

REVISTA



ENTRE CAÑEROS



NÚMERO 22 • DICIEMBRE 2021. ISSN 2215-597X.

Revista trimestral del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA).

Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA).



PRESENTACIÓN

Es un placer invitarlos a leer nuestro contenido en el que brindamos al público en general una importante actualización de las áreas sembradas con caña de azúcar en Costa Rica, cumpliendo con el objetivo de LAICA de brindar información del sector azucarero proyectando responsabilidad y transparencia.

También les compartimos un interesante trabajo del señor Enrique Valenciano Ulate sobre el tema del relevo generacional en el sector azucarero, el cual es un primer extracto de su trabajo final de graduación para obtener el grado académico de maestría y que en el próximo número estaremos socializando un segundo extracto. Ambos trabajos están sumamente interesantes por lo que los invitamos a leerlos.

Finalmente les compartimos una importante nota que detalla minuciosamente todo lo que involucra la fertilización foliar del cultivo de la caña de azúcar.

Agradecemos que nos continúen leyendo y los invitamos a seguir nuestro material editorial. los invito a que nos hagan llegar sus consultas y opiniones a la dirección de correo electrónico echavarria@laica.co.cr.

Ing. Erick Chavarría Soto
Coordinador comité editorial
Revista Entre Cañeros
Correo-e: echavarria@laica.co.cr

CONTENIDO

02

Presentación

04

Estimación del área sembrada con caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 1985 - 2020 (36 Zafras).

40

Relevo generacional y desarrollo rural: aportes teóricos, metodológicos y abordajes .

64

Fertilización foliar en caña de azúcar: concepto, principios y práctica

Revista Entre Cañeros
Número 22, Diciembre del 2021. ISSN 2215-597X

Publicación técnica gratuita del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar
Producida por la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar.

Avenida 15 y calle 3, Barrio Tournón.
San Francisco, Goicoechea.
10802 San José, Costa Rica.
www.laica.co.cr

Comité Editorial
Ing. Agr. Erick Chavarría Soto, coordinador.
Ing. Agr. José Daniel Salazar Blanco.
Ing. Agr. Julio César Barrantes Mora.
Ing. Agr. José Eduardo Vargas Miranda

En el Sector Cañero Azucarero Costarricense decimos:

NO Trabajo Infantil



¿Qué legislación existe en Costa Rica, para proteger a los niños y adolescentes?

- Constitución Política.
- Código de la Niñez y la Adolescencia
- Código de Trabajo
- Ley 8922 Prohibición del trabajo peligroso e insalubre para personas adolescentes trabajadoras.

¿Qué dice la legislación?

Trabajo Infantil (0-15 años) Es Prohibido	Trabajo adolescente (15-17 años) Permitido con regulaciones
<ul style="list-style-type: none"> • No permite que los niños se desarrollen física, emocional y psicológicamente. • Les puede causar enfermedades, lesiones o deterioro en la salud. • Causa bajo rendimiento o abandono de la educación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se le debe facilitar al adolescente el espacio para estudiar y asistir al centro educativo. • Se le deben dar las mismas garantías como remuneración y vacaciones que a una persona adulta. • La jornada no puede ser mayor a 6 horas diarias ni 36 semanales. • No pueden realizar trabajo nocturno ni trabajos peligrosos, como: • Estar en espacios insalubres con altas temperaturas, espacios cerrados, alturas peligrosas o estar bajo tierra. • Utilizar herramientas o maquinaria peligrosa. • Levantar peso mayor a 15 kg los hombres y 10 kg las mujeres.



LAICA RSE



“Esta es una sección para opinión y discusión sobre temáticas de índole exclusivamente técnicas en lo referente al entorno de la producción de caña de azúcar a nivel nacional e internacional, los temas publicados en esta sección no representan ni reflejan las políticas internas o externas de LAICA; ni personifican tampoco la manera de pensar o de opinar del Comité Editorial. Los autores deberán de asumir la responsabilidad en lo personal y de manera independiente por lo que publiquen en esta sección.”

ESTIMACIÓN DEL ÁREA SEMBRADA CON CAÑA DE AZÚCAR EN COSTA RICA SEGÚN REGIÓN PRODUCTORA. PERIODO 1985 - 2020 (36 ZAFRAS)

Marco A. Chaves Solera¹ y Erick Chavarría Soto²

Introducción

Cualquiera que sea el ámbito y la actividad involucrada, el hecho de contar con información de alta calidad y representatividad siempre constituye una importante y deseada ventaja para cualquiera que la tenga y pueda disponer de ella, sobre todo si la misma es destinada y/o aprovechada en la toma de decisiones sobre el asunto abordado en asocio con su origen, naturaleza y vínculo. No importa el campo de gestión que se trate, sea productivo, comercial, económico, tecnológico, legal o administrativo, pues el beneficio material e intelectual obtenido es notorio y evidente, ya que nos aporta índices e indicadores sobre variables importantes que resultan muy reveladoras para conocer, interpretar, estimar y proyectar un determinado comportamiento o acción específica. Sin información de calidad y representativa cualquier gestión resulta altamente riesgosa.

En torno a este acápite es obligatorio resaltar y enfatizar en que el sector azucarero costarricense se ha esmerado y destacado históricamente por contar con información confiable y muy representativa de su actividad y giro comercial, empleada para la toma correcta y oportuna de decisiones institucionales y sectoriales; lo cual aplica prácticamente en todos los ámbitos del quehacer empresarial y comercial. Esta apropiada conducta colectiva

basada en la recolección, ordenamiento, análisis e interpretación de datos sectoriales es como se indicó, muy antigua, como lo demuestran los antecedentes institucionales sobre los que opera la agroindustria cañero-azucarera costarricense por medio de la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA).

Como lo demostraran Chaves y Bermúdez (2020), Chaves y Chavarría (2021) y Chaves (2021) para el caso de varios indicadores



¹ Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Colaborador invitado especialista en el cultivo de la caña de azúcar, Costa Rica. E-mail: chavessolera@gmail.com. Teléfono: (+506) 8390-0957

² Ingeniero Agrónomo, funcionario del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). Grecia, Costa Rica. E-mail: echavarría@laica.co.cr

agroindustriales importantes, el sector cuenta con una serie histórica bastante larga de datos que le han permitido tener conocimiento y control relativo sobre comportamientos y tendencias que permiten dimensionar y contextualizar con bastante certeza, el motivo, razón y circunstancia de los cambios, efectos e impactos provocados por eventos o situaciones de muy diversa naturaleza acontecidos en el tiempo, sean fortuitos, de fuerza mayor o inclusive planificados.

Dentro de todo ese destacable y denodado esfuerzo de ordenamiento institucional, había un tópico muy particular que generaba un enorme vacío y sobre el que la información sectorial disponible era lamentablemente muy escueta, parcial y dispersa, al carecer del orden e integración requerido que la presentara y expusiera en forma de serie histórica para uso público. Se trata de la información vinculada con el área sembrada (hectáreas) con caña de azúcar en el país, desagregada y expuesta a nivel regional, pues la nacional si bien no es absoluta, se remonta al año 1969 para una larga y representativa serie de 51 zafras continuas (1969-2019), como lo detalla y expone Chaves (2021). Pese a esa limitante, bastante se ha pro-

curado recabar en los últimos años en torno al tema; sin embargo, se carecía de información regional detallada y confiable que complementara la ya disponible en materia de producción e indicadores agrícolas e industriales.

Los antecedentes documentados sobre áreas de cultivo de caña de azúcar en el país, demuestran que se ha informado bastante en torno al tema, aunque vale reconocer, de manera parcial, discontinua, sucesiones muy cortas de datos y sin la estructura y la sistemática requerida que la dispongan y conformen bajo la figura de serie histórica, como lo demuestran las publicaciones de Chaves (1993ab, 2017a, 2019b, 2021), Chaves y Alfaro (1996), Chaves *et al* (2001), Chaves y Chavarría (2013, 2021), Angulo *et al* (2020), Barrantes y Chaves (2020), Calderón y Chaves (2020) y Chaves y Barquero (2020), efectuadas en diferentes momentos, zafras y regiones.

En el año 2007 se inició por parte del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), la valoración de posibilidades para el desarrollo de un proyecto institucional orientado a realizar la medición integral del área sembrada con caña en el país, pues nunca hasta la fecha se había tenido un dato de máxima confiabilidad, y las áreas de cultivo como era conocido, habían crecido y desplazado mucho territorialmente, lo que generaba un inconveniente vacío informativo.

Para ello, se contrató luego de estudiar varias opciones a la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica (UCR), quién luego de varios preparativos procedió a realizar en cuatro etapas con la cartografía preliminar de áreas cañeras usando técnicas convencionales de fotointerpretación de imágenes (fotos aéreas del Proyecto CARTA 2003 y 2005, imágenes satelitales, imágenes de google earth, etc.), con verificación y comprobación in situ de campo mediante el uso de equipos de GPS, el levantamiento, cálculo y estimación del área cañera a nivel espacial. Se usaron como base



mapas sobre hojas cartográficas a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), como lo relatan y detallan Chaves y Chavarría (2013).

Se buscaba con el proyecto que las mediciones sirvieran de soporte y apoyo a las actividades de investigación y planeamiento que realizaban tanto DIECA como LAICA, los Ingenios y las Cámaras de Productores de Caña regionales. Al final se cubrió y estimó el área regional sembrada en el año 2012 como sigue: Guanacaste (34.513,61 ha), Pacífico Central (5.977,11 ha), Zona Norte (8.933,96 ha), Valle Central Occidental (4.444,51 ha), Turrialba-Jiménez (4.905,12 ha y Zona Sur (4.541,40 ha), todo para un área integral de 63.315,71 hectáreas. Esa información permitió estructurar por primera vez y como hecho inédito en la historia cañera nacional, un mapa detallado por región conteniendo la información desagregada de las localidades y áreas sembradas con caña destinada exclusivamente a la fabricación de azúcar. Él estudió de campo y

laboratorio conllevó varios años (2008-2013), por lo cual los resultados fueron lentos y no todo lo satisfactorio que se esperaba; sin embargo, vale reconocer que esta experiencia abrió una ruta tecnológica interesante por donde transitar, la cual fue luego desarrollada, mejorada y consolidada por DIECA como se expondrá más adelante. En su documento Chaves y Chavarría (2013) exponen con amplio lujo de detalle lo atinente a esta importante primera iniciativa institucional.

Uso potencial de la información

Contar con información representativa, certera y de calidad de las áreas sembradas con caña de azúcar en una región y en el país, es incuestionablemente un activo institucional muy valioso e importante, por medio del cual es posible derivar varios usos, lograr fines y satisfacer objetivos, como son entre otros los siguientes:

SECCIÓN EDITORIAL

- 1) Es posible conocer la naturaleza, la cantidad y la calidad de los recursos (edáficos, hídricos, humanos, equipo y maquinaria, insumos) vinculados, invertidos y empleados en la actualidad y en periodos anteriores en la producción comercial de caña en la región y en el país.
 - 2) Puede estimarse con bastante certeza y alta probabilidad la cantidad de materia prima industrializable (toneladas) posible producir y cosechar.
 - 3) Pueden organizarse y disponerse las necesidades de equipo, maquinaria de corta, alce y transporte durante las labores de siembra y de cosecha.
 - 4) Se consigue estimar y determinar los índices de productividad agroindustrial referentes para guiar y establecer planes y programas de fomento productivo con metas reales.
 - 5) La zonificación agrícola y productiva regional se torna una realidad.
 - 6) Es posible jerarquizar los factores involucrados en la producción agrícola e industrial de azúcar.
 - 7) Se puede contabilizar y proyectar con base certera las necesidades y recursos que demande la actividad a futuro en una región delimitada.
 - 8) Se logra disponer de un factor básico para planificar y formular estrategias sectoriales encaminadas a promover el desarrollo de la agroindustria a nivel local, regional y nacional.
 - 9) Permite ordenar, concentrar y orientar los esfuerzos técnicos a promocionar y fortalecer determinados proyectos productivos.
 - 10) La comercialización de los insumos agrícolas puede ser enfocada en las zonas de producción en su verdadera dimensión.
 - 11) Dispone y canaliza correctamente la capacidad y los recursos financieros que es necesario y posible colocar.
 - 12) Viabiliza operar modelos agroproductivos asociados con las economías de escala.
 - 13) Es viable y factible desarrollar estudios socioeconómicos en áreas delimitadas.
 - 14) Favorece contar con criterio objetivo y válido para ubicar el desplazamiento y la interacción de las plantaciones vs desarrollo urbano y poblacional.
 - 15) Pueden adoptarse las medidas de carácter ambiental pertinentes y necesarias a nivel local que favorezcan el desarrollo sostenible.
 - 16) En las zonas y localidades de mayor influencia agrícola es factible organizar la economía y la producción en forma espacial y jerárquicamente alrededor de núcleos productivos; los cuales se caracterizan por tener una mejor productividad agroindustrial, mayor potencial y aporte de materia prima, disponer de más y mejores servicios básicos y contar con una mayor disposición permanente de mano de obra. Alrededor de este núcleo se ubican otras áreas de dependencia con un potencial menor de desarrollo, menor aporte a la producción, generalmente con una productividad aceptable y un menor uso de mano de obra de carácter permanente.
 - 17) Pueden delimitarse asimismo para fines de diferenciación, localidades agrícolas con problemas o de menor potencial.
- No hay duda de que, para potenciar y tener capacidad de uso de los datos en esos fines asociados con la planificación, el cálculo y la estimación de factores asociados, es necesario e inevitable disponer previamente de la información concerniente al área cultivada, porque de ella dependerá fundamentalmente

toda la organización y la programación que se pretenda desarrollar. En definitiva, la zonificación, al establecer un uso racional de las tierras de acuerdo con su capacidad de producción, sirve como instrumento de organización para aumentar la producción en forma rentable y económica.

Antecedentes

Como ha sido amplia y suficientemente explicado, el antecedente de la actividad productiva, social, económica, cultural y tecnológica desarrollada alrededor de la agroindustria azucarera en el país es centenaria al trascender hasta la época colonial y la formación de la República, como lo han señalado y expuesto con gran detalle Barboza *et al* (1982), Chaves (1993a, 1997), León y Arroyo (2012), Chaves y Bermúdez (2020) y Chaves y Chavarría (2013).

Sin entrar en mayores detalles, se presentan en el Cuadro 1 los principales y más reveladores indicadores de producción y productividad agroindustrial del sector azucarero costarricense, expuestos en este caso por década a partir de 1950 y hasta el año 2020 para un total de 70 años. Permite esa información, interpretar de manera simple y rápida la evolución y crecimiento mantenido por el sector en prácticamente todos los indicadores evaluados, lo que evidencia la mejora incorporada a nivel agrícola y fabril.

En productividad los aumentos en esos 70 años son impresionantes al reportar en tonelaje de caña un promedio de incremento de 37,1 t/ha correspondiente al 106,1%; en concentración de sacarosa recuperada el mismo fue de 15,43 kg/t (17%) y en producción de azúcar de 4,50 t/ha para un muy significativo 141,5% de aumento. Se debe ser objetivo y concluyente, sin embargo, en reconocer que la tasa y ritmo de crecimiento observada principalmente luego de la década de

los años 70 es insuficiente y posterior al año 2000 la verdad inaceptable, virtud de que se observa un relativo estancamiento en productividad agroindustrial no acorde al nivel de tecnología incorporada. Sin embargo, por no ser el objeto principal del presente documento, no se profundizará en el tema buscando posibles razones, causas y explicaciones a ese atípico comportamiento.



Cuadro 1.

Indicadores nacionales históricos de producción y productividad agroindustrial promedio. Periodo 1950-2020 (70 años).

Zafra	Área (ha) sembrada	Caña procesada (t)	Azúcar (t) fabricada	Rendimientos			Relación caña/azúcar
				Agrícola (t/ha)	Industrial (kg 96°/t)	Azúcar (t/ha)	
1950 *	6.700	234.000	21.294,0	35,00	91,00	3,18	11,00
1960 *	17.400	696.000	64.032,0	40,00	92,00	3,68	10,90
1970-71	34.500	1.726.706	166.844,9	53,92	96,63	5,21	10,30
1980-81	34.600	2.203.560	201.820,1	60,37	91,59	5,53	10,90
1990-91	41.500	2.629.140	265.301,4	71,06	102,47	7,17	9,90
2000-01	49.900	3.398.282	369.413,3	72,00	108,71	7,83	9,20
2010-11	57.480	3.320.596	355.078,7	61,15	106,94	6,54	9,35
2020-21 **	60.668	3.995.020	425.178,0	72,13	106,43	7,68	9,40

Fuente: Chaves y Chavarría (2013).

* Valores estimados a partir de León y Arroyo (2012); Barboza, Aguilar y León (1982)

** Información sectorial proporcionada por LAICA (enero 2022).

En lo relativo al área sembrada con caña si se observa un aumento importante y muy significativo entre periodos de tiempo, pasando de 6.700 hectáreas estimadas en 1950 a 60.668 ha en el año 2020 para un incremento de 53.968 has equivalente a un significativo 805,5% en 70 años.

Al desagregar la información marcando las diferencias entre periodos decanales se observa

que la dinámica de crecimiento territorial de las áreas de cultivo ha sido sin embargo muy variable y sin mostrar una tendencia definida y consistente en el tiempo, como se anota en el Cuadro 2, verificándose en los dos primeros periodos los mayores aumentos territoriales relativos y proporcionales.

Cuadro 2.

Tasa % de crecimiento del área sembrada con caña según periodo.

Zafra	Incremento de Área	
	Hectáreas	Porcentaje
1950	NA	NA
1960	10.700	259,7
1970-71	17.100	198,3
1980-81	100	0,29
1990-91	6.900	19,9
2000-01	8.400	20,2
2010-11	7.580	15,2
2020-21	3.188	5,5

Nota: Se compara cada década respecto a la inmediata anterior.

Como se infiere, la mayor variación de área cultivada se verificó entre 1960 respecto al año 1950 con el incremento y agregación de 10.700 hectáreas nuevas para un 259,7%, acción motivada e inducida por la reasignación e incremento de la cuota azucarera nacional favorecida a inicios de los años 60, como lo señalaran Barboza *et al* (1982), Chaves (1993a, 1997), León y Arroyo (2012) y Chaves y Bermúdez (2020); seguida por la zafra 1970-71 respecto al año 1960 con 17.100 hectáreas (198,3%).

En los siguientes 40 años las diferencias apenas alcanzaron aumentos cercanos al 20%. La gran pregunta que debe plantearse en este punto es ¿En qué regiones y localidades agrícolas fue donde se dieron los incrementos en las áreas de siembra traducido productivamente en más materia prima procesada y azúcar fabricada? ¿Dónde y cómo se han desplazado territorialmente las plantaciones de caña de azúcar en el país? Mucho puede especularse al respecto sin contar sin embargo con datos fidedignos que den sustento y solidez a la respuesta de tan válidas inquietudes.

Procurando atender y resolver esa sentida e inconveniente carencia institucional eliminando a la vez, el vacío de información sectorial prevaleciente, se presenta en este documento un avance importante que permite a la luz de la información recabada y disponible, organizar, conformar y presentar la serie de datos oficiales del sector sobre las áreas de siembra desagregada por región para el periodo 1985-2020, correspondiente a las últimas 36 zafras operadas en forma continua en los ingenios azucareros de Costa Rica.

Objetivos

El presente documento se formuló buscando cumplir y satisfacer varios objetivos importantes

de alcance y de interés institucional y sectorial, como son entre otros los siguientes:

General:

Conocer con grado de detalle el comportamiento y la tendencia seguida durante las últimas 36 zafras, periodo 1985-2020, por las áreas sembradas con caña de azúcar en Costa Rica, desagregada y expuesta específicamente en cada una de las seis regiones productoras de materia prima destinada a la fabricación de azúcar.

Específicos:

- a) Conocer y perfilar geográficamente la tendencia de siembra de caña valorada de manera continua y sistemática en el tiempo, en cada región agrícola.
- b) Ubicar los periodos específicos de incremento y/o reducción de cultivo según región productora.
- c) Dimensionar los cambios y los movimientos territoriales acontecidos en lo concerniente a siembra y consecuente producción de caña durante las últimas 36 zafas operadas en Costa Rica.
- d) Aportar información que permita proyectar y estimar el potencial, la posible participación y el eventual desplazamiento que tendrán a futuro cada una de las actuales regiones cañeras en cuanto a siembra y producción de materia prima azucarada.
- e) Ordenar y dejar constancia sectorial para la posteridad, de las áreas de cultivo de caña establecidas en cada una de las regiones productoras durante el periodo de tiempo estudiado.

Hasta la zafra 2011-2012 cabe señalar para mejor comprensión e interpretación que no se contó con información recabada de manera ordenada y sistemática, lo que posteriormente por esfuerzo propio del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA) con el apoyo decidido de LAICA, se procedió a corregir la debilidad y se habilitó un sistema de información confiable, como se comentará seguidamente.

Procedimiento seguido para la obtención de la información

Entendamos en primera instancia para evitar

confusión, que una serie de datos es un conjunto de valores, en este caso de carácter numérico, que van directamente ligados a una secuencia temporal de información asociada con el área de siembra de plantas de caña de azúcar en el campo, medida en hectáreas.

Para estructurar la serie de datos aquí expuesta, vale indicar virtud de su trascendencia, que en su proceso de recolección y ordenamiento de la información se encontraron una serie de impedimentos y limitantes que debieron insoslayable e imperativamente superarse para lograr alcanzar parcialmente los objetivos propuestos originalmente. Entre dichas limitantes pueden citarse por su relevancia, entre otras, las siguientes:

- 1) El sector carecía y sigue aún carente de información confiable proporcionada de manera formal por cada una de las unidades agroproductivas de la organización registradas ante LAICA, lo que genera heterogeneidad y algún sesgo razonable.
- 2) Lo anterior ocurre porque no existe a la fecha un mandato superior emitido por LAICA como organización líder con alcance legal, que obligue a las unidades productoras de caña, llámese Ingenios y grandes empresas cañeras como Productores No Independientes, hacer entrega de la información sobre el área sembrada y también cosechada que operan por periodo de zafra; como si ocurre con el resto de la información agroindustrial (caña cortada e indicadores de calidad de la materia prima).
- 3) Acontece entonces que algunas unidades de producción ceden la información, pero otras no, lo que crea un estado de insuficiencia y desequilibrio manifiesto en esa materia.
- 4) Los datos de área cultivada proporcionados corresponden muchas veces a simples y gruesas aproximaciones.

- 5) En el caso de los Productores Independientes y No Independientes de caña, de acuerdo con lo que establece la legislación azucarera (Ley N° 7818 de LAICA), se carece casi en su totalidad de la información requerida.
- 6) Disponer esa información permitiría y favorecería obtener los índices reales de productividad agrícola e industrial nacional referidos a producción de caña y azúcar por unidad de área (toneladas/hectárea); lo cual sería incuestionablemente de mucho valor para fines de estimación, proyección y planificación.

Esta situación volvía los intentos de estimación del área sembrada cada año muy difíciles, complejos y onerosos virtud del trabajo intenso y desgastante que implicaba; lo que ameritaba y volvía prioritario adoptar de inmediato un mecanismo de índole más rutinario, exacto, rápido en su ejecución y menos costoso en los recursos que implicaba, lo que al final dichosamente se consiguió.

Para la obtención y organización de la información expuesta en el presente documento se emplearon dos mecanismos estratégicos: a) uno formal de carácter personal y b) otro institucionalmente correcto y con fuerte trasfondo tecnológico. El producto final obtenido y aquí expuesto, implicó y conllevó la combinación de ambos criterios que una vez integrados permitieron crear y organizar la serie de datos sobre áreas sembradas con caña de azúcar de las últimas 36 zafas, correspondiente al periodo 1985-2020.

En relación con el primer criterio a) debe reiterarse y tener presente que el hecho de carecer de un mecanismo oficial para obtener datos, como se indicó, no eximía en absoluto al sector de la obligación de disponer de la información correspondiente al área nacional sembrada; la cual debe por mandato superior entregarse todos los años por parte de LAICA y

como obligación institucional, a la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA), la cual la incorpora a las cuentas nacionales junto con otros indicadores de importancia sectorial y nacional para ser empleada con fines de proyección productiva, macroeconómica (PIB, PIBA) y de fiscalización interna e internacional (FAO).

En ese sentido cabe reiterar lo señalado oportunamente por Chaves y Chavarría (2021) al manifestar, que:

“La información recolectada y expuesta en el presente trabajo es obtenida, organizada y presentada todos los años por el Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), órgano tecnológico sectorial perteneciente a la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA) para fines institucionales internos de estimación de indicadores de rendimiento y productividad agroindustrial; también de uso público como destino final.

La misma forma parte de los indicadores que el sector azucarero debe oficiosamente entregarle anualmente a la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA), organización de apoyo técnico al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), como rector del Sector Agropecuario.

La información se integra a toda la documentación de índole sectorial público-privada promulgada por el sector agropecuario costarricense y que circula a nivel nacional e internacional (SEPSA 2020).”

Bajo esa inexcusable e insoslayable obligación todos los años el sector azucarero por medio de LAICA, debía generar la información del área sembrada con caña en el país para entregar a SEPSA, lo cual implicaba realizar un ejercicio interno de proyección y estimación apegado a



valores presuntivos. Al respecto debe señalarse que inicialmente desde el MAG y a partir de 1990 desde DIECA, se generó información en esa orientación. Sin embargo, con el cuidado respectivo y la acuciosidad del caso, el Ing. Agr. Marco Chaves S., en primera instancia como funcionario de la Sección de Caña ministerial y luego como Gerente Departamental en LAICA, se esmeró en profundizar las consultas con los escasos y limitados recursos disponibles en ese momento, acudiendo a los Ingenios, empresas cañeras importantes, grandes productores y agricultores colaboradores para obtener información en cada una de las regiones productoras que favoreciera una estimación lo más realista posible.

Esto permitió acumular información desde el año 1985 y hasta el 2011, la cual nunca se hizo pública en forma desagregada, sino solo integrada como dato nacional por lo que resultaba inédita.

Obviamente esta información basada en estimaciones mantenía algún grado de sesgo por causa de ser parcial y no corresponder a un Censo cañero regional como si ocurrió luego (Chaves 2017a). Importante anotar y agregar que este periodo se unió a la carencia que se tuvo en el país, de no tener Censos Agropecuarios Naciones, pues el anterior se

había realizado en 1984 y el último fue realizado hasta el año 2014 luego de largos 30 años. Bajo esa metodología se logró recabar y ordenar datos del periodo 1985-2011 por 26 zafras (años), no así de periodos anteriores pues no se contó con la información necesaria y apropiada.

A partir de la zafra 2012-13 y durante los últimos 8 años el levantamiento de las áreas se ha realizado con la información de la base de datos georreferenciada estructurada en el 2012, obtenida según el procedimiento y metodología descrito por Chaves y Chavarría (2013) y actualizada mediante fotointerpretación de imágenes satelitales con resolución de 2 x 2 m por pixel, para conformar la base de datos SIG con los polígonos de las áreas cultivadas con caña de azúcar.

La base de datos SIG representa el área total sembrada (en hectáreas) con caña de azúcar independientemente del destino de la plantación, por lo que no discrimina las plantaciones que son cosechadas como materia prima para la elaboración de dulce de panela, alimentación animal o cobertura vegetal. El sistema de información geográfica (SIG) es un marco de trabajo para reunir, gestionar y analizar datos.

El análisis espacial de la información se dio

mediante superposición de las capas con los polígonos de caña de azúcar con la capa de polígonos de la de la División Territorial Administrativa de Costa Rica disponible en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y concordante con lo señalado por Acuña (2018) y Costa Rica (2007, 2019). Esta labor complementada con la necesaria y obligada verificación y comprobación de campo a partir de la opinión experta de los profesionales de DIECA ubicados en cada región y la razonable rectificación en los casos que lo ameritaba, generaron los datos de área sembrada en cada una de las seis regiones productoras de caña oficialmente establecidas en la Ley N° 7818 de 1998 y su Reglamento (LAICA 1998, 2000).

Hay que indicar que, en un ejercicio interno y muy específico para cada región, se procede a identificar en primera instancia y luego a eliminar las áreas no destinadas a la fabricación de azúcar como son las dedicadas a elaborar dulce de panela, alimentación y uso pecuario, cobertura vegetal, entre otras. El grado de exactitud generada con este procedimiento georreferenciado es muy alto y cada vez se mejora y consolida en eficacia, precisión y confianza. Cabe reiterar que lo ideal sería que las unidades productivas mayores hicieran entrega del dato real, lo que sigue siendo una aspiración institucional y sectorial por cumplir a futuro.

Bajo esos dos criterios fue que se estructuró la serie histórica de datos del área sembrada con caña para cada una de las seis regiones productoras de caña orientadas a fabricar azúcar en Costa Rica, correspondiente al periodo 1985-2020 que incluye las últimas 36 zafras.

La información expuesta fue analizada estadísticamente en las variables e indicadores de posición y dispersión más importantes y representativos, con el objeto de ubicar el desplazamiento y la tendencia seguida durante el periodo de tiempo evaluado. Debe indicarse que los datos finales no fueron ajustados,

rectificados ni modificados en ningún sentido, por lo cual, lo aquí expuesto corresponde a lo obtenido y estimado.

Factores que intervienen en la decisión de sembrar

El hecho de sembrar más caña para ampliar y extender la dimensión territorial de las plantaciones no es un asunto que nace del simple arraigo, tradición y cariño por cultivar caña y menos aún de la inercia; sino que responde a razones, circunstancias y factores personales, familiares, sectoriales, nacionales y mundiales que crean las condiciones mediáticas y/o coyunturales que motivan, inducen y provocan la posible ampliación, mantenimiento o en su caso hasta la reducción de las áreas potenciales o disponibles.

La disposición a sembrar es por esto una acción circunscrita y vinculada a un complejo y multivariado conjunto de factores, elementos y circunstancias que determinan el acto final. En el Cuadro 3 se citan 10 factores principales y 85 elementos y circunstancias particulares asociadas que inciden de manera determinante en la decisión de un agricultor o empresario a sembrar caña; sea por su condición y/o efecto positivo, o por el contrario negativo y desestimulante.



Cuadro 3.

Factores (10) y elementos (85) que intervienen en la decisión de producir caña de azúcar.

Climáticos	Edáficos	Biológicos	Hídricos	Manejo
Lluvia	Textura	Plagas	Agua	Tecnología
Temperatura	Ácidoz	Enfermedades	Sequía	Insumos
Luz	Materia Orgánica	Varietades	Inundación	Conocimiento
Viento	Salinidad	Ciclo Vegetativo	Cantidad Recurso	Condiciones
Frecuencia	Compactación	Malezas	Calidad Recurso	Interés
Distribución	Pedregocidad	Microflora	Distribución	Potencial Prod.
Temporalidad	Erosión	Actividad	Frecuencia	
Tormentas	Relieve	Maduración	Evapotranspiración	
Huracanes	Grado Pendiente			
	Degradación			
	Grado Fertilidad			
9 (10,6%)	11 (12,9%)	8 (9,4%)	8 (9,4%)	6 (7,1%)

Equipo	Infraestructura	Económicos	Comerciales	Otros
Disponibilidad	Riego - Drenaje	Costos Asociados	Mercado	Área sembrada (ha)
Oportunidad	Almacenamiento	Precios Pagados	Administración	Recurso Humano
Idoneidad	Producción	Utilidad Final	Calidad Mat. Prima	Ubicación Geográfica
Calidad	Capacidad	Crédito	Entorno Mundial	Distancia (km) al Ingenio
Capacidad	Fabril	Acceso	Situación Nacional	Disponibilidad de Servicios
Cantidad		Condiciones	Estimulos	Potencial de Expansión
Tipo		Cuota Azucarera	Restricciones	Asistencia Técnica
		Mercado Mundial	Otras opcion	Restricciones Ambientales
		Competencia	es	Legislación
				Apego por el agro
				Tradición familiar
				Estímulo Estatal
				Cambio Generacional
				Frontera Agrícola
				Políticas
7 (8,2%)	4 (4,7%)	9 (10,6%)	8 (9,4%)	15 (17,7%)

Fuente: Elaborado por los autores.

Nota: cada ítem debe interpretarse en acción sinérgica o antagónica según sea el caso y la circunstancia por lo que son relativos.

Como puede inferirse de la información contenida en el cuadro anterior hay factores de índole biótico, abiótico, controlable, no posible de intervenir, técnico, económico, ambiental, personal, institucional, administrativo, de naturaleza nacional e internacional que forman parte de la decisión final. Puede concebirse que en realidad la decisión por adoptar y resolver sobre un acto simple como es sembrar o no caña, se torna compleja y responde a la integración y conjunción de varios de esos factores y elementos.

No hay duda de que entre toda esa amplia gama de asuntos hay algunos que son más importantes que otros como son los vinculados con los costos asociados y el precio pagado por el producto entregado (caña) traducido en una utilidad final satisfactoria. Esa condición viene intrínsecamente ligada con factores de carácter climático, edáfico relacionados con la fertilidad, el potencial agroproductivo, la fitosanidad y la aptitud integral del lugar para producir caña de calidad.

Se tienen también los relacionados con la disponibilidad de agua, el nivel de riesgo de sequía o inundación, el poder contar con terrenos mecanizables, unidades integradas que favorezcan las economías de escala. La calidad, distancia (km) y capacidad de procesamiento y fabricación de las unidades fabriles existentes en el lugar marcan igualmente pauta. La decisión de sembrar debe basarse en la suma de factores favorables y controlables que potencien el éxito empresarial y nunca en tener que confrontar la naturaleza en un acto perdido y de muy alto costo. La planificación, administración y el uso de información correcta y apropiada forman parte inevitable de ese éxito.

El entorno donde deba sembrarse la caña está condicionado por muchos factores que deben ser considerados en su integralidad y no apenas por su condición particular, como lo han señalado Chaves (2017b, 2019abc, 2020abcde) y Chaves y Chavarría (2017).

Comportamiento y tendencia de las áreas sembradas por región

Con el objeto de proceder con el análisis de la información de áreas sembradas con caña de azúcar en Costa Rica durante el periodo 1985-2020, correspondiente a las últimas 36 zafas, se presenta el Cuadro 4 en el cual se expone la información desagregada por región e integrada como país para ese lapso.

Mucho puede comentarse en torno a esa información pues se notan de primera mano las significativas diferencias y profundas variaciones que se dan entre regiones agrícolas y a lo interno de cada una de ellas, entre periodos de cosecha. Es evidente que no caben en este caso las generalizaciones ni patrones preconcebidos de tendencia, pues la territorialidad parece ser un factor altamente volátil. Como se comentará oportunamente, la dispersión de los datos de área de siembra regional se torna más variable durante la última década, lo cual puede ser perfectamente vinculado y asociado con tres elementos principales que han contribuido con ese comportamiento, como son:

- 1) **Razones económicas:** expresadas en bajos precios, altos costos y baja rentabilidad final. Con influencia y dependencia internacional.
- 2) **Factores climáticos:** manifestados por impactos ocasionados por inundaciones, sequías, tormentas y huracanes.
- 3) **Impacto por "extracuota":** distorsión del mercado asociada directamente al primer punto, la cual se torna en un claro desestímulo para un segmento importante de productores, sobre todo ubicados en las Zonas Norte y Sur, por no encontrar solución pronta al problema, lo que opera de manera negativa en la intención de invertir y expandirse.

Cuadro 4.

Áreas de siembra (en hectáreas) de caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 1985-2020 (36 Zafra).

Zafra	Guanacaste	Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte	Turrialba	Zona Sur	Total
1985-86	15.000	4.000	4.300	3.800	4.100	2.800	34.000
1986-87	15.300	4.300	4.100	4.000	4.000	2.800	34.500
1987-88	16.100	4.700	4.100	4.400	3.900	2.900	36.100
1988-89	16.500	5.000	4.100	4.800	3.900	2.900	37.200
1989-90	17.100	5.100	4.300	5.200	4.000	3.000	38.700
1990-91	18.800	5.400	4.600	5.600	4.000	3.100	41.500
1991-92	19.300	5.850	4.500	5.650	3.900	3.200	42.400
1992-93	20.000	6.000	4.400	5.800	3.800	3.200	43.200
1993-94	21.000	6.400	4.800	6.000	4.000	3.300	45.500
1994-95	21.500	6.550	4.950	6.150	4.150	3.500	46.800
1995-96	21.850	6.450	4.900	6.100	4.000	3.500	46.800
1996-97	22.200	6.500	4.800	6.300	3.700	3.600	47.100
1997-98	22.030	6.500	4.800	6.400	3.800	3.700	47.230
1998-99	23.410	6.600	4.900	6.500	3.600	3.800	48.810
1999-00	23.400	6.600	4.900	6.500	3.700	3.800	48.900
2000-01	24.300	6.700	4.800	6.400	3.800	3.900	49.900
2001-02	22.500	6.700	4.800	6.500	3.900	4.100	48.500
2002-03	22.900	6.600	4.600	6.700	3.800	4.500	49.100
2003-04	24.300	6.700	4.500	6.700	3.500	4.700	50.400
2004-05	24.700	6.700	4.300	6.800	3.600	5.100	51.200
2005-06	25.400	6.800	4.100	7.300	3.700	5.300	52.600
2006-07	28.100	6.900	4.000	7.500	3.900	5.200	55.600
2007-08	26.800	6.400	4.250	8.100	4.100	4.900	54.550
2008-09	24.820	6.260	4.490	8.600	4.260	4.600	53.030
2009-10	29.600	5.000	4.265	7.900	4.315	4.650	55.730
2010-11	30.500	5.480	4.250	7.900	4.700	4.650	57.480
2011-12	31.100	5.600	4.200	7.900	4.500	4.300	57.600
2012-13	34.514	5.977	4.445	8.934	4.905	4.541	63.316
2013-14	34.480	5.947	4.398	8.934	4.905	4.541	63.205
2014-15	35.951	5.947	4.398	8.934	4.905	4.541	64.676
2015-16	39.251	5.888	4.693	6.092	5.020	4.541	65.485
2016-17	35.197	5.626	4.202	9.806	4.908	4.512	64.251
2017-18	33.605	5.884	4.021	8.812	4.440	3.237	60.000
2018-19	34.682	5.906	3.821	9.240	4.615	4.366	62.630
2019-20	34.992	5.969	3.770	9.248	4.482	4.205	62.666
2020-21	33.357	5.921	3.520	9.605	4.124	4.141	60.668
Promedio	25.682	5.968	4.396	6.975	4.137	3.990	51.148
Valor Máximo	39.251	6.900	4.950	9.806	5.020	5.300	65.485
Valor Mínimo	15.000	4.000	3.520	3.800	3.500	2.800	34.000
Dif (Max-Min)	24.251	2.900	1.430	6.006	1.520	2.500	31.485
Desviación Estándar	6.772	722	354	1.609	430	739	9.153
CV (%)	26,37	12,09	8,06	23,07	10,39	18,53	17,90

Fuente: Elaborado por los autores.

Cuadro 4b.

Áreas de siembra (en hectáreas) de caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 1985-2020 (36 Zafra).

Zafra	Guanacaste	Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte	Turrialba	Zona Sur	Total
1985-86	15.000	4.000	4.300	3.800	4.100	2.800	34.000
1986-87	15.300	4.300	4.100	4.000	4.000	2.800	34.500
1987-88	16.100	4.700	4.100	4.400	3.900	2.900	36.100
1988-89	16.500	5.000	4.100	4.800	3.900	2.900	37.200
1989-90	17.100	5.100	4.300	5.200	4.000	3.000	38.700
1990-91	18.800	5.400	4.600	5.600	4.000	3.100	41.500
1991-92	19.300	5.850	4.500	5.650	3.900	3.200	42.400
1992-93	20.000	6.000	4.400	5.800	3.800	3.200	43.200
1993-94	21.000	6.400	4.800	6.000	4.000	3.300	45.500
1994-95	21.500	6.550	4.950	6.150	4.150	3.500	46.800
1995-96	21.850	6.450	4.900	6.100	4.000	3.500	46.800
1996-97	22.200	6.500	4.800	6.300	3.700	3.600	47.100
1997-98	22.030	6.500	4.800	6.400	3.800	3.700	47.230
1998-99	23.410	6.600	4.900	6.500	3.600	3.800	48.810
1999-00	23.400	6.600	4.900	6.500	3.700	3.800	48.900
2000-01	24.300	6.700	4.800	6.400	3.800	3.900	49.900
2001-02	22.500	6.700	4.800	6.500	3.900	4.100	48.500
2002-03	22.900	6.600	4.600	6.700	3.800	4.500	49.100
2003-04	24.300	6.700	4.500	6.700	3.500	4.700	50.400
2004-05	24.700	6.700	4.300	6.800	3.600	5.100	51.200
2005-06	25.400	6.800	4.100	7.300	3.700	5.300	52.600
2006-07	28.100	6.900	4.000	7.500	3.900	5.200	55.600
2007-08	26.800	6.400	4.250	8.100	4.100	4.900	54.550
2008-09	24.820	6.260	4.490	8.600	4.260	4.600	53.030
2009-10	29.600	5.000	4.265	7.900	4.315	4.650	55.730
2010-11	30.500	5.480	4.250	7.900	4.700	4.650	57.480
2011-12	31.100	5.600	4.200	7.900	4.500	4.300	57.600
2012-13	34.514	5.977	4.445	8.934	4.905	4.541	63.316
2013-14	34.480	5.947	4.398	8.934	4.905	4.541	63.205
2014-15	35.951	5.947	4.398	8.934	4.905	4.541	64.676
2015-16	39.251	5.888	4.693	6.092	5.020	4.541	65.485
2016-17	35.197	5.626	4.202	9.806	4.908	4.512	64.251
2017-18	33.605	5.884	4.021	8.812	4.440	3.237	60.000
2018-19	34.682	5.906	3.821	9.240	4.615	4.366	62.630
2019-20	34.992	5.969	3.770	9.248	4.482	4.205	62.666
2020-21	33.357	5.921	3.520	9.605	4.124	4.141	60.668
Promedio	25.682	5.968	4.396	6.975	4.137	3.990	51.148
Valor Máximo	39.251	6.900	4.950	9.806	5.020	5.300	65.485
Valor Mínimo	15.000	4.000	3.520	3.800	3.500	2.800	34.000
Dif (Max-Min)	24.251	2.900	1.430	6.006	1.520	2.500	31.485
Desviación Estándar	6.772	722	354	1.609	430	739	9.153
CV (%)	26,37	12,09	8,06	23,07	10,39	18,53	17,90

Fuente: Chaves (2021)

Cuadro 4c.

Áreas de siembra (en hectáreas) de caña de azúcar en Costa Rica según región productora. Periodo 1985-2020 (36 Zafras).

Zafra	Guanacaste	Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte	Turrialba	Zona Sur	Total
1985-86	15.000	4.000	4.300	3.800	4.100	2.800	34.000
1986-87	15.300	4.300	4.100	4.000	4.000	2.800	34.500
1987-88	16.100	4.700	4.100	4.400	3.900	2.900	36.100
1988-89	16.500	5.000	4.100	4.800	3.900	2.900	37.200
1989-90	17.100	5.100	4.300	5.200	4.000	3.000	38.700
1985-89	16.000	4.620	4.180	4.440	3.980	2.880	36.100
1990-91	18.800	5.400	4.600	5.600	4.000	3.100	41.500
1991-92	19.300	5.850	4.500	5.650	3.900	3.200	42.400
1992-93	20.000	6.000	4.400	5.800	3.800	3.200	43.200
1993-94	21.000	6.400	4.800	6.000	4.000	3.300	45.500
1994-95	21.500	6.550	4.950	6.150	4.150	3.500	46.800
1990-94	20.120	6.040	4.650	5.840	3.970	3.260	43.880
1995-96	21.850	6.450	4.900	6.100	4.000	3.500	46.800
1996-97	22.200	6.500	4.800	6.300	3.700	3.600	47.100
1997-98	22.030	6.500	4.800	6.400	3.800	3.700	47.230
1998-99	23.410	6.600	4.900	6.500	3.600	3.800	48.810
1999-00	23.400	6.600	4.900	6.500	3.700	3.800	48.900
1995-99	22.578	6.530	4.860	6.360	3.760	3.680	47.768
2000-01	24.300	6.700	4.800	6.400	3.800	3.900	49.900
2001-02	22.500	6.700	4.800	6.500	3.900	4.100	48.500
2002-03	22.900	6.600	4.600	6.700	3.800	4.500	49.100
2003-04	24.300	6.700	4.500	6.700	3.500	4.700	50.400
2004-05	24.700	6.700	4.300	6.800	3.600	5.100	51.200
2000-04	23.740	6.680	4.600	6.620	3.720	4.460	49.820
2005-06	25.400	6.800	4.100	7.300	3.700	5.300	52.600
2006-07	28.100	6.900	4.000	7.500	3.900	5.200	55.600
2007-08	26.800	6.400	4.250	8.100	4.100	4.900	54.550
2008-09	24.820	6.260	4.490	8.600	4.260	4.600	53.030
2009-10	29.600	5.000	4.265	7.900	4.315	4.650	55.730
2005-09	26.944	6.272	4.221	7.880	4.055	4.930	54.302
2010-11	30.500	5.480	4.250	7.900	4.700	4.650	57.480
2011-12	31.100	5.600	4.200	7.900	4.500	4.300	57.600
2012-13	34.514	5.977	4.445	8.934	4.905	4.541	63.316
2013-14	34.480	5.947	4.398	8.934	4.905	4.541	63.205
2014-15	35.951	5.947	4.398	8.934	4.905	4.541	64.676
2010-14	33.309	5.790	4.338	8.520	4.783	4.515	61.255
2015-16	39.251	5.888	4.693	6.092	5.020	4.541	65.485
2016-17	35.197	5.626	4.202	9.806	4.908	4.512	64.251
2017-18	33.605	5.884	4.021	8.812	4.440	3.237	60.000
2018-19	34.682	5.906	3.821	9.240	4.615	4.366	62.630
2019-20	34.992	5.969	3.770	9.248	4.482	4.205	62.666
2020-21	33.357	5.921	3.520	9.605	4.124	4.141	60.668
2015-20	35.181	5.866	4.005	8.801	4.598	4.167	62.617

Fuente: Elaborado por los autores.

En el Cuadro 5 se presenta la misma información anterior pero resumida y reducida en este caso a periodos promedio de 5 años (Quinquenios), con lo cual es posible tener una ponderación más conveniente de los cambios reales acontecidos en el tiempo en cada periodo, pues se eliminan efectos parciales que podrían ser circunstanciales, fortuitos o provocados por razones de fuerza mayor, como ha sucedido con pérdidas de área provocadas por razones ambientales como inundaciones y/o sequías o en su caso fitosanitarias por plagas y patógenos.

Los cambios observados son más suaves y menos impactantes. El criterio de ordenamiento expuesto es importante para valoraciones de la serie más convenientes.

Destaca de toda esa información (Cuadros 4 y 5) la gran variabilidad y dispersión que existe en la misma, razón por la cual será por prudencia analizada a continuación de manera individual por región, procurando con ello lograr una mejor precisión en las inferencias y conclusiones que puedan generarse y derivarse. Destaca que la zafra de menor área es la más antigua, aunque la de mayor dimensión territorial no es tampoco la última, pues varía entre localidades de acuerdo con las condiciones de cada región agrícola. No cabe duda de que la exposición regional de los datos es de gran valor para el análisis, pues la integrada en forma nacional oculta, distrae y distorsiona los efectos individuales generando un resultado con menos capacidad discernimiento de la realidad del campo.

Cuadro 5

Promedio de las áreas de siembra (en hectáreas) de caña de azúcar por Quinquenio según región productora. Periodo 1985-2020 (36 Zafras).

Zafra	Guanacaste	Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte	Turrialba	Zona Sur	Total
1985-89	16.000	4.620	4.180	4.440	3.980	2.880	36.100
1990-94	20.120	6.040	4.650	5.840	3.970	3.260	43.880
1995-99	22.578	6.530	4.860	6.360	3.760	3.680	47.768
2000-04	23.740	6.680	4.600	6.620	3.720	4.460	49.820
2005-09	26.944	6.272	4.221	7.880	4.055	4.930	54.302
2010-14	33.309	5.790	4.338	8.520	4.783	4.515	61.255
2015-20 *	35.181	5.866	4.005	8.801	4.598	4.167	62.617

Fuente: Elaborado por los autores.

Nota: Cada valor es el promedio de años del Quinquenio.

* Es el promedio de seis zafras.

A. Nacional:

El área de cultivo con caña de azúcar existente en el país muestra una tendencia creciente positiva durante todo el periodo de tiempo analizado, obviamente con presencia de algunos eventos de reducción muy específicos y puntuales en determinados años, inducidos básicamente por razones de naturaleza climática (sequía, inundación, tormentas) y económica (bajos precios, altos costos, baja rentabilidad). La Figura 1 y los Cuadros 4 y 5 permiten ubicar los periodos donde la tendencia con pendiente ascendente se rompió, como aconteció particularmente entre las zafras 2001-02 a la 2011-12 con leves aumentos (2006-07). La dinámica observada luego del

periodo 2012-13 es alta con una severa reducción en la zafra 2017-18. Pareciera que luego del periodo 2015-16 cuando se reporta la mayor área histórica sembrada con caña de azúcar en Costa Rica con 65.485 hectáreas, la tendencia nacional es hacia la desaceleración y reducción sistemática del área sembrada. Mucho del comportamiento en cuanto al área sembrada con caña de azúcar en Costa Rica lo marcan lo acontecido en las regiones de Guanacaste y Zona Norte. **Sería esperable que el país mantenga a futuro y en los próximos años un área cultivada con caña en un rango entre 60.000 y 65.000 hectáreas.**

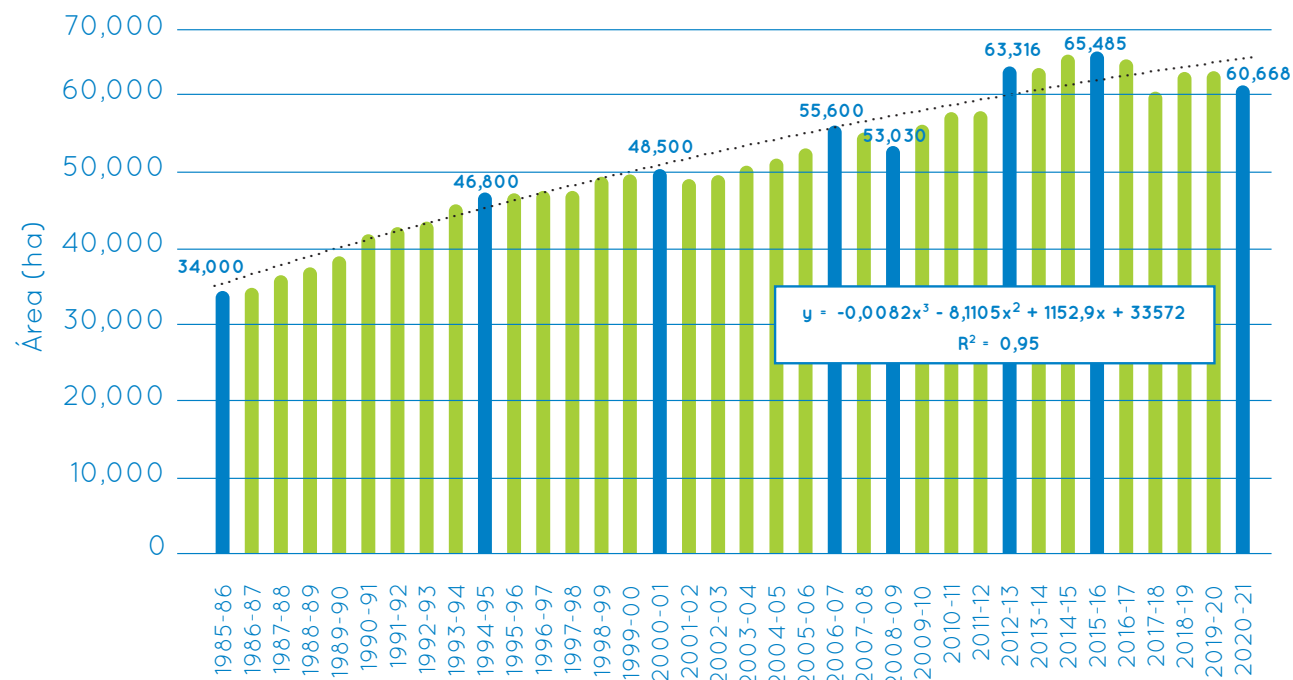


Figura 1.

Área de caña de azúcar sembrada en Costa Rica. Periodo 1985-2020.

B. Guanacaste:

Esta región es por antecedente y mérito propio la más importante del país durante los últimos 50 años valorada y juzgada desde una perspectiva estrictamente productiva y económica, al ser la zona que más caña produce, procesa y más azúcar fabrica; lo cual como resulta obvio entender, se extiende a poseer también el área territorial sembrada con caña más amplia y extensa del país. Asimismo, es la que posee mayor capacidad instalada nominal de procesamiento de materia prima y fabricación de azúcar. Es a partir de los años 60 cuando se activa, impulsa, fortalece y dinamiza la siembra en esta región, auspiciada por el incremento acontecido en la reasignación de la cuota azucarera norteamericana al país, lo que derivó en un significativo beneficio económico, como lo señalaran Chaves (1997), Barboza *et al* (1982), León y Arroyo

(2012), Angulo *et al* (2020) y Chaves y Bermúdez (2021). La Figura 2 y los Cuadros 4 y 5 exponen la tendencia de crecimiento observada en esta región mostrando un marcado crecimiento sistemático con un aumento significativo del área luego de la zafra 2009-10 hasta alcanzar su nivel máximo con 39.251 hectáreas, logrado en la zafra 2015-16, luego de lo cual la caída y reducción del área ha sido vertiginosa y significativa, hasta llegar a las 33.357 hectáreas reportadas en la última zafra 2020-21. Es notorio el periodo de reducción verificado entre las zafras 2001-02 y 2005-06. Obsérvese que la tendencia de esta región es muy similar a la nacional, pues como se indicó, es la que más aporta a la tendencia. **Sería esperable que esta región opere a futuro en un rango de área sembrada entre las 31.000 y 36.000 hectáreas.**

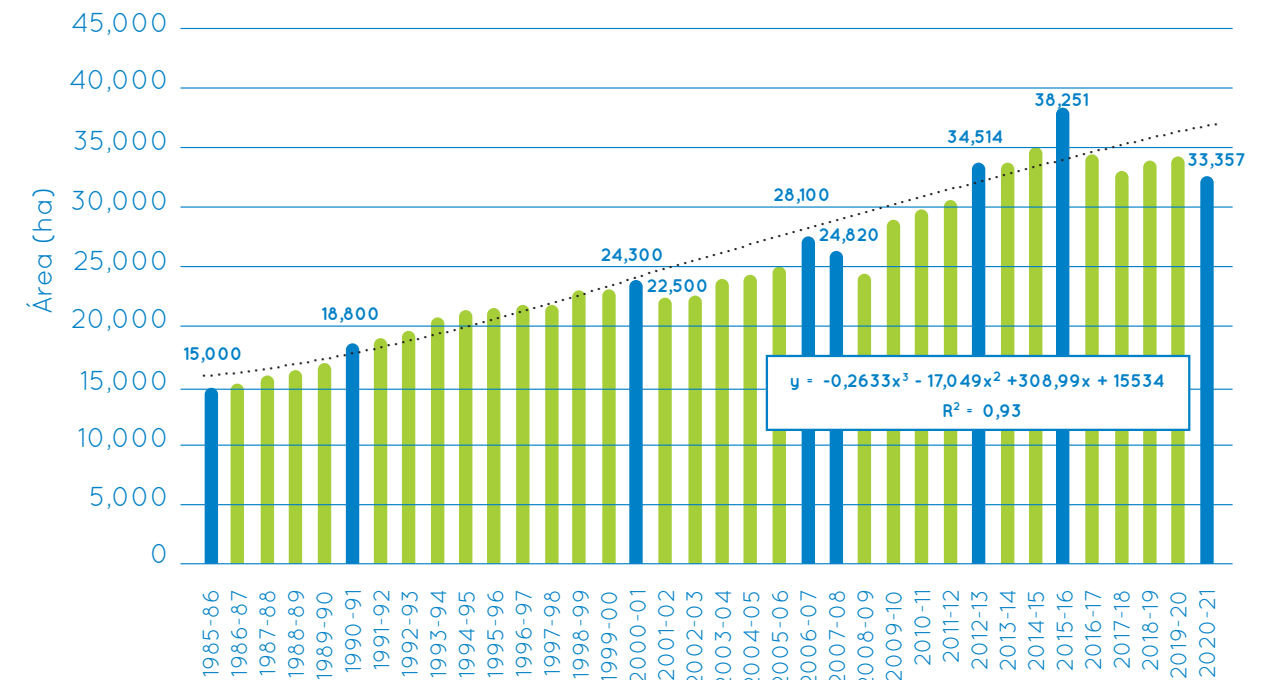


Figura 2.

Área de caña de azúcar sembrada en Guanacaste. Periodo 1985-2020.

C. Pacífico Central

Esta importante región cañera que fuera por muchos años la segunda en importancia por su aporte productivo, sigue un recorrido con tendencia ondulada caracterizada por altibajos marcados por un inicio ascendente de las áreas cultivadas hasta culminar en su máximo de 6.900 hectáreas, verificado en el periodo 2006-07, para luego decaer hasta 5.000 ha en la zafra 2009-10 cuando alcanza su nivel más bajo, como se aprecia en la Figura 3 y los Cuadros 4 y 5. La tendencia posterior ha sido variable con la presencia de altibajos marcados por un importante crecimiento hasta las 5.977 hectáreas acontecido en la zafra 2012-13 y variaciones

posteriores que culminan con un reporte de siembra en el último periodo de molienda de 5.921 hectáreas. Esta región ha venido perdiendo de manera sistemática una gran cantidad de sus Productores Independientes ubicados tradicionalmente en la zona de Esparza, San Mateo, Miramar y localidades circundantes; razón por la cual hoy día y desde hace varios años, es Azucarera El Palmar la que marca el ritmo de siembra y producción de caña y azúcar en el lugar. **La estabilidad pareciera ser la tendencia futura de esta región operando en un rango entre 5.700 y 6.200 hectáreas de cultivo.**

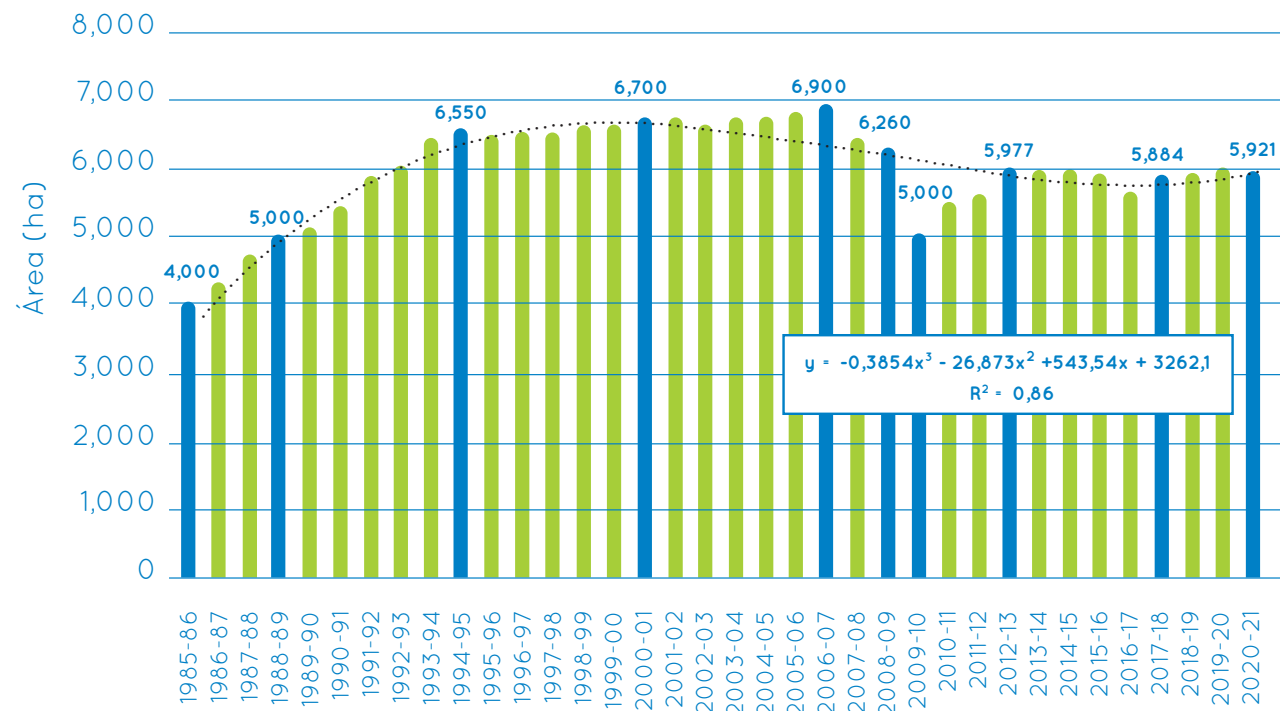


Figura 3.

Área sembrada con caña de azúcar en el Pacífico Central. Periodo 1985-2020. 20.

D. Valle Central

Esta tradicional y pionera región productora de caña y fabricación de azúcar esta caracterizada por mantener una severa y acelerada reducción de sus áreas de cultivo con el paso de los años, inducida por el dinámico e imparable desarrollo urbanístico, el alto costo de la tierra, el surgimiento de otras opciones comerciales alternativas más rentables, los conflictos ambientales constantes, el cambio generacional, la carencia de mano de obra calificada para realizar labores agrícolas y la imposibilidad de encontrar áreas idóneas para operar el desplazamiento de las actuales en bloques territoriales uniformes e integrados con capacidad y potencial mecanizable que favorezca las economías de escala. El futuro de la región es incierto aunque algo previsible virtud de que la tendencia es fuerte y muy clara en sus posibles resultados.

Es asequible observar en la Figura 4 y los Cuadros 4 y 5 los cambios sinuosos verificados en la tendencia de siembra con el paso del tiempo, notando como hecho

diferenciador que la zafra más antigua 1985-86 no es la de menos área cultivada, sino por el contrario, ese índice lo tiene la última zafra 2020-21 con un reporte de apenas 3.520 hectareas sembradas y con una clara y marcada tendencia hacia la baja. Fue en el periodo 1994-95 cuando se reporta la mayor área con un índice de 4.950 hectáreas, destacando el 2015-16 con un repunte hasta 4.693 ha producto de un esfuerzo local por tratar de recuperar la capacidad productiva perdida. Es de todos conocido que ante este peligroso efecto reductor la región ha debido traer materia prima de otras regiones como la Zona Norte, Turrialba, Puntarenas y hasta la lejana Zona Sur, para mantener en operación sus unidades fabriles, varias de las cuales ya han dejado de fabricar azúcar, quedando hoy día apenas dos. **Una proyección futura indica que el área de esta región podría estabilizarse en los próximos años entre las 2.400 y 2.900 hectáreas, con el peligro de caer aún más caso acontezca un evento extraordinario de índole comercial, industrial o urbanístico, lo cual no esta nada alejado de las posibilidades.**

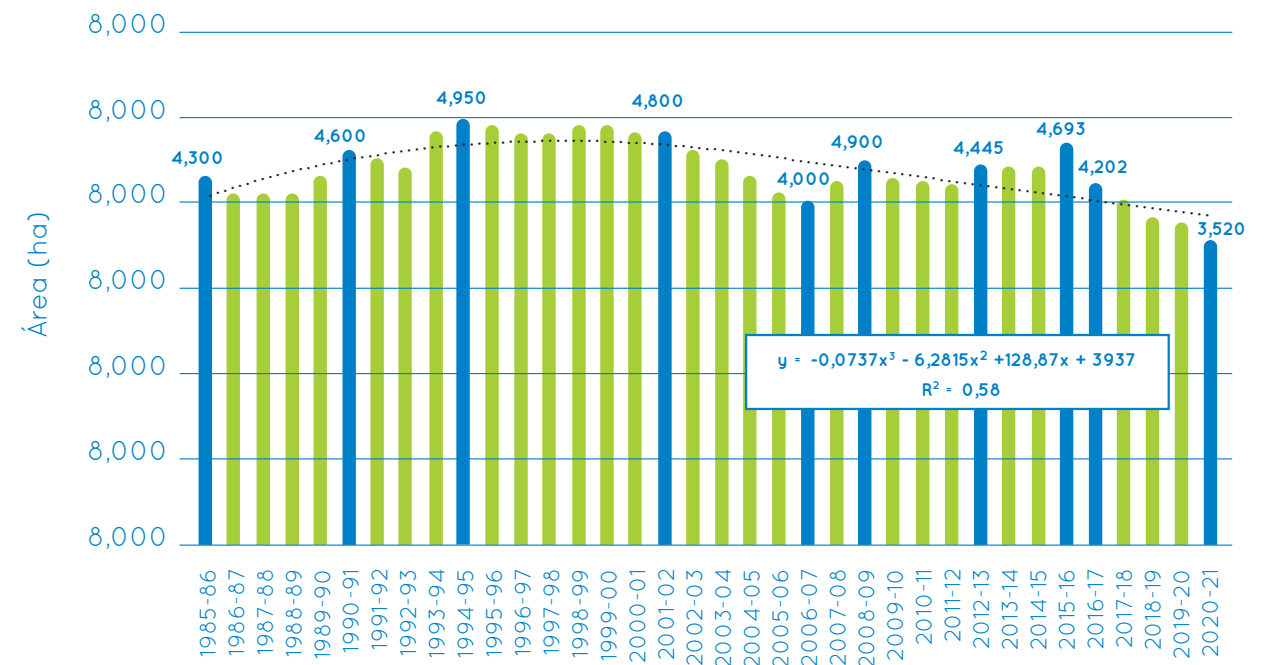


Figura 4.

Área sembrada con caña de azúcar en el Valle Central. Periodo 1985-2020.

E. Zona Norte

Contrario a la zona anterior, esta región ha observado un significativo e impresionante incremento en sus áreas de siembra y por consecuencia en su capacidad productiva con el tiempo; pasando en los últimos 36 años de 3.800 hectáreas reportadas en el año 1985 a 9.605 hectáreas en el último periodo de molienda 2020-21, para la incorporación de 5.805 nuevas hectáreas. Fue sin embargo en la zafra 2016-17 cuando se reporta la mayor siembra de caña con 9.806 has, antecedida extrañamente por un índice muy bajo de 6.092 hectáreas, como puede verificarse en la Figura 5 y Cuadros 4 y 5.

El aumento importante de área arranca luego de la zafra 2005-06 con la incorporación a partir del año 1998 de la zona de Los Chiles como lo señalara con bastante detalle Araya (2013), la cual marca pauta y explica ese dinámico y

significativo crecimiento, como lo han señalado también Chaves y Chavarría (2013, 2021) y Chaves y Barquero (2020). Para el año 2012 ya se reportaban en esa región cerca de 1.550 hectáreas sembradas, habiendo partido inicialmente de un proyecto de cultivo de 100 hectáreas sembradas en el año 1998 (Araya 2013); para la zafra 2020-21 se le consignan 2.914,8 hectáreas, lo que denota la importancia y grado de crecimiento adquirido por esa región.

Procurando establecer una proyección de lo que pueda acontecer en el futuro en esta región, es factible **pensar en que la región podría movilizarse en los próximos años y en el corto plazo entre las 9.800 y 10.300 hectáreas, con fuerte desplazamiento de las plantaciones hacia la zona baja de Cutris, Florencia y Los Chiles.**

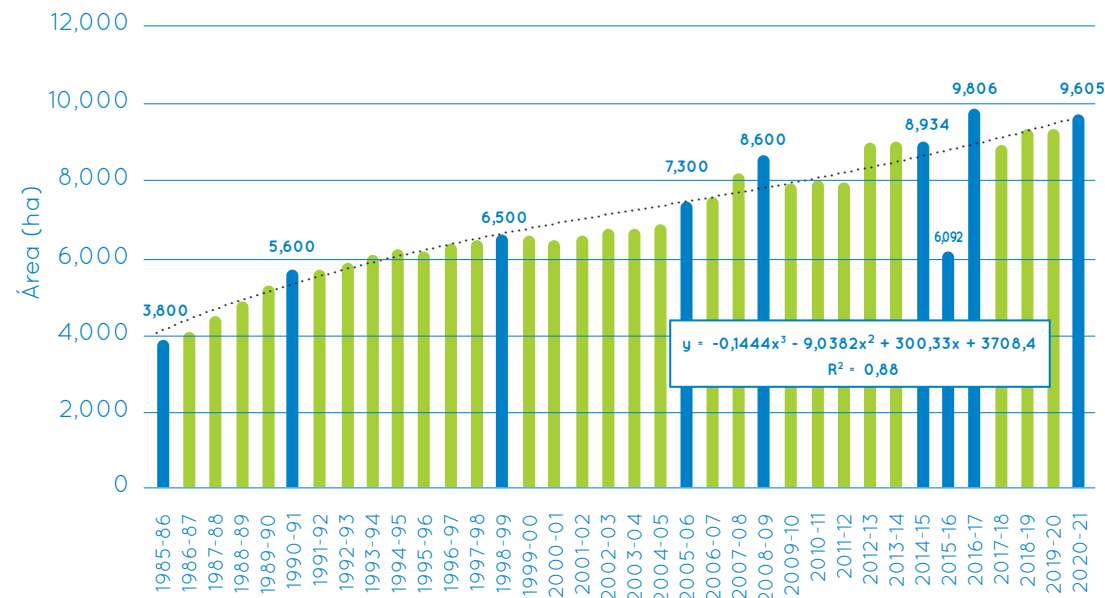


Figura 5.

Áreas de siembra en la Zona Norte. Periodo 1985-2020.

No cabe duda de que esta es la zona geográfica dotada posiblemente, en cuanto a potencial, de la mayor superficie de expansión de área mecanizable e integrada para sembrar caña de azúcar en el país; motivo por el cual será a futuro la que más crezca si los intereses empresariales así lo deciden. Recientemente se instaló como muestra de ese crecimiento regional, un nuevo Ingenio (San Rafael) que vendrá a complementar y aumentar la capacidad fabril instalada del lugar.

F. Turrialba - Juan Viñas:

Esta tradicional y antigua región agrícola denominada y conocida por condiciones, mérito propio y antecedente como la “campiña azucarera”, es otra localidad que ha venido sufriendo profundos cambios de fondo en su estructura y capacidad productiva con los años, virtud de los cuales ha perdido relevancia en su participación como zona productora de azúcar. Recientemente el recordado Ingenio Atirro dejó de operar luego de la zafra 2017-18 quedando activo en la actualidad solo el Ingenio Juan Viñas. Igual que sucede en el Valle Central la tendencia de cultivo es variable y orientada hacia la reducción acelerada de sus áreas de siembra en las últimas zafras, como se aprecia en la Figura 6

y comprueba en los Cuadros 4 y 5. Varios intentos de mejora e incremento productivo se observan en esa serie de datos, comprobando que la primera zafra realizada en 1985 no es la más baja, pues fue en la 2003-04 cuando se alcanza la menor área con 3.500 hectáreas para llegar hasta la 2015-16 cuando se reporta la mayor con 5.020 hectáreas. El último periodo fabril 2020-21 reporta un área cultivada de 4.124 hectáreas con tendencia, como se indicó, hacia la disminución acelerada.

En la interpretación, relación correcta y vínculo que se pueda pretender establecer en esta región entre área sembrada y cantidad de materia prima (t) producida y azúcar fabricada, debe considerarse y tenerse muy presente que inevitablemente una parte importante y muy significativa de la misma se ubica en la zona más alta, con un piso altitudinal arriba de los 1.000 msnm como sucede en los cantones de Alvarado, Jiménez (distrito Juan Viñas) y Paraíso de la provincia de Cartago (Chaves y Chavarría 2021), lo que favorece un ciclo vegetativo prolongado en el cual las plantas deben permanecer en el campo para ser cosechadas en su punto óptimo más de 18 meses y hasta los 24 meses, salvo algunas pocas excepciones (Chaves 2019a). Esta



condición provoca que el área efectiva de cosecha se reduzca en la práctica casi a la mitad; elevando a su vez sus índices de productividad agroindustrial como lo han señalado Chaves (2021), y Calderón y Chaves (2020).

La proyección sobre el potencial de crecimiento del área sembrada con caña de azúcar en esta región está restringido y limitado por factores muy fuertes, como son el hecho de contar actualmente con solo un ingenio con capacidad nominal de procesamiento definida, lo que pone techo a cualquier posible crecimiento

de ese índice, salvo que se amplíen los días de zafra ingresando a condiciones climáticas altamente inconvenientes desde la perspectiva agroindustrial.

Por otra parte, transportar materia prima a otras regiones próximas como es el Valle Central, torna la actividad poco rentable en consideración a la distancia y los costos asociados. **Una proyección razonable ubica con buen criterio el área sembrada moviéndose en los próximos años en un rango entre 3.600 y 4.100 hectáreas.**

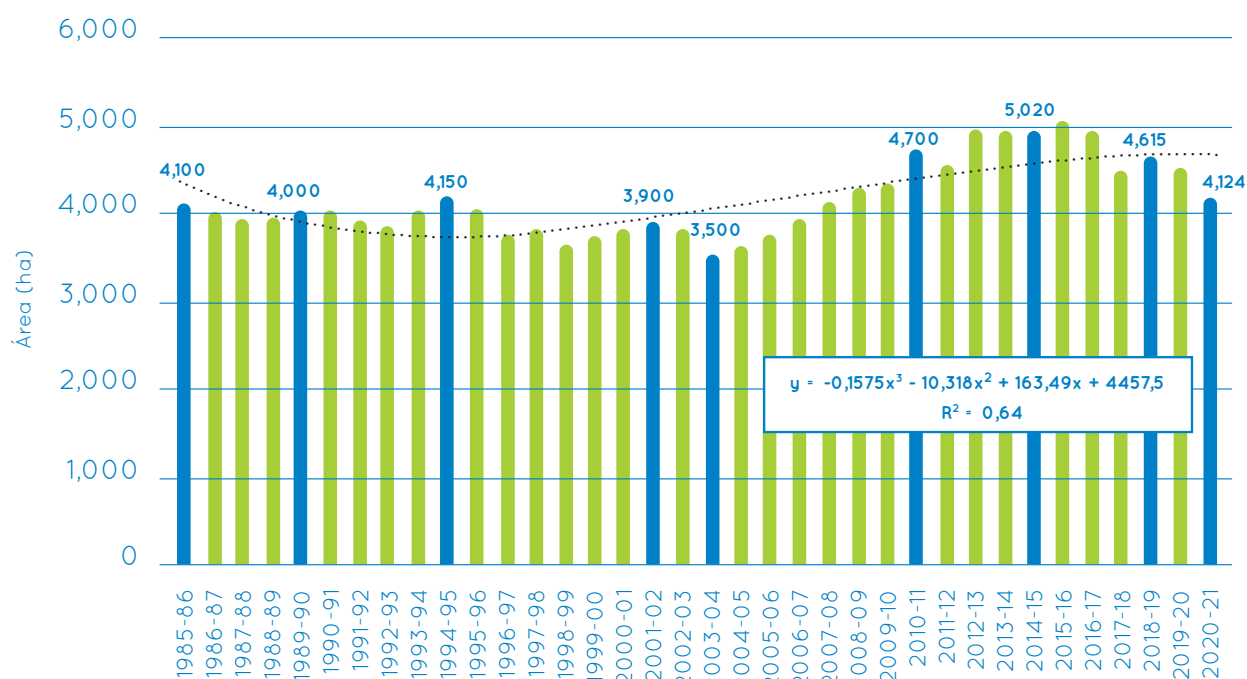


Figura 6.

Área sembrada con caña de azúcar en Turrialba-JV. Periodo 1985-2020.

G. Zona Sur:

Esta es la región agrícola más nueva en cuanto a antecedente de fabricar azúcar en el país, no necesariamente de sembrar caña, pues su único ingenio inicio actividades industriales continuas a partir del año 1974.

Anotan Barrantes y Chaves (2020) al respecto, que “El ingenio realizó su primera zafra en el período 1974-1975 con una molienda de 37.721 toneladas y la fabricación de 48.030 bultos de azúcar de 50 kg (2.401,5 toneladas), la cual se ha mantenido activa de forma continua por 47 años.”

Como se infiere de lo expuesto en la Figura 7 y comprobable en los Cuadros 4 y 5, el ritmo de crecimiento del área cultivada con caña ha sido muy dinámico y sistemático durante el periodo continuo de 36 zafras analizado, partiendo de 2.800 hectáreas reportadas en la zafra 1985-86 y hasta 4.141 hectáreas en la más reciente 2020-21.

Se observa un incremento sostenido del área sembrada en el tiempo motivado por el estímulo que mantuvo la actividad empresarial en el lugar, promocionado por la Cooperativa Coopeagri El General R.L. El mayor índice de cultivo se reporta en el periodo 2005-06 con 5.300 hectáreas, luego del cual y motivado por el dramático y muy significativo impacto provocado por la llegada de la roya naranja (*Puccinia kuehni*), enfermedad que ocasionó un serio daño a la agroindustria del lugar, las áreas de siembra fueron en disminución debido a la lenta y sistemática sustitución obligada que debió aplicarse a la variedad susceptible (SP 71-5574) por otras de mayor tolerancia.

Señalan Barrantes y Chaves (2020) al respecto, que “Esta enfermedad atacó sorpresivamente con mucha fuerza en el año 2007 y posteriores algunas variedades comerciales susceptibles que ya no se cultivan

en la región, como fue el caso de la SP 71-5574, la cual dominaba virtud de su gran capacidad de adaptación y sus excelentes condiciones productivas agroindustriales la región”. Esta situación, como agregan provocó, que “La afectación productiva, social y económica fue inmensa generando una verdadera crisis local que requirió desarrollar toda una estrategia de manejo operada en diversos campos...”

Esa situación de crisis indujo y provocó una reducción importante en el área cultivada a partir de la zafra 2006-07 y hasta la 2012-13 cuando se inicia una lenta recuperación, motivada y favorecida por la obligada necesidad de incrementar el área de semilleros y el cambio de la variedad susceptible por las otras dotadas de una mayor tolerancia. En la zafra 2017-18 se reporta una caída importante de área hasta 3.237 hectáreas.

Es notoria la disminución leve pero sistemática que se viene dando en el área cañera en la zona luego de la zafra 2016-17 (4.512 ha), motivada en alto grado por los efectos provocados por la denominada “extracota” y su impacto negativo y reductor sobre los precios de liquidación pagados al productor por la entrega de su materia prima; generando una pérdida muy significativa de rentabilidad y estímulo para seguir cultivando y creciendo el área sembrada con caña.

Al pretender realizar una proyección de posible comportamiento del área sembrada a futuro con caña en esta región, debe considerarse al igual que sucede en la región de Turrialba-Juan Viñas que solo existe una unidad fabril con capacidad limitada de procesamiento y fabricación, que marca en definitiva la dimensión del área territorial que puede ser habilitada.

La excepción sería ampliar esa capacidad fabril instalada o en su caso ampliar los días de zafra, con las consideraciones agroindustriales negativas ya apuntadas. Con fundamento en

esas consideraciones, **podría esperarse que el área sembrada con caña de azúcar se movilice próximamente en la Región Sur en un rango de entre 4.000 y 4.500 hectáreas.**

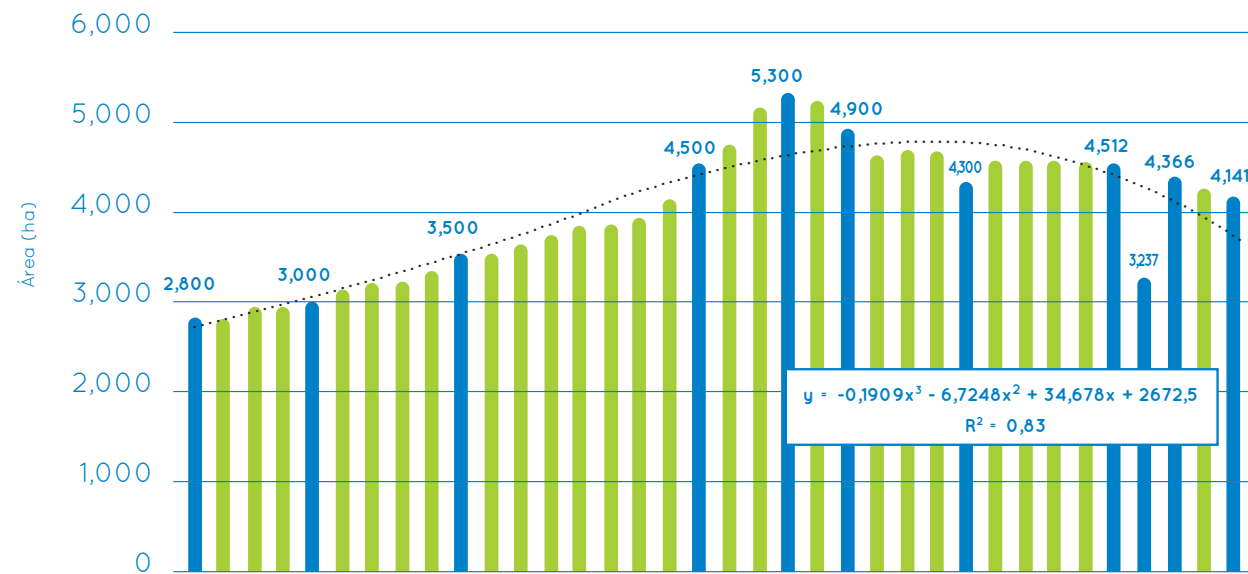


Figura 7.

Área de siembra de caña de azúcar en la Región Sur. Periodo 1985-2020.



Tendencia nacional

Con el objeto de tener una visión integral, genérica y holística de las tendencias seguidas regionalmente en el país en cuanto a la siembra de caña de azúcar, se presenta la Figura 8 basada en la información mostrada en el Cuadro 4. Los datos contenidos son expuestos en su verdadera dimensión y magnitud nominal, lo que permite realizar un comparativo apropiado para los fines y objetivos procurados por el presente estudio.

Es claro y definitivo que la región de Guanacaste es como se indicó oportunamente, la que más aporta y marca la pauta en cuanto a importancia traducida en capacidad y potencial productivo de materia prima y fabricación de azúcar en el país; manteniendo el resto de las regiones productoras, con la excepción de la Zona Norte, una tendencia muy similar y cercana en el tiempo con tendencia variable y muy

Buscando ampliar los criterios de valoración y análisis de la serie de datos juzgada, se presenta en el Cuadro 6 el resultado de los indicadores estadísticos más importantes y reveladores correspondientes a las variables de posición y dispersión más reveladores de la población de datos valorada. A partir de ellos pueden ampliarse y complementarse con criterio matemático y probabilístico las valoraciones que puedan establecerse.

orientada hacia la reducción de áreas cultivadas. No cabe duda de que la región de Guanacaste está en términos agroindustriales y productivos muy distanciada de las otras cinco zonas agrícolas, lo que se traslada a la magnitud y extensión de su territorio sembrado con caña. Es notorio, destacable y sobresaliente el incremento observado en la Zona Norte.

La Figura 8 permite dimensionar la magnitud de las diferencias y a la vez el paralelismo que se establece entre las seis regiones oficiales

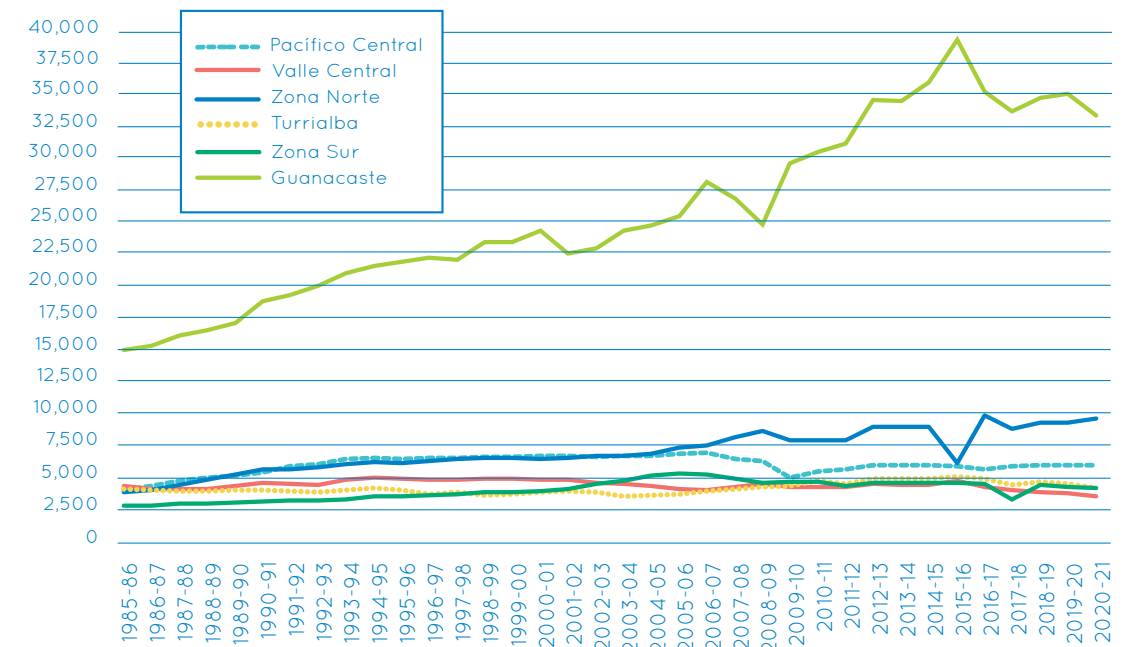


Figura 8.

Tendencia del área sembrada con caña de azúcar en Costa Rica según región cañera. Periodo 1985-2020.

Cuadro 6

Indicadores estadísticos de posición y dispersión correspondientes a las áreas de siembra (hectáreas) de las principales regiones productoras de caña de azúcar en Costa Rica. Periodo 1985-2020.

Indicador	Región productora						Total
	Guanacaste	Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte	Turrialba	Zona Sur	
Promedio	25.682	5.968	4.396	6.975	4.137	3.990	51.148
Valor Máximo	39.251	6.900	4.950	9.806	5.020	5.300	65.485
Valor Mínimo	15.000	4.000	3.520	3.800	3.500	2.800	34.000
Dif (Max-Min)	24.251	2.900	1.430	6.006	1.520	2.500	31.485
Desviación Estándar	6.772	722	354	1.609	430	739	9.153
CV (%)	26,37	12,09	8,06	23,07	10,39	18,53	17,90
Zafra con + Área	2015-16	2006-07	1994-95	2016-17	2015-16	2005-06	2015-16
Zafra con - Área	1985-86	1985-86	2020-21	1985-86	2003-04	1985-86	1985-86

Fuente: Elaborado por los autores.

Indicadores estadísticos

Buscando ampliar los criterios de valoración y análisis de la serie de datos juzgada, se presenta en el Cuadro 6 el resultado de los indicadores estadísticos más importantes y reveladores correspondientes a las variables de posición y dispersión más reveladores de la población de datos valorada. A partir de ellos pueden ampliarse y complementarse con criterio matemático y probabilístico las valoraciones que puedan establecerse.

Importante destacar al respecto que los índices de Desviación Estándar y Coeficiente Porcentual de Variación (CV) por su significado e implicación, permiten inferir que los mismos son altos y

significativos en los casos particulares de Guanacaste (26,4%) y en la Zona Norte (23,1%), lo que denota una amplia variación y dispersión de los datos de siembra en el tiempo. Por el contrario, el Valle Central muestra la menor variación con un CV de apenas 8,1% y una Desviación de solo 354 hectáreas, lo que expresa la menor diferencia (1.430 hectáreas) entre los valores extremos máximo-mínimo, con una tendencia clara hacia la disminución como ya se comentó. La Desviación favorece juzgar el grado de movilización de las áreas en sentido creciente o de disminución, por lo que resulta muy reveladora de la tendencia seguida.

De manera adicional y complementaria en procura de contar con mejores elementos de valoración y juzgamiento, se estimaron y obtuvieron las ecuaciones matemáticas de mejor ajuste con base probabilística basada en modelos de regresión, para interpretar las tendencias de cultivo seguidas por las seis regiones agrícolas evaluadas. El concepto de la regresión va referido a la relación estructural que se establece entre variables causales y variables producto, la cual puede o no ser directamente proporcional. Es una ecuación que contiene variables controlables, aleatorias e incógnitas.

Para ello, se aplicaron y corrieron seis modelos clásicos de regresión: lineal, cuadrático, cúbico, exponencial, logarítmico y potencial, buscando seleccionar el que mejor explique por su Coeficiente de Determinación (R²), el comportamiento de la tendencia observada en la serie de datos en cada región productora, cuyo resultado se expone en el Cuadro 7.

El eje X lo representaron las zafras y el eje Y las áreas cultivadas. Son varios los modelos de regresión que pueden agregarse para el mismo fin, como están además de los ya indicados anteriormente los modelos inverso, gamma, de raíz cuadrada, semilogarítmico y geométrico, cuya notación matemática es como sigue para cada modelo:

- Lineal: $Y = b_0 + b_1X$
- Cuadrático: $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$
- Cúbico: $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3$
- Logarítmico: $Y = b_0X^{b_1}$
- Semilogarítmico: $Y = b_0 + b_1 \lg X$
- Geométrica: $Y = b_0b_1^X$
- Inverso: $Y = b_0 + b_11/X$
- Raíz Cuadrada: $Y = b_0 + b_1X + b_2X^{0,5}$

Se concluye de los resultados obtenidos en este

análisis y con fundamento en el Coeficiente de Determinación (R²) y respetando el principio de que en igualdad o proximidad de resultados, el modelo más simple se torna más fácil y recomendable de utilizar, lo que los ubica como sigue para cada región productora: Costa Rica: cuadrático (R²=0,949); Guanacaste: lineal (R²= 0,925); Pacífico Central: cúbico (R²= 0,860); Valle Central: cúbico (R²= 0,577); Zona Norte: cuadrático (R²=0,871); Turrialba-JV: cúbico (R²=0,640) y Zona Sur: cuadrático (R²=0,949). Los índices del Valle Central y la región de Turrialba-JV son relativamente bajos y por ello de muy limitada capacidad de proyección y explicación de lo acontecido en los 36 años evaluados.

Se infiere de lo anterior que en definitiva los modelos polinomiales de tercer grado (cúbico) y de segundo grado (cuadrático), son los que mejor se ajustan y aplican para explicar con mayor exactitud las tendencias de cultivo de caña en la mayoría de las regiones agrícolas medidas, lo cual viene motivado por la alta variabilidad y dispersión que exista en los datos dentro de la serie analizada. Al considerar en su ecuación más índices esos modelos explican mejor la tendencia.

Pareciera que las últimas 11 zafras luego del periodo 2010-11 es donde se marcan las grandes diferencias y el desajuste de los seis modelos evaluados, lo cual debe sin embargo que comprobarse. Caso de aplicar un ajuste y rectificación a la serie datos analizados, eliminando el que más distorsiona la serie por salirse de tendencia, permite alcanzar un mejor ajuste de la curva, lo cual en el presente caso no se realizó por no considerarlo prudente ni pertinente para los objetivos planteados.

Cuadro 7

Modelos de Regresión de mejor ajuste aplicado a las áreas sembradas con caña de azúcar según región. Periodo 1985-2020 (36 años).

Región	Modelo Regresión	Ecuación	Coefficiente R ²
Guanacaste	Lineal	$Y = 14\,241 + 618,39 X$	0,925
	Cuadrática	$Y = 14\,812 + 528,24 X + 2,4365 X^2$	0,927
	Cúbica	$Y = 15\,534 + 308,99 X + 17,049 X^2 - 0,2633 X^3$	0,928
	Exponencial	$Y = 15\,701e^{0,0247x}$	0,920
	Logarítmica	$Y = 6\,835,7 \ln(x) + 7\,506,4$	0,763
	Potencial	$Y = 11\,566X^{0,2871}$	0,846
Pacífico Central	Lineal	$Y = 5\,604,2 + 19,676 X$	0,082
	Cuadrática	$Y = 4\,318,6 + 222,66 X - 5,486 X^2$	0,635
	Cúbica	$Y = 3\,262,1 + 543,54 X - 26,873 X^2 + 0,3854 X^3$	0,860
	Exponencial	$Y = 5\,496,8e^{0,004x}$	0,075
	Logarítmica	$Y = 489,55 \ln(x) + 4\,666,5$	0,344
	Potencial	$Y = 4\,603X^{0,0947}$	0,312
Valle Central	Lineal	$Y = 4\,655,3 - 13,99 X$	0,173
	Cuadrática	$Y = 4\,139 + 67,525 X - 2,2031 X^2$	0,543
	Cúbica	$Y = 3\,937 + 128,87 X - 6,2915 X^2 + 0,0737 X^3$	0,577
	Exponencial	$Y = 4\,658,6e^{-0,005x}$	0,165
	Logarítmica	$Y = -60,72 \ln(x) + 4\,557,9$	0,022
	Potencial	$Y = 4\,560,5X^{-0,015}$	0,021
Zona Norte	Lineal	$Y = 4\,344 + 142,22 X$	0,867
	Cuadrática	$Y = 4\,104,3 + 180,07 X^2 - 1,0228 X^2$	0,871
	Cúbica	$Y = 3\,708,4 + 300,33 X - 9,0382 X^2 + 0,1444 X^3$	0,878
	Exponencial	$Y = 4\,578,3e^{0,0215x}$	0,849
	Logarítmica	$Y = 1\,666,1 \ln(x) + 2\,545,3$	0,803
	Potencial	$Y = 3\,363,8X^{0,2639}$	0,851
Turrialba - JV	Lineal	$Y = 3\,656,4 + 25,972 X$	0,405
	Cuadrática	$Y = 4\,025,6 - 32,318 X + 1,5754 X^2$	0,534
	Cúbica	$Y = 4\,457,5 - 163,49 X + 10,318 X^2 - 0,1575 X^3$	0,640
	Exponencial	$Y = 3\,682,2e^{0,006x}$	0,418
	Logarítmica	$Y = 216,86 \ln(x) + 3\,560,3$	0,191
	Potencial	$Y = 3\,609,2X^{0,0494}$	0,203
Zona Sur	Lineal	$Y = 3\,055,6 + 50,486 X$	0,518
	Cuadrática	$Y = 2\,149,2 + 193,61 X - 3,8683 X^2$	0,780
	Cúbica	$Y = 2\,672,5 + 34,678 X + 6,7248 X^2 - 0,1909 X^3$	0,832
	Exponencial	$Y = 3\,051,9e^{0,0135x}$	0,470
	Logarítmica	$Y = 672,51 \ln(x) + 2\,201,5$	0,620
	Potencial	$Y = 2\,415X^{0,1822}$	0,627
Nacional	Lineal	$Y = 35\,557 + 842,72 X$	0,941
	Cuadrática	$Y = 33\,549 + 1\,159,8 X + 8,578 X^2$	0,949
	Cúbica	$y = 33\,572 + 1\,152,9 X - 8,1105 X^2 - 0,0082 X^3$	0,949
	Exponencial	$y = 36\,711e^{0,017x}$	0,921
	Logarítmica	$Y = 9\,819,9 \ln(x) + 25\,038$	0,862
	Potencial	$Y = 29\,090X^{0,2061}$	0,910



Conclusión

La importancia real del tema abordado es inmensa y determinante cuando sabemos y conocemos de los amplios vínculos y relaciones que sobre el mismo existen y es posible establecer, los cuales tienen alcances en casi todos los ámbitos, sean estos productivos, económicos, comerciales, tecnológicos, sociales y hasta culturales.

Conocer la dimensión, ubicación, movilización y características del área sembrada con caña de azúcar en el país resulta determinante y obligada para actuar con fines programáticos, de planificación y proyectistas; sin lo cual, poco puede estimarse con la certeza y exactitud que se requiere en estos casos.

Por estas y muchas otras razones, la informa-

ción expuesta y analizada en esta oportunidad resulta de muy alto valor institucional y sectorial, pues favorece un mayor conocimiento de lo acontecido en cada una de las regiones agrícolas productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica durante los últimos 36 años. No cabe duda de que el aporte y contribución de la información expuesta en esta ocasión es muy valiosa para integrarla a la ya existente, atinente a otros indicadores de producción y productividad agroindustrial.

Se resuelve con esta presentación por tanto el largo y sentido vacío de información que existió históricamente sobre las áreas sembradas con caña en cada una de las regiones agrícolas productoras de caña de azúcar.

Literatura citada

Anderson, D.L.; Bowen, J.E. 1994. *Nutrición de la caña de Azúcar*. Quito, Ecuador. Instituto de la Potasa
 Acuña Agüero, R. 2018. División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica, por provincia, cantón y distrito, escala 1:5.000 (en línea). San José, Costa Rica. IGN (Instituto Geográfico Nacional). Consultado 3 de enero del 2021. Disponible en <https://www.snitcr.go.cr/Visor/index2019>

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.

Araya Vindas, A. 2013. *Los Chiles, una región nueva en la producción de caña de azúcar, Costa Rica*. En: XIX Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA). XX Congreso de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI). 11 al 13 de septiembre del 2013. Centro Internacional de Convenciones. Hotel Wyndham Herradura, La Asunción de Belén. Heredia, Costa Rica. p: 179-203.

Barboza V., C.; Aguilar F., J.; León S., J. 1982. *Desarrollo Tecnológico en el Cultivo de la Caña de Azúcar*. San José, Costa Rica. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Costa Rica (CONICIT)/IPPCT.

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.



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.

Costa Rica. Leyes, *Decretos, etc.* 2007. División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica. 6ª edición. San José, Costa Rica. Imprenta Nacional, Serie de Publicaciones Oficiales La Gaceta. 352 p.

Costa Rica. Poder Ejecutivo. *Decretos Tribunal Supremo de Elecciones. Resoluciones*. 2019. División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica. Decreto Ejecutivo N° 41548-MGP. San José, Costa Rica: La Gaceta. Diario Oficial. Alcance N° 60. martes 19 de marzo del 2019. 79 p.

Chaves Solera, M.A. 1993a. *Antecedentes, situación actual y perspectivas de la agroindustria azucarera y alcoholera costarricense*. En: Participación de DIECA en el IX Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, octubre. p: 1-116. También en: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 9, San José, Costa Rica, 1993. Memoria: Sesiones de Actualización y Perspectivas. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, octubre. Volumen 1. 116 p.

Chaves Solera, M.A. 1993b. *Área cultivada, índices de producción y estimación de costos agrícolas de la caña de azúcar- mayo 1993*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 59 p.

Chaves, M.; Alfaro, R. 1996. *Distribución del área cultivada con caña de azúcar en Costa Rica, según región agrícola y tamaño de la unidad productiva*. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 10, Congreso Nacional de Fitopatología, 3, Congreso Nacional de Suelos, 2, San José, Costa Rica, 1996. Memoria: Agronomía y Recursos Naturales. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos, Asociación Costarricense de Fitopatología y Asociación Costarricense de Suelos: EUNED, EUNA, julio. Volumen I. p: 367. También en: Congreso de ATACORI "Cámara de Productores de Caña del Pacífico", 10, Hotel Sol Playa Hermosa, Guanacaste, Costa Rica, 1996. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 48.

Chaves Solera, M. 1997. *Resumen del desarrollo histórico de la caña de azúcar en Costa Rica*. En: Congreso de ATACORI "Roberto Mayorga C.", 11, San Carlos, Costa Rica, 1997. Memoria. San José, ATACORI, octubre-noviembre. Tomo I p: 112-121.

- Chaves S., M.; Barrantes M., J.C.; Villalobos M., C.; Angulo M., A.; Rodríguez R., M.; Calderón A., G.; Rodríguez F., J.M.; Alfaro P., R. 2001. *Estimación del área sembrada con caña de azúcar en Costa Rica durante el año 2000, según región productora*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 126 p.
- Chaves, M.; Chavarría, E. 2013. *¿Cómo se distribuye y dónde se cultiva territorialmente la caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica?* En: XIX Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA). XX Congreso de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI). 11 al 13 de septiembre del 2013. Centro Internacional de Convenciones. Hotel Wyndham Herradura, La Asunción de Belén. Heredia, Costa Rica. p: 179-203.
- Chaves Solera, M.A. 2017a. *La Caña de Azúcar en el Censo Nacional Agropecuario Costarricense Año 2014: presentación de resultados*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 41 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017b. *Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica*. En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 2017. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 38 p.
- Chaves Solera, M.A.; Chavarría Soto, E. 2017. *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. 2019a. *Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. *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. 2019c. *Ambiente agro climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020a. *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. 2020b. *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. 2020c. *Agroclimatología y producción competitiva de caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(24): 5-13, noviembre.
- Chaves Solera, M.A. 2020d. *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. 2020e. *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: Zona Norte*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 135 p.
- Chaves Solera, M.A.; Bermúdez Loría, A.Z. 2020. *80 Años de Vida Institucional del Sector Cañero-Azucarero Costarricense: Breve Recorrido por su Historia*. Revista Entre Cañeros N° 16. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, agosto. 37 p.
- Chaves Solera, M.A. 2021. *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, diciembre. p: 9-67.
- 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. p: 5-35, julio.
- 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.
- León Sáenz, J.; Arroyo Blanco, N. 2012. *Desarrollo Histórico del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en el Siglo XX: Aspectos económicos, institucionales y tecnológicos*. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica: Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas. 256 p.



RELEVO GENERACIONAL Y DESARROLLO RURAL: APORTES TEÓRICOS, METODOLÓGICOS Y ABORDAJES .¹

M.Sc. Enrique Valenciano Ulate

Resumen

El relevo generacional como fenómeno socioproductivo que impacta el desarrollo rural en Costa Rica y Latinoamérica se inicia a investigar recientemente y requiere profundización. Las referencias son pocas, las más cercanas las tenemos en Uruguay, Colombia, Argentina, México y en la Unión Europea.

El relevo generacional se define como el proceso mediante el cual, las generaciones adquieren y transfieren participación y derechos, mediante un diálogo de saberes generacional, sobre: (a) la gestión empresarial, toma de decisiones y liderazgo, (b) la propiedad de los activos, especialmente tierra y (c) los beneficios y las utilidades.

Aunque es una problemática global, no se evidencian suficientes estudios en el contexto rural costarricense que permitan una mejor comprensión del fenómeno y como abordar sus efectos desde la gestión del desarrollo. Surge la necesidad de realizar una revisión de experiencias en su abordaje, así como los marcos teóricos y metodológicos utilizados en su análisis.

En este artículo se analizan experiencias desarrolladas sobre relevo generacional en el contexto latinoamericano y costarricense, así

como sus aportes teóricos y metodológicos para su estudio. Se presenta el caso del sector cañero de Carrillo en Guanacaste, como ejemplo de aplicación práctica de los conceptos desarrollados, como propuesta para el abordaje de esta problemática en un contexto específico.

Palabras claves: relevo generacional, desarrollo rural, sector cañero.

Introducción

El relevo generacional como fenómeno social que impacta el desarrollo rural en Costa Rica y Latinoamérica, no se ha investigado suficientemente. Uruguay y Colombia están a la vanguardia en el desarrollo de experiencias para el abordaje de esta problemática.

En Uruguay se han desarrollado investigaciones para profundizar el conocimiento de esta problemática y seminarios en busca de establecer políticas públicas de apoyo a las personas productoras en sus procesos de relevo generacional. Como concluye Morales (2015:35), «la falta de un adecuado relevo generacional se ha vuelto un tema que despierta especial interés por sus implicancias, afectando entre otros sectores la agricultura familiar, pilar básico de cualquier sociedad».

¹ Artículo elaborado con base en: Valenciano, E. 2021. *Análisis de la problemática del relevo generacional en el sector cañero entre los años 2016 al 2020: las pequeñas y medianas personas productoras de caña de azúcar del cantón Carrillo en Guanacaste, Costa Rica* (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Costa Rica). Maestría en Desarrollo Rural, tesis. <https://mrd-una.org/index.php/servicios/tesis/category/27-tesis-2021>

Por su parte, Perrachón (2011:73) al estudiar el sector ganadero de Uruguay, discute que son una población con alta edad promedio,

... donde el 95,5 % poseen más de 45 años, son en su mayoría hombres y un nivel educativo bajo; lo anterior limita el relevo generacional ya que los hijos reciben el relevo en una edad avanzada; además que alrededor del 40 % de las familias ganadera no están abordando el relevo generacional.

Define Perrachón (2011), el relevo generacional como un nuevo desafío para el desarrollo rural de Uruguay. Y se puede ampliar esta afirmación para Latinoamérica y el mundo.

Algunos estudios agropecuarios [en Uruguay] demuestran la inquietud sobre el tema, el 19 % de los responsables del predio consideraba que ellos mismos o alguien de la familia era poco o nada probable que continuaran en los siguientes 10 años. Estas pautas llevan a considerar que estas empresas no son sustentables en el tiempo o corren peligro de serlo, desde el punto de vista social (Perrachón, 2009: 115).

La situación en México es analizada en el estudio sobre el envejecimiento de la población rural, realizado por Sagarpa y FAO (2014:1), indican que

en el sector rural y pesquero de México predominan los responsables mayores de 55 años, aunque existen subsectores con responsables más longevos, como el subsector agrícola, lo que supone que en 10 años más se enfrentarán a un fuerte reto para mantener el nivel de producción actual. Por otro lado, se observan bajos incentivos para que los jóvenes permanezcan en este sector productivo, debido principalmente a la dificultad de

adquirir un patrimonio, como adquisición de tierras, que les permita desarrollar sus actividades productivas; se constatan bajos niveles educativos en la generación que tomará el relevo.

Para México, Sagarpa y FAO (2014) describen cuatro líneas de intervención para fortalecer el relevo generacional:

- Fortalecimiento del mercado de tierras.
- Fortalecimiento de la educación.
- Desarrollo de capacidades técnico-productivas.
- Acceso a los apoyos gubernamentales.

Sobre el censo agropecuario en Colombia, señala Vargas (2017:1) que,

la proporción de la población mayor de 60 años es superior a los jóvenes, en la mayoría de las zonas rurales, como resultado del envejecimiento de los productores rurales y de la alta migración de los jóvenes a las ciudades por la falta de oportunidades en el campo, que lleva a que el relevo en la gestión productiva agropecuaria sea escaso.



El aumento de la edad promedio de la población rural colombiana y su baja escolaridad tiene su manifestación en el sector cafetero, según López (2013:281) «la edad promedio del caficultor es de 54,5 años, y casi la tercera parte de la población cafetera tiene más de 62 años. Apenas el 10,1% de los cafeteros son menores de 35 años.»

Para Colombia, Vargas (2017) propone un Programa Nacional de Relevo Generacional con los siguientes objetivos:

- Generar las condiciones apropiadas para que los jóvenes se queden o regresen al campo a transformarlo y modernizarlo.
- Reconocer y apoyar a los agricultores mayores de 60 años para que puedan pensar en su retiro de la actividad productiva en condiciones dignas, asegurándoles un ingreso y la seguridad social.
- Ejecutar acciones concretas de desarrollo rural que permitan contribuir en el mejoramiento de la infraestructura y de la educación técnica para aprovechar de manera competitiva la vocación del suelo, haciendo atractiva la vida en el campo.

Con el fin de fortalecer el empalme [relevo] generacional, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC, 2021), desarrolla desde el 2016 el programa Niños Pilos Parque del Café, el programa Escuela y Café, y el programa Idéate Café con personas jóvenes.

Los caficultores de cuarenta y cinco países en el Primer Foro Mundial de Productores, como lo reporta el Icafe (2017) y la FNC (2017), establecieron su plan de acción para abordar los principales retos del sector, entre ellos: producción y productividad, volatilidad de los precios, relevo generacional y cambio climático.

Estas cuatro temáticas se implementan en su

plan de acción y será acompañado por la Organización Internacional del Café (OIC).

Esta tendencia descrita para algunos países de Latinoamérica, se manifiesta en el medio rural europeo, la Red Europea de Desarrollo Rural, REDR (2018:25) reporta que

... más del 30% de los agricultores europeos supera la edad de jubilación, un 56% superan los 55 años y apenas un 6% es menor de 35 años. Las organizaciones de agricultores, los estados miembros y la UE tratan de mejorar sus estrategias para animar a una nueva generación de talentos que cumpla las crecientes expectativas del sector agrícola.

La Unión Europea, informa REDR (2018:10), publicó sus propuestas legislativas para la modernización de la Política Agrícola Común del período 2021-2027, incluye en sus objetivos, el «Apoyar el relevo generacional.»

Es importante señalar la relevancia global y contemporánea de esta problemática. En todo el mundo, argumenta Dirven (2013:1) experta de Naciones Unidas en desarrollo rural y relevo generacional,

... la agricultura se enfrenta al mismo problema: cada vez menos jóvenes interesados en hacerse cargo de una explotación agropecuaria (de la familia u otra) y poco interés, incentivos o alternativas (ingresos, uso del tiempo, posición social, vivienda) para los propietarios y tomadores de decisión de tercera edad de dejar su explotación en manos de la siguiente generación. El resultado es un aumento de la edad promedio de los agricultores a edades cercanas a la tercera edad.

La FAO (2014), señala los desafíos para una adecuada integración de la juventud en la agri-

SECCIÓN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

cultura, los cuales se enumeran a continuación:

- Acceso insuficiente de los jóvenes al conocimiento, a la información y a la educación.
- El acceso limitado de los jóvenes a la tierra.
- Inadecuado acceso a los servicios financieros.
- Dificultad para acceder a empleos verdes.
- Limitado acceso de los jóvenes a los mercados.
- Participación limitada de los jóvenes en el diálogo sobre políticas.

En el plan de acción mundial para la agricultura familiar 2019-2028, la FAO y el FIDA (2019:17), han definido un pilar transversal sobre relevo generacional, «Pilar 2-Transversal: Apoyar a los jóvenes y asegurar la sostenibilidad generacional de la agricultura familiar.»

Ante esta cruda realidad latinoamericana y mundial, surgen opciones y posibilidades de un futuro más optimista para el relevo generacional en el medio rural y la producción agropecuaria, tal como lo describe Monllor (2013) en su tesis doctoral que, analizando dos grupos de personas jóvenes en Canadá y España, identifica un nuevo paradigma agrosocial, que se fundamenta en la definición de ocho componentes, que se detallan en la siguiente figura.

El estudio realizado por Monllor (2013) confirma la existencia de personas jóvenes interesados en este nuevo paradigma agrosocial y lo ponen en práctica, donde lo agrícola y social toman un peso importante. Estas personas jóvenes vinculados y con arraigo en la tierra, que buscan autonomía y son optimistas sobre su futuro, es el nuevo campesinado, concluye la investigadora.

El estudio y el análisis de estos componentes descritos por FAO (2014), FAO y FIDA (2019) y Monllor (2013) pueden dar pistas y guías a programas y proyectos más atractivos en busca de mejorar la integración de las personas jóvenes en el quehacer agropecuario y rural, desde su visión del mundo rural, sus proyectos de

vida y sus nuevos paradigmas agroproductivos.

Este análisis de antecedentes revela una preocupante realidad contemporánea, en los ámbitos nacional, latinoamericana y global, la reducida participación de personas jóvenes e incluso de adultas jóvenes en los sectores agroproductivos con el consecuente impacto negativo en el relevo generacional. Tiende a ser poco atractivo para las nuevas generaciones el medio rural y agrario, o bien les genera pocas opciones agroproductivas viables. Lo anterior tiene la consecuencia en el aumento de la edad promedio de las personas productoras en el medio rural y refleja una pérdida de participación en sus respectivos sectores al no ser remplazados por nuevas generaciones.

Una consecuencia de este bajo relevo generacional es la concentración de la producción en grandes empresas agroproductivas, aumentando la desigualdad de oportunidades, afectando la distribución de la riqueza, el acceso a mercados, la pobreza, el desempleo y proletarizando a los hijos e hijas de las personas productoras agropecuarias.

Contexto costarricense

Según Marín (2017:56), la UTN a «considerando que en Costa Rica no existen políticas gubernamentales, tendientes a mitigar los impactos negativos de la problemática de la integración en las empresas familiares del sector agroalimentario». En este marco, señala Gutiérrez (2017), se ha anunciado un convenio entre UTN y Conarroz para la investigación de esta problemática. Se estima en el sector arrocero que solamente el 20% de los jóvenes tienen interés en el relevo generacional y que el 80% de las personas productoras superan los 40 años.

En su investigación de tesis, Alfaro (2019) analiza la situación del relevo generacional en el

Estado local

Revalorizar lo local, como espacio auténtico, lleno de identidad y generador de oportunidades, fuente de recursos endógenos. Reconocer la existencia de un conocimiento y una sabiduría autóctona y recuperar las cadenas cortas de comercialización.

Medio ambiente:

Entendido como la relación de respeto e integración entre el ser humano y la madre tierra, cuando se habla de agricultura y medio ambiente aparece la agricultura ecológica como el sistema de producción agraria que más se acerca a las dinámicas naturales, su consumo cada vez es más elevado y que camina hacia su reconocimiento social.

Innovación:

Creando valor añadido a la producción de los alimentos y nuevas maneras de acercarse al consumidor, creando relaciones de confianza para hacer viable la empresa agraria. Entiende la innovación en su vertiente más humana, cercana a la gente y a su lucha por ser cada día más autónomos e independientes, más cooperativos que competitivos, más ligados al territorio que al capital.

Compromiso social:

Se entiende que la actividad agraria trasciende la mera producción de alimentos, el campesinado que se acerca al nuevo paradigma es cercano al territorio, a sus raíces y sobre todo a su gente. El compromiso social hace referencia a una mirada que traspasa el objetivo económico de producir alimentos y de vivir en un entorno rural, para valorar otros aspectos sociales y ambientales; piensa más allá del cultivo del año e incorporan las generaciones futuras en las acciones presentes.

Diversidad:

La diversidad en cultivos, en actividades, en actores sociales y en canales de comercialización, es vital para caminar hacia un cambio de paradigma. Apostar por una amplia variedad de estrategias forma parte de entender la realidad desde la complejidad.

Cooperación:

Entre personas, entidades o territorios, las dimensiones son múltiples como sus métodos. Es una estrategia que fomenta relaciones de confianza, de asociación y de fidelidad, fortalece el capital social, facilitan acciones colectivas, en tanto que diferentes actores sociales trabajan por la realización de un proyecto común. Se fortalece la competitividad del territorio.

Autonomía:

Desde un punto de vista estructural, es totalmente conocida la pérdida de autonomía y de decisión del campesinado a raíz de integrarse en los circuitos agroindustriales. Algunas estrategias como la pluriactividad o la venta directa están encaminadas a hacer de las explotaciones agrarias espacios de producción más autónomos.

Ralentización:

Reducir la velocidad desde un punto de vista amplio para disfrutar del proceso y de poder adoptar estrategias de flexibilidad. Se valora un ritmo continuo, pero sin prisas, de adopción de nuevas técnicas agrarias al valorar el proceso y respetar los ciclos naturales.

Fuente: Elaborado con base en Monllor 2013.

Figura 1
Componentes del nuevo paradigma agrosocial.

sector ganadero costarricense y determina la alta edad promedio de las personas productoras, en regiones como Pacífico Central y Chorotega más del 70% de los productores supera los 50 años. También discute sobre la falta de planificación y comunicación en la familia sobre el relevo generacional, siendo el principal interés de las familias productoras el mantener la finca como patrimonio familiar. Además, de la influencia en el relevo generacional tienen factores psicológicos, socioeconómicos y de remuneración.

En el sector de la palma de aceite, estudiado por Clare (2011:153), se identifica que

... los productores independientes entre 40 y 60 años significaban el 47%, un 35% mayores de 61 años y solo el 12 % era menor de 40 años. Tal parece que las fincas palmeras independientes no están siendo capaces de retener a los jóvenes o no se está dando la transferencia generacional hasta una avanzada edad.

El Infocoop (2015) refiere al caso de Coopeagropal R.L., en el sector de palma aceitera, donde el 35 % de sus asociados son personas adultas mayores.

El relevo generacional es el principal reto que enfrenta el sector cafetalero costarricense y latinoamericano. Señala, Canet (2017), que la alta edad promedio de las personas productoras es el principal reto de este sector. En muchos países de América Latina, los cafetaleros superan los 60 años y en Costa Rica el 63 % superan los 50 años.

El Infocoop (2015), indica que las cooperativas enfrentan una problemática de gran relevancia e incluso poniendo en riesgo el crecimiento del modelo, la alta edad promedio de la base asociativa y la baja participación de los jóvenes, son fenómenos que amenazan el modelo cooperativo. En la búsqueda de soluciones y abordajes a dicha problemática mencionan la

integración generacional y el intercambio de conocimientos entre generaciones como estrategia para fortalecer la sostenibilidad y el crecimiento del modelo.

En el sector cañero y cafetalero costarricense, Coopevictoria (2019:14) reporta,

... que la gran mayoría de los asociados se encuentran en el rango superior de 50 años, ubicando el promedio global en 58 años; el 72% de los asociados supera los 50 años, el 26% entre 30 a 50 años y solamente el 2% es menor a 30 años. Un tema que representa unos de los principales retos de la cooperativa.

Coopevictoria (2019), desarrolla el programa Nuevas Generaciones, con la misión de integrar a las personas jóvenes a su base asociativa. El programa se organiza por edades en tres grupos:

- Exploradores, entre 6 a 12 años. Este grupo trabaja principalmente el desarrollo de valores cooperativos.
- Guardianes, entre 13 a 18 años, su enfoque principal es el desarrollo de habilidades blandas como trabajo en equipo y liderazgo.
- Líderes, entre 18 a 35 años, su principal objetivo es el desarrollo de proyectos que fomenten la integración de jóvenes a la base asociativa.

El proyecto Ganadero Joven, es una iniciativa de la Cámara de Ganaderos Independientes de la Zona Sur, según Mazzero y Herrera (2017), nace para garantizar la supervivencia del sector y la necesidad de una integración generacional. Dicha preocupación se afianza, cuando se observa que el promedio de edad de los asociados es de 57 años.

Los pilares fundamentales del proyecto Ganadero Joven, según Mazzero y Herrera (2017), son:

- Preparación académica.
- Espacio empresarial.
- Formación de líderes con charlas y asambleas.
- Lograr el acercamiento entre propietario actual y el relevo.
- Generar herramientas legales y de formalización.

El proyecto de la Asociación de Productores de Pimienta de Sarapiquí, es sistematizado por el MAG (2018) y describe la experiencia en la integración de las personas jóvenes en la agricultura familiar y el aumento de la producción de pimienta, se involucran 20 jóvenes en la producción y logran aumentar su arraigo en las unidades productivas familiares. Se establece un contrato donde los padres conceden un terreno para la persona joven. La iniciativa propone, no es un relevo de la persona joven a lo que hace las personas mayores, sino que es un proceso de integración entre la gran experiencia de estos productores y la vitalidad, energía y nueva forma de ver las cosas que tienen las personas jóvenes.

Las experiencias costarricenses generan oportunidades valiosas para identificar lecciones aprendidas, buenas prácticas y líneas estratégicas en el abordaje oportuno de la problemática. Un trabajo pendiente es la sistematización y un mayor acompañamiento para su fortalecimiento.

A pesar de ser una problemática actual y global del sector rural y agropecuario, no se evidencian suficientes estudios que permitan conocer a profundidad las causas y las consecuencias de los procesos de relevo generacional en la realidad costarricense, que faciliten un mejor entendimiento de este proceso en el medio rural y comprender mejor el cómo mitigar sus causas y efectos desde la gestión del desarrollo.

Surge la necesidad de desarrollar y ampliar estudios en el sector agropecuario costarricense,

que permita explorar y describir el fenómeno del relevo generacional en este importante segmento de personas productoras, que facilite generar líneas de investigación y de acción en el ámbito agroproductivo del medio rural costarricense.

Abordaje teórico y metodológico

Generalmente, los abordajes del relevo generacional en el medio rural y el sector agropecuario se realizan bajo el enfoque de la empresa familiar agropecuaria. Este campo de estudio e investigación es relativamente reciente y en proceso de desarrollo.

La importancia de estas empresas en la economía de los países es amplia, con aportes relevantes en la distribución de la riqueza, la reducción de la pobreza y la generación de empleo. Generan un importante potencial para el trabajo de las personas jóvenes y de las mujeres.

A pesar de su importancia, sus ciclos de vida tienden a ser cortos, sobre este particular, Samaniego (2017:3) se refiere,

... solo el 50% de las empresas familiares a nivel mundial logran sobrevivir hasta su segunda generación, mientras que a tercera generación llegan únicamente el 5%. El 7,5% de los productores tienen menos de 35 años, el 42,5% de los productores oscila entre los 35 y 55 años y el 50% de los productores tiene más de 55 años.

Se puede concluir que en este tipo de empresas se dan procesos de aumento en la edad promedio de los dueños y poca participación de personas jóvenes. Es posible identificar muchas causas que influyen en el corto ciclo de vida, pero el relevo generacional o su ausencia, es una gran



amenaza en la sostenibilidad a largo plazo de estas empresas. Sin un manejo adecuado del relevo generacional, la empresa familiar entra en una especie de camino sin salida, ni retorno.

Por su parte, Rodríguez, Rodríguez y Rodríguez (2007:9) indican,

... las investigaciones sobre la empresa familiar toman mas importancia a partir de la década de los noventa, estudios que identifican entre otras características y temas de análisis, que la empresa familiar es una organización basada en tres subsistemas: familia, propiedad y gestión, y que la sucesión o relevo generacional es el reto y el proceso más importante para la continuidad.

Al respecto, Benavides, Guzmán y Quintana (2011:84) reportan que el relevo generacional ha adquirido relevancia y se mantiene como la temática más estudiada en este tipo de empresas y lo refiere como «uno de los retos más importantes para la mayoría de las empresas familiares, llegándose a considerar la principal amenaza»

No es extraño el énfasis en esta problemática, por su naturaleza en estas organizaciones el relevo generacional es fundamental para garantizar su continuidad en el tiempo y en la familia. De lo contrario, el esfuerzo del fundador morirá con él o bien pasará a manos de no familiares.

La empresa familiar agropecuaria

Su conceptualización ha sido énfasis en las investigaciones. Un amplio trabajo sobre este concepto es presentado por Molina, Botero y Montoya (2016), logran revisar veinticinco autores y sus propuestas, y concluyen que hay consenso sobre tres elementos esenciales que la definen:

- La propiedad.
- La empresa.
- La familia.

La empresa familiar agropecuaria es la organización donde la propiedad de los activos,

su gestión y la toma de decisiones sobre los negocios y las utilidades están centralizados en uno a más miembros familiares, generalmente, en la persona fundadora; dedicada a las actividades agropecuarias y casi siempre en un medio rural.

Ulloa de Porrúa y Ducós (2004:25), la describe como «una organización agroproductiva, cuyos integrantes pertenecientes a más de una generación, están vinculados por lazos de parentesco y que, además de aportar capital, deciden sobre el manejo del negocio y su destino».

En síntesis, los parámetros para definir este tipo de organización son:

- Persona productora agropecuaria.
- Integrantes con vínculos familiares.
- Familiares aportan capital y lideran la toma de decisiones.
- Es prioritario que los activos y su gestión continúen en propiedad de la familia.
- Interés de heredar a sus hijos e hijas.
- Principal activo, la tierra.

El tamaño de la explotación no limita esta definición, como apunta Ulloa de Porrúa y Ducós (2004:20), «es una sociedad de familia que puede ser una gran empresa y también una muy pequeña».

Es un tipo de organización donde participan dos instituciones muy importantes de la sociedad: la familia y la empresa. Cada una con sus particularidades y formas de funcionar, donde se traslapan objetivos y generan una serie de características particulares y complejas que debe ser consideradas para su sostenibilidad.

La siguiente figura ilustra los componentes de una empresa familiar agropecuaria: la familia, la empresa y el medio rural; en el traslape de estos componentes, tiene su génesis y deberá evolucionar a un ente con características y procesos propios

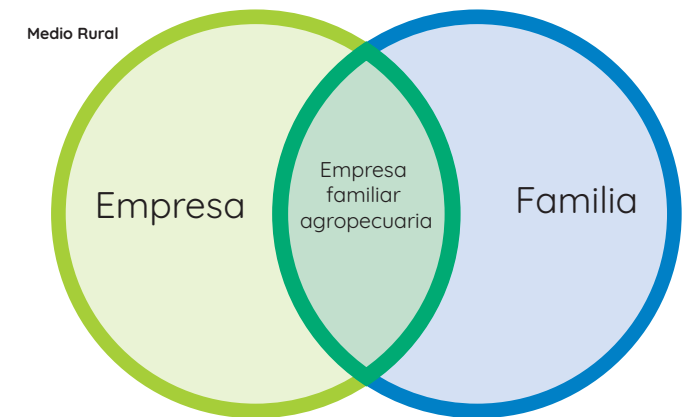


Figura 2:

Instituciones de una empresa familiar agropecuaria

La siguiente figura ilustra los componentes de una empresa familiar agropecuaria: la familia, la empresa y el medio rural; en el traslape de estos componentes, tiene su génesis y deberá evolucionar a un ente con características y procesos propios.

Las decisiones en este tipo de organización están influenciadas por las motivaciones personales de tipo familiar, que son de carácter subjetivo y que deben garantizar la reproducción, cuidado de sus integrantes y el fortalecimiento de sus vínculos; y las motivaciones de negocios, de carácter objetivo, que deben garantizar la producción y generar ganancias. Y deben ser tomadas por el mismo núcleo de personas, cuyos roles deben de estar bien delimitados, responde a la misma estructura jerárquica y a la misma lógica de poder o liderazgo.

Al observar la figura anterior, debe notarse que al estar vinculadas ambas instituciones la empresa y la familia en una nueva organización, quedan vinculadas de forma tal que ambas se influyen mutuamente. Las decisiones impactan en ambas instituciones. Por su vínculo, tienen un destino común a menos de que se separen.

SECCIÓN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Otra característica importante de las empresas familiares es el papel de las personas jóvenes, para los cuales, Ulloa de Porrúa y Ducós (2004), señala que podrá adquirir naturalmente conocimientos empresariales, como así dominio de aspectos productivos y tecnológicos. Es la oportunidad de las personas jóvenes de aportar nuevos paradigmas, especialmente en lo tecnológico y lo ambiental.

Modelos de estudio

Existen varios modelos que tratan de explicar la estructura y la lógica de gestión de la empresa familiar y que sirven de guía para su estudio y análisis, Pérez (2012) refiere el modelo de los tres círculos y el modelo de los cinco círculos, entre otros.

El modelo de los tres círculos conceptualiza como está conformada, sus elementos básicos y sus subconjuntos, que permiten ubicar el universo de las personas involucradas; del modelo de los cinco círculos, interesa la relación que se establece entre los elementos de la empresa familiar y el relevo generacional. A continuación, se describen en forma general.

El modelo de los tres círculos

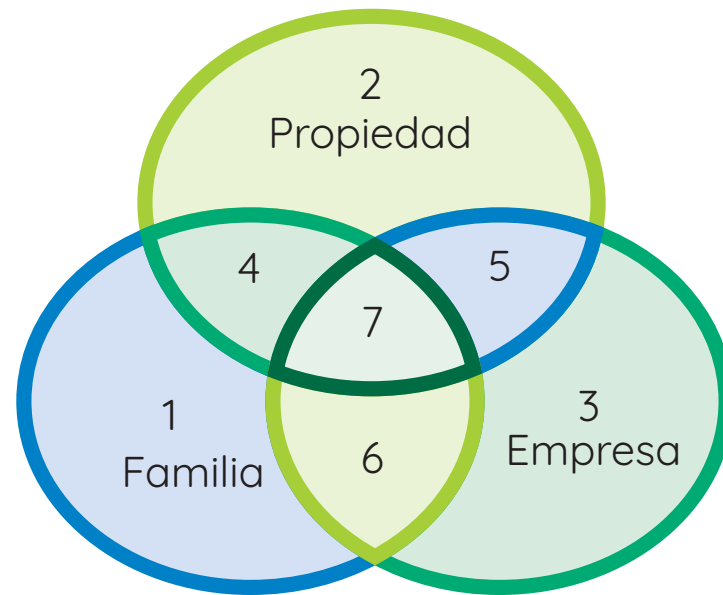
Desarrollado originalmente por Tagiuri y Davis (1982), es muy utilizado en los estudios referentes al relevo generacional. Se cita en investigaciones por autores como Alfaro (2019), Pérez (2012), Samaniego (2017), entre otros.

Ubica la empresa familiar compuesta por tres círculos, que representan los siguientes elementos:

- Los miembros de la familia.
- Los integrantes de la empresa, gestores y empleados.
- Las personas que tienen derecho o poder de decisión sobre la propiedad.

De la intersección de estos elementos, se derivan siete subconjuntos en los cuales cada miembro de la familia o de la empresa se puede

identificar. La siguiente figura lo representa gráficamente.



Fuente: Adaptado de Pérez 2012 y Tagiuri y Davis 1982..

Figura 3:

Modelo de los tres círculos

Cada subsistema identifica a un grupo de personas, su relación con la empresa, con la familia y sus motivaciones. Las descripciones de cada subsistema realizadas por Molina et al. (2016), Pérez (2012) y Tagiuri y Davis (1982), se presentan a continuación:

1. Miembros de la familia, que no son propietarios y no trabajan en la empresa, principal motivación la unión familiar.
2. Propietarios de la empresa, que no son miembros de la familia y no trabajan en la empresa, su motivación es obtención de dividendos.
3. Empleados de la empresa, que no son miembros de la familia y no son propietarios,

buscan la estabilidad y condiciones óptimas de trabajo.

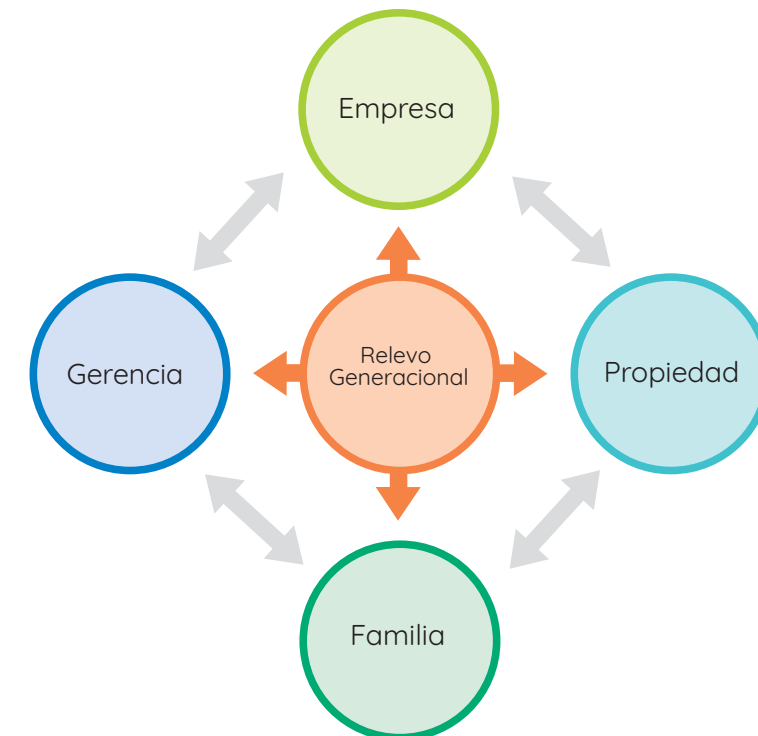
4. Miembros de la familia, que son propietarios y no trabajan en la empresa, su principal interés obtener dividendos.
5. No miembros de la familia, que son propietarios y trabajan en la empresa, interés primordial profesionalizar la empresa para aumentar su rendimiento.
6. No propietarios, que son miembros de la familia y trabajan en la empresa, buscan el reconocimiento por ser miembro de la familia y obtener mejores puestos.
7. Miembros de la familia, que son propietarios y trabajan en la empresa; generalmente el fundador y líder, busca mantener el nexo

familia-empresa, proyección a largo plazo y conservarla para futuras generaciones.

En este modelo es sencillo de entender y de comprender sus subsistemas, de la armonía de estos depende la sostenibilidad de la empresa. Por el contrario, los conflictos o la falta de claridad de los roles, dificultará la vida de la empresa familiar.

El modelo de los cinco círculos

Este modelo también descrito por Molina et al. (2016), Pérez (2012) y otros autores. Fue originalmente desarrollado por Amat (2000), parte del modelo de los tres círculos y agrega dos elementos: la gestión y el relevo generacional, que interactúa y afecta los demás elementos. La siguiente figura lo ilustra.



Fuente: Adaptado de Amat 2000 como se citó en Pérez 2012.

Figura 4:

Modelo de los cinco círculos

Por su parte, Pérez (2012,) describe el relevo generacional en este modelo como uno de los procesos más críticos que debe emprender toda empresa familiar para garantizar su continuidad en manos de la familia empresaria. Se deben considerar aspectos como la actitud del líder frente a su retiro, la relación del líder con los posibles sucesores, la planificación de la sucesión y la administración del proceso de sucesión.

El relevo generacional

Es uno de los procesos más importantes para la vida de las empresas familiares agropecuarias, autores como Benavides *et al.* (2011), Perrachón (2009, 2011), Rodríguez *et al.* (2007) y Ulloa de Porrúa y Ducós (2004), indican que del proceso de relevo generacional depende su continuidad.

Es un concepto que supera al hecho de la herencia. El relevo generacional es un proceso de traslado gradual de la propiedad y del liderazgo en la gestión empresarial, donde los roles del fundador y su familia se redefinen. El concepto ofrecido por Dirven (2002), es ampliamente citado entre ellos Perrachón (2009:117) y lo describe como «la transferencia en vida o no a la próxima generación del uso del patrimonio (activos, tierra) y de la gerencia de la explotación».

Por su parte, Martínez (2011), como se citó por Quarín (2017:35), plantea que el relevo es la «transmisión del mando y de la propiedad de una generación a otra, por lo tanto, tiene dos vertientes, una en la gerencia y otra en la propiedad.» Así mismo, Amat (2001) indica, que tiene una connotación en la propiedad del capital y una en el liderazgo en la distribución del poder.

Al analizar estos conceptos, se propone una conceptualización del relevo generacional como un proceso donde las generaciones adquieren y transfieren participación, liderazgo y derechos,

mediante un diálogo de saberes generacional, en tres dimensiones:

- La gestión empresarial, toma de decisiones y liderazgo.
- La propiedad de los activos, especialmente tierra.
- Los beneficios y las utilidades.

El relevo generacional constituye un proceso en la vida de las empresas familiares agropecuarias, que siempre llega sea planificado o no, que trasciende la voluntad del fundador o dueño, quiera o no y del cual depende la vida futura o no de la actividad empresarial de la familia.

Por sus implicaciones de poder y derechos a los activos y utilidades, tiene potencial de generar crisis y conflictos en la familia y en la empresa, que por su naturaleza es lógico que exista el interés primario de que la propiedad siga en manos de la familia.

El relevo generacional, en palabras de Rodríguez *et al.* (2007:22), es un proceso que

... consta de cuatro etapas: la de iniciación, la de integración, la de mando conjunto y la de retirada progresiva; durante este proceso, predecesor y sucesor se hacen interdependientes con el objetivo de conseguir la supervivencia de la empresa. Es un proceso donde se reconstruyen las relaciones en la familia y en la empresa, situación que no escapa en generar conflictos.

Para que un proceso de relevo sea exitoso, como cita Perrachón (2009:119) a Rubinsztein y otros (2009), debe tener tres elementos,

... planificación, disposición y beneficio.

Planificación, una sucesión beneficiosa puede tener lugar al cabo de diez a quince años. Disposición mutua, desde el padre implica la voluntad de compartir el liderazgo y la toma de decisiones; desde el hijo, la voluntad y acumulación de habilidades necesarias para asumirlo. Beneficio de la empresa, objetivo primordial de esta relación familiar.

El relevo generacional constituye una oportunidad para que las nuevas generaciones ganen experiencia, conocimientos y preparación en los ámbitos empresariales y desarrollen nuevos paradigmas de gestión; las nuevas generaciones siempre tienen la oportunidad y la energía de aportar nuevos paradigmas y de aportar en lo tecnológico, lo social y lo ambiental. Como lo señala Alvarado (2017) la innovación y el emprendimiento como elementos centrales para promover la participación de las personas jóvenes.

Al referirse a los hijos e hijas, Sibaja (2018:31) señala que,

... sobre todas las cosas son seres humanos que, conforme crecen, se forman y se educan, van desarrollando criterio propio, visiones de naturaleza diferente, en muchas ocasiones, pero que también pueden tener una visión afín a la del fundador o fundadores, que hace que se despliegue una gran oportunidad para el manejo de la sucesión.

Pero, ¿Qué es una generación?

La Real Academia Española [RAE] (2020), lo refieren a:

- Sucesión de descendientes en línea recta.

- Conjunto de las personas que tienen aproximadamente la misma edad.
- Conjunto de personas que, habiendo nacido en fechas próximas y recibido educación e influjos culturales y sociales semejantes, adoptan una actitud en cierto modo común en el ámbito del pensamiento o de la creación.

El estudio realizado para Unimer y Kölbl, publicado por Sanabria, Chacón, Linares y Salas (2017:2), aborda esta temática para el caso costarricense y definen generación como:

grupo de personas que nacen en una fecha o año determinado, pero más que la edad que comparten, lo que las marca como generación son los cambios que suceden en la sociedad en que viven, es la influencia del entorno y la coyuntura política, social, cultural y económica en que les toca vivir. Por lo tanto, suelen tener patrones culturales y estilos de vida similares, compartiendo agendas e intereses.

La siguiente tabla contiene el resumen de la propuesta de Unimer y Kölbl.



Tabla 1

Propuesta de generaciones costarricenses

Generación	Caracterización	Hechos relevantes
<p>Generación AM Período: 1924 – 1939 (81 años o más al 2020)</p> <p>El 2 % de la población costarricense.</p>	<p>La Costa Rica campesina, de familias grandes. El hombre era el principal proveedor económico y la autoridad en el hogar. Existían pocas oportunidades de estudio y la principal actividad económica se concentraba en la agricultura, era gente que madrugaba, fue la generación que vivió de la tierra y que daba gran valor a este recurso. La iglesia católica ejercía una fuerte influencia en los valores, la familia y la forma de vida. La radio es el principal medio de información y comunicación de la época, impactó y marcó a los habitantes de este período. AM es una metáfora del costarricense madrugador, primerizo y simple en muchas facetas de la vida.</p>	<p>+ Costa Rica de estado liberal, influenciado por las clases económicamente dominantes, representadas por la oligarquía cafetalera.</p> <p>+ Modelo de desarrollo agroexportador, dependiente de los precios internacionales, debilitado por las guerras y la gran depresión.</p> <p>+ Estilo de vida sencilla, tradicional y de control social.</p>
<p>Generación Pregonera Período: 1940 – 1960 (60 a 80 años al 2020)</p> <p>El 14 % de la población.</p>	<p>Representa al grupo de costarricenses que contribuyeron a la construcción de las bases sociales, fueron parte del proceso de consolidación de nuestra democracia y de la creación de algunas de las más importantes instituciones públicas del país. La política fue un eje fundamental, se da el bipartidismo y algunos líderes políticos tienen una influencia importante sobre el futuro del país y las vidas de las personas. Se logra un mayor acceso a la educación permitiendo que sea esta la primera generación de costarricenses que se alfabetizan. El acceso a servicios públicos es cada vez mayor y el papel de la prensa escrita es muy importante. Pregonera describe al costarricense que levanta su voz, se hace escuchar y sentir.</p>	<p>+ Estado reformista social. Transición a un estado interventor.</p> <p>+ Conflictos sociales y guerra civil por la libertad del sufragio.</p> <p>+ Fortalecimiento de la estructura institucional que apoyaría un nuevo modelo de desarrollo y el crecimiento del estado.</p> <p>+ Sociedad conservadora, poco conectada con el mundo, basada en la familia y en el trabajo.</p>
<p>Generación Satelital Período: 1961 – 1981 (39 a 59 años al 2020)</p> <p>El 32 % de la población.</p>	<p>Grupo de ciudadanos costarricenses marcados por la exposición a la televisión; la información, la comunicación y la transmisión del conocimiento giran alrededor de este medio. Es la generación central que funge como puente entre las primeras y más recientes generaciones, porque recibe información, vivencias del pasado y de su infancia, la procesa y retransmite con cambios y mejorando las cosas con las que no estaba de acuerdo. Este grupo rompe los moldes, cuestiona y actúa para modificar el estatus quo de las cosas, la mujer empieza a trabajar fuera del hogar, las familias son más pequeñas y comienzan a hablarse de temas que hasta entonces eran tabú, como los anticonceptivos y el divorcio. Acceden a la</p>	<p>+ Estado interventor, empresario, apoyando el despegue de la economía.</p> <p>+ Modelo de sustitución de importaciones, apoyo a la actividad industrial.</p> <p>+ Costa Rica más conectada con los avances en el sector de telecomunicaciones.</p> <p>+ Cuestionamiento del modelo y crisis económica.</p> <p>+ Jóvenes más influenciados por ideologías de izquierda. Se salen de los roles tradicionales y alzan su propia voz.</p>

Generación	Caracterización	Hechos relevantes
	<p>educación universitaria, se profesionalizan, migración interna hacia la zona rural, diversificación de la economía, aplicación de programas de planificación familiar, modificaciones cualitativas en las estructuras de los hogares, rol del hombre y mujer en la sociedad. Satelital describe al costarricense que representa un cambio, recibe algunas señales del pasado, pero ya conectado y con la globalización retransmite otros valores a las siguientes generaciones.</p>	
<p>Generación Digital Período: 1982 – 1999 (21 a 38 años al 2020)</p> <p>El 40 % de la población.</p>	<p>Crecen viviendo el cambio tecnológico con la llegada de la computadora, el internet y el acelerado avance de la telefonía celular y es por eso que su curva de aprendizaje es acelerada y muestran pocas barreras hacia el uso de la tecnