas y determinantes en los elementos bióticos y abióticos que intervienen y definen en grado significativo la capacidad productiva del cultivo, al manifestar que “...en lo concerniente a lluvia evaluada en 29 estaciones meteorológicas, marca variaciones muy significativas entre periodos (años), distribución mensual y localidades cañeras. La región baja (<400 msnm) de Guanacaste y Pacífico Central presenta una precipitación muy inferior respecto al resto de zonas, pues en promedio fue de 1.618,4 mm en los últimos seis años (2013-2018) respecto a 2.689,8 mm del resto de regiones (401-1550 msnm), para una importante diferencia de +66,2%. Son evidentes las bajas precipitaciones verificadas durante los años 2013, 2014 y 2015 en el Pacífico Seco. La distribución durante el año es también muy diferente con altas precipitaciones en Turrialba-Juan viñas, Zona Norte y Sur en los meses de junio, julio y octubre y relativamente bajas entre febrero, marzo y abril, coincidentes con el periodo de cosecha. Las zonas cañeras Norte (2.835,1 mm) y Sur (2.710,4 mm) es donde más llueve y Guanacaste (1.532,5 mm) la de menor precipitación. En materia agrícola esto implica invertir, dotar y acondicionar plantaciones en infraestructura, equipos y sistemas de riego, drenaje y conservación de suelos. Las temperaturas medias (°C) por su parte, valoradas en 12 estaciones en su máxima y su mínima son también diferentes entre zonas productoras, mostrando un efecto contrario en torno a la lluvia, pues son altas en la zona baja. Temperaturas mínimas superiores a

21°C no favorecen la maduración natural del cultivo y con ello la concentración de sacarosa en los tallos (Chaves 2019def). La acción conjunta de periodos de baja precipitación (**estrés hídrico**) coincidiendo con altas temperaturas del aire (**estrés térmico**) y elevada evapotranspiración, resulta detrimental y muy negativa para la caña, virtud de generar una condición de estrés general y “golpe estresante” de consecuencias agroindustriales negativas muy significativas por la caída en el tonelaje y la riqueza en sacarosa de la materia prima procesada en la fábrica.”

El Cuadro 6 expone y caracteriza con buen detalle las condiciones climáticas aproximadas promedio más relevantes que caracterizan las regiones y principales zonas productoras de caña de azúcar del país, mostrando las significativas disparidades prevalecientes entre las mismas en todas las variables, que justifican razonablemente su sistematización. Es importante señalar para fines pragmáticos, que perfectamente pueden existir sistemas de manejo de plantaciones similares aún entre regiones con climas y suelos diferentes, lo que posibilita la valoración y conceptualización de los mismos a nivel nacional.

Cuadro 6. Caracterización climática de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica.

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 Viñas		
Lluvia (mm) 1/										
Total Anual	1472,0	1.682,3	1.790,9	2.743,5	3.004,5	1.645,4	2.501,6	2.544,1	2.750,9	2.237,2
Amplitud Anual	910 - 1.942 (1.032)	1.151 - 2.420 (1.269)	1.251 - 2.921 (1.670)	1.822 - 3.860 (2.038)	2.318 - 3.570 (1.252)	633 - 2.820 (2.187)	1.945 - 3.250 (1.305)	1.931 - 3.470 (1.539)	1.842 - 3.662 (1.820)	633 - 3.860 (3.227)
Promedio Mensual	122,7	140,2	149,2	228,6	254,0	137,1	208,5	212,0	229,2	186,8
Temperaturas (°C)										
Máxima	32,9 (32,6 - 33,3)	34,0 (33,4 - 35,0)	31,8 (30 - 35)	29,9 (28,6 - 32,2)	32,3 (26,8 - 35,4)	31,5 (30,3 - 32)	27,5 (26,1 - 28,5)	24,5 (24,1 - 24,9)	33,9 (32,5 - 36,3)	30,9 (24,1 - 36,3)
Media	28,1 (25,8 - 29,5)	28,0 (27,4 - 28,7)	27 (25 - 29)	21,6 (21 - 22,4)	26,7 (23,3 - 28,8)	27,2 (26,2 - 28)	22,8 (21,4 - 23,7)	20,1 (19,9 - 20,5)	25,3 (24,3 - 27,6)	25,2 (19,9 - 29,5)
Mínima	23,5 (23,3 - 24,5)	23,4 (22,9 - 23,9)	21,6 (19 - 24)	13,8 (9,6 - 16,2)	21,2 (19,9 - 22,1)	22,9 (21,9 - 24,2)	18,1 (16,7 - 19)	15,8 (15,7 - 16,1)	19,4 (16,9 - 20,8)	17,2 (9,6 - 24,8)
Diferencial	9,4 (8,8 - 10,5)	10,7 (10,1 - 11)	10,2 (11)	16,1 (19 - 16)	11,1 (6,9 - 13,3)	8,6 (8,4 - 7,8)	9,4 (9,4 - 9,5)	8,7 (8,4 - 8,8)	14,5 (15,6 - 15,5)	11,4 (6,9 - 16)
Brillo Solar (Horas y décimos)	7,1 (4,8 - 10)	7,0 (4,3 - 10,2)	6,7 (5,1 - 9,1)	6,6 (3,1 - 9,5)	4,3 (3,2 - 6,0)	3,9 (1,4 - 6,9)	4,5 (3,8 - 5,1)	4,3 (3,6 - 5,9)	5,3 (3,3 - 8,6)	5,6 (1,4 - 10,2)
Humedad (%) Promedio	75,7 (52,4 - 95,5)	74,9 (54,1 - 92,2)		81,2 (71,3 - 87,2)		81,4 (77 - 83)	84,3 (78 - 86,8)	77,4	88,3 (75 - 93)	80,5 (52,4 - 95,5)
Viento (km/hr) Promedio	3,0 (1,3 - 5,8)	8,9 (7,1 - 10,5)		2,7 (0,9 - 6,3)		1,2 (0,5 - 3,8)	1,2 (0,8 - 1,4)	7,3 (7 - 8,5)	4,0 (2,8 - 6,6)	4,0 (0,5 - 10,5)

Fuente: Chaves (2019d).

1/ Años evaluados en las variables todos posteriores al 2008. Los valores entre parentesis () corresponden a valores promedio entre extremos Mínimo - Máximo.

Nota: Las series de años valoradas son diferentes entre variables y localidades.

En asocio y vínculo directo con la información de clima expuesta anteriormente, la valoración del recurso edáfico demuestra y ratifica adicionalmente la importante heterogeneidad, dispersión y variabilidad prevaleciente en los suelos cañeros nacionales, como factor determinante de la producción y la productividad agrícola e industrial, como oportunamente lo ratificaran Chaves (2017b, 2019d) y Chaves y Chavarría (2017ab).

En torno a este tópico tan especializado y trascendente, asegura Chaves (2022f) basado en información fidedigna, que “Según orden y área sembrada, la distribución de suelos generada por el estudio de caracterización e identidad taxonómica reprodujo los siguientes resultados: Inceptisol (36,9%), Vertisol (17,6%), Ultisol (17,6%), Mollisol (13,1%), Entisol (7,6%), Andisol (6,9%), Alfisol (0,17%), Histosol (0,04%) y Oxisol (no se cuantificó). Adicionalmente, los 16 subórdenes que

Agosto 2022 - Volumen 4 – Número 17

fueron identificados se presentaron en su caso como sigue: 1) Ustepts (27,8%), 2) Usterts (17,6%), 3) Ustolls (13,1%), 4) Humults (9,4%), 5) Udepts (7,4%), 6) Udults (6,6%), 7) Orthents (6,5%), 8) Udands (4,6%), 9) Ustands (2,3%), 10) Aquepts (1,75%), 11) Ustults (1,7%), 12) Aquepts (0,88%), 13) Fluvents (0,19%), 14) Ustalfs (0,17%), 15) Saprists (0,04%) y 16) Ustoxs, que no fue como se indicó cuantificado. Los Ustepts, Usterts y Ustolls representan conjuntamente el 58,5% de los suelos costarricenses cultivados con caña de azúcar. Solo el hecho de conocer la información taxonómica incorpora y provee al agricultor información muy relevante sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas que presentan esos suelos, y con ello, el potencial

productivo disponible para satisfacer las expectativas que se puedan esperar en materia de producción agroindustrial.”

Asegurando poder contar con información complementaria de gran valía para satisfacer a cabalidad y alcanzar el objetivo central procurado satisfacer, se presenta en el Cuadro 7 una caracterización detallada por zona y región productora de caña, de la condición edáfica aproximada predominante en Costa Rica; lo que favorece emplear ese factor en la sistematización justificada de los modelos agroproductivos predominantes en el país valorados e interpretados a nivel regional y local.

Cuadro 7. Caracterización edáfica y territorial de las regiones y zonas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica.

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 Viñas		
Ordenes Taxonómicos 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%) Histosol (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 Sequía	Alto	Alto	Alto	Medio - Bajo	Medio - Alto	Medio - Alto	Bajo	Bajo	Medio - Bajo	Alto - Bajo
Riega	Si	Si	Si	Si	No	No	No	No	Poco	Si
Zonas de Vida Holdridge	Bosque Seco Tropical y Bosque Húmedo Premontano		Bosque Húmedo Premontano	Bosque Húmedo Premontano	Bosque Muy Húmedo Tropical	Bosque Tropical Húmedo	Bosque Pluvial Montano Bajo	Bosque Pluvial Montano	Bosque Muy Húmedo Premontano	

Fuente: Chaves (2017b, 2019d); Chaves y Chavarría (2017ab); Holdridge (1982).

Toda la información aportada complementada con otra de índole pragmático laboral sirve de base para orientar con buen criterio las acciones conducentes al diseño y tipificación de un determinado sistema de producción agrícola, ya que contextualiza y explica con razonamiento técnico bien fundamentado las actividades y labores de mecanización, preparación y manejo de suelos y plantaciones

comerciales, siembra de plantíos, ubicación de variedades, programas de fertilización, corrección de acidez y control de malezas ejecutados, planes de riego y drenaje implementados, iniciativas de conservación de suelos implementadas y cultivo de clones resilientes y tolerantes a condiciones particulares y especiales del entorno donde se ubican las plantaciones (acidez, compactación, eutróficos, distróficos, alta

pendiente, profundos, friables, con riesgo de sequía o inundación, etc.) como externara y demostrara Chaves (2020efghi).

Toda la gestión destinada a sistematizar y caracterizar los diferentes modelos de producción agrícola va orientada a identificar, conjuntar y agrupar unidades productivas por similitudes y afinidades, lo que permite diseñar y tipificar los sistemas de producción existentes en una región, extensivo a todo el país.

Conclusión

Hablar de sistemas puede en primera instancia conducir a pensar erróneamente en cosas laboriosas, problemáticas y difíciles de concebir y sobre todo de implementar y ejecutar en el campo, pues se podría especular en que se trata de incursionar en la teoría de sistemas y cosas muy estructuradas y complejas, sobre todo cuando se trata de agricultura; sin embargo, en la visión y orientación abordada el tema se torna simple de comprender y sobre todo de desarrollar. En realidad, lo que se busca al hablar de sistemas de producción es básicamente buscar identificar, integrar, conjuntar, asociar y conectar las actividades, labores y prácticas propias de una forma particular de hacer y desarrollar plantaciones comerciales de caña de azúcar en el campo.

Como es conocido existen diferentes formas y grados diferenciados de manejo agronómico de plantaciones concordantes con las características, condiciones, particularidades y potenciales que caracterizan un lugar y entorno agroproductivo, que es viable escalar al grado de zona, región y hasta país; lo cual puede ser comprometido por causas naturales o en su caso favorecido e inducido por la acción directa del productor-empresario. Diseñar un sistema de producción consiste entonces en identificar, conjuntar, sumar y agrupar unidades productoras afines en la forma y condiciones de manejo de las mismas para conformar un conjunto unificado. Los sistemas en el presente caso son conjuntos integrados de unidades productivas cuyas propiedades y características son muy similares. El enfoque de sistemas enfatiza en los principios de organización y manejo de la finca o unidad productiva integrando sus componentes en patrones y modelos similares bien tipificados.

En lo pragmático sabemos cómo está suficiente y ampliamente demostrado que la producción primaria de materia prima es muy heterogénea, diferente y variable en el país; mostrando cada una de las seis regiones productoras características muy propias y particulares que las diferencian y tipifican, como son las condiciones de clima, de relieve y topografía, las características fisicoquímicas y de fertilidad natural de los suelos, el potencial mecanizable y viable de implementar

economías de escala, el capital disponible, el nivel de tecnología incorporado, uso de riego y drenaje, las condiciones naturales de maduración de las plantaciones, las variedades cultivadas, los modelos de cosecha operados y las estructuras de tenencia de la tierra en posesión de los agricultores, entre muchos otros elementos determinantes y diferenciadores. Esas y otras variables influyen de manera significativa sobre la producción, los índices de productividad agroindustrial, la rentabilidad y la competitividad de la agroempresa, como lo demuestran Chaves *et al* (2018) y Chaves (2019def, 2020klm).

El paradigma de los sistemas posee e incorpora un enfoque que mira las plantaciones de caña de una localidad con base en relaciones de unidad, conjunto e integración. Cuando el grado de afinidad, similitud y conectividad es bajo, lo que define una unidad de producción de caña es simplemente una serie de elementos individuales que la componen; a medida que el grado de conectividad y conjunción se incrementa, son las afinidades entre esos elementos las que definen y tipifican un sistema. Cuando varias empresas y agricultores en una región realizan por ejemplo labores de preparación de suelos, manejo de la plantación y cosecha muy similares, puede entonces interpretarse y juzgarse que operan por su afinidad como un sistema productivo, lo que permite su caracterización, modelaje y tratamiento.

Lo correcto y más atinado al valorar, analizar e interpretar la actividad productiva de caña desarrollada en una finca, localidad, zona, región y hasta país es referirse a sistemas agroproductivos, y no fraccionar e individualizar comportamientos independientes y aislados que se tornan en algún grado poco representativos de una agroindustria que como la cañero-azucarera es por naturaleza extensiva en territorio, pero intensa en actividad. Un sistema de producción contextualiza, dimensiona e interpreta mejor la forma en que se desarrolla la caña de azúcar en el campo, lo que le otorga gran valor para efector institucionales, tecnológicos y administrativos.

No cabe duda de que el abordaje y tratamiento tecnológico correcto y efectivo de la problemática prevaleciente actualmente, como también el aprovechamiento óptimo de los importantes potenciales que circundan la agroindustria cañero-azucarera costarricense, tendrán una mejor acometida si la atención se realiza bajo la visión de sistemas productivos y no simplemente como unidades independientes, como tradicionalmente se ha hecho. **La institucionalidad del sector azucarero debe cambiar el enfoque tradicional con el cual ha conducido y orientado el cultivo en su fase primaria, lo cual es también perfectamente aplicable a la fase industrial. Es tiempo de cambiar paradigmas y movilizarse por nuevas rutas del desarrollo.**

El desarrollo e identificación de los sistemas agroproductivos de caña vigentes, más frecuentes y representativos son importantes y necesarios de identificar y diseñar en el país, pues constituyen la base para la zonificación agroecológica futura del cultivo en Costa Rica; debe por ello actuarse con carácter prioritario al respecto.

Literatura citada

- Angulo Marchena, A.; Rodríguez Rodríguez, M.; Chaves Solera, M.A. 2020. **Guía Técnica. Cultivo Caña de Azúcar. Región: Guanacaste.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 78 p.
- Barrantes Mora, J.C.; Chaves Solera, M.A. 2020. **Guía Técnica. Cultivo Caña de Azúcar. Región: Sur.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 75 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.
- Calderón Araya, G.; Chaves Solera, M.A. 2020. **Guía Técnica. Cultivo Caña de Azúcar. Región: Turrialba.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 95 p.
- Chaves Solera, M.A.; Alvarado H., A. 1994. **Manejo de la fertilización en plantaciones de caña de azúcar (*Saccharum spp*) en Andisoles de ladera de Costa Rica.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio. 41 p. *También en:* Memorias. 15th World Congress of Soil Science. International Society of Soil Science (ISSS). Acapulco, México, del 11 al 15 de julio de 1994. Volumen 7a. p: 353-372.
- 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.; Chavarría Soto, E. 2017a. **Aproximación taxonómica y territorial de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica. I. ORDENES DE SUELO.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 55 p.
- Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017b. **Tipos de suelo y producción de caña de azúcar en Costa Rica: Primera aproximación taxonómica.** En: Congreso Nacional de Suelos, 9, San José, Costa Rica, 2017. Memorias. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS), octubre 25 al 27, Hotel Crowne Plaza San José Corobici. 6 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017a. **¿Dónde se produce territorialmente la caña con que se fabrica el azúcar en Costa Rica?** Revista Entre Cañeros N° 8. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, marzo. p: 6-26.
- Chaves Solera, M.A. 2017b. **Taxonomía de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica: Ordenes y Subordenes presentes.** En: Congreso de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 21 y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Honduras (ATAHON), 20, San Pedro Sula, Honduras, 2017. Memorias. San Pedro Sula, Honduras, ATACA/ATAHON, agosto 22 al 25, Centro de Convenciones Copantl. 14 p.
- Chaves Solera, M.A.; Bermúdez Acuña, L.; Méndez Pérez, D.; Bolaños De Ford, F. 2018. **Medición de los indicadores de calidad de la materia prima procesada por los Ingenios azucareros de Costa Rica durante el Periodo 2004-2016 (13 zafras).** En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 2, Puntarenas, Costa Rica, 2018. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), junio 5 al 7, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 75 p. *También en:* Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 75 p.
- Chaves Solera, M.A. 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 (Costa Rica) 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019c. **Relación agua-suelo en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(10): 5-7, agosto-setiembre.
- Chaves Solera, MA. 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. 2019e. **Ambiente agro climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2019f. **Clima, cosecha de caña y fabricación de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(19): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020a. **Estrés por calor en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(5): 5-12, marzo.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. **Estrés hídrico en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(8): 5-16, abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. **Estrés por viento en la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(9): 4-15, abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020d. **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. 2020e. **Clima, germinación, ahijamiento y retoñamiento de la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(14): 6-14, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020f. **Clima, degradación del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(15): 5-13, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020g. **Clima y erosión de suelos en caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(16): 7-16, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2020h. **Clima, acidez del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(18): 8-17, agosto.
- Chaves Solera, M.A. 2020i. **Clima, suelo y manejo: factores determinantes en la compactación de los suelos.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(20): 5-15, setiembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020j. **Sistema radicular de la caña de azúcar y ambiente propicio para su desarrollo en el suelo.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(13): 6-18, junio. *También en:* Revista Entre Cañeros N° 17. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, setiembre. p: 51-71.
- Chaves Solera, M.A. 2020k. **El azúcar se hace en el campo y extrae en la fábrica: una verdad incuestionable.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(19): 6-13, setiembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020l. **Agroclimatología y producción competitiva de caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(24): 5-13, noviembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020m. **Ambientes climáticos y producción competitiva de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(26): 5-12, diciembre-enero.
- Chaves Solera, M.A.; Barquero Madrigal, E. 2020. **Guía Técnica. Cultivo Caña de Azúcar. Región: Norte.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 135 p.
- Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2021. **Distribución geográfica de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica según altitud y localidad.** Revista Entre Cañeros N° 20. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, julio. p: 5-35.
- Chaves Solera, M.A. 2021a. **Indicadores históricos de producción y productividad de la agroindustria azucarera costarricense: análisis del periodo 1969-2019 (51 zafras).** Revista Entre Cañeros N° 19. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, marzo. p: 9-67.
- Chaves Solera, M.A. 2021b. **Estrés mineral y caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(11): 5-21, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2021c. **Condiciones del sector cañero-azucarero costarricense para implementar una NAMA: caracterización sectorial.** En: Seminarios de inducción y capacitación para el diseño y la formulación de la NAMA-Caña de azúcar. Organizados por la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), 26 noviembre. San José, Costa Rica. Presentación Electrónica en Power Point 97 láminas.

Chaves Solera, M.A. 2021d. **Sugerencias y recomendaciones para el uso óptimo de fertilizantes en la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(26): 8- 23, diciembre.

Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2021. **Estimación del área sembrada con caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 1985 - 2020 (36 Zafras).** Revista Entre Cañeros N° 22. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, diciembre. p: 5-39.

Chaves Solera, M.A. 2022a. **Área sembrada con caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 2010 - 2020 (11 zafras).** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(2): 6-27, enero.

Chaves Solera, M.A. 2022b. **Productividad agrícola de la caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 2012 - 2020 (9 zafras).** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(4): 5-31, febrero-marzo.

Chaves Solera, M.A. 2022c. **Acciones estratégicas para mitigar Gases con Efecto Invernadero (GEI) en la fase de producción primaria de la caña de azúcar en Costa Rica: recomendaciones y sugerencias pragmáticas.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(6): 5-27, marzo.

Chaves Solera, M.A. 2022d. **NAMA como instrumento ambiental para mitigar Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la agricultura: el caso de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(10): 5-15, mayo.

Chaves Solera, M.A. 2022e. **Retos tecnológicos de la agroindustria azucarera costarricense en procura de lograr la ecoeficiencia y la eco-competitividad comercial.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(12): 5-21, junio.

Chaves Solera, M.A. 2022f. **Muestreo de suelos agrícolas: aplicación a la caña de azúcar.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(14): 5-22, julio.

Chaves Solera, M.A. 2022g. **Razones y circunstancias que motivan, determinan, potencian y condicionan el desarrollo y la adopción de tecnología en el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica.** Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(16): 11-36, agosto.

Chaves Solera, M.A. 2022h. **Problemas y limitantes que condicionan y obstaculizan la gestión del productor independiente de caña de**

azúcar en Costa Rica: valoración e interpretación en el tiempo. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 4(18): 5-25, setiembre.

Costa Rica. 2015. **PODER EJECUTIVO. División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica. DECRETOS. N° 39286 - MGP.** San José, Costa Rica. Publicado en el Alcance N° 94 a La Gaceta N° 220 de 12 de noviembre de 2015. 95 p.

Dixon, J.; Gulliver, A.; Gibbon, D. 2001. **Farming systems and poverty.** Rome/Washington DC. FAO/World Bank.

Holdridge, L. 1982. **Ecología basada en zona de vida.** Trad. del inglés por Jiménez, H. Segunda reimpression. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 216 p.

LAICA. 1998. **Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar N° 7818 del 22 de Setiembre de 1998.** San José, Costa Rica, LAICA. 117 p.

LAICA. 2000. **DECRETO N° 28665 - MAG. Reglamento Ejecutivo de la Ley Orgánica de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar N° 7818 de 2 de Setiembre de 1998.** Dado en la Presidencia de la República. San José, a los veintisiete días del mes de abril del año dos mil. 140 p.

Montero Marín, F.A.; Cadet Piedra, E.; Chaves Solera, M.; Gutiérrez Soto, M.V. 2020. **Análisis y graficación de los resultados sobre las respuestas fisiológicas de tres variedades de caña de azúcar sometidas a estrés por suelo anegado. Santa Gertrudis Sur, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Informe Final de Pasantía.** Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). 14 p.

SEPSA. 1987. **Metodología para la zonificación agroecológica y su aplicación al cultivo de la caña de azúcar.** San José, Costa Rica: SEPSA. 72 p.

Vargas Miranda, J.E.; Durán Alfaro, J.R.; Barquero Madrigal, E.; Alfaro Portugués, R.; Carvajal Alfaro, J.P. 2020. **Condiciones que caracterizan los sistemas productivos de caña de azúcar en la Zona Norte del país (San Carlos y Los Chiles) e inciden en el desarrollo de nuevas variedades.** Grecia, Costa Rica. DIECA-LAICA, noviembre. 40 p.

Weiss Díaz, J. 2002. **Caña de Azúcar.** En. Zonificación Agroecológica de diferentes tipos de uso de la tierra. San José, Costa Rica. INTA-MAG, mayo. p: 20-24.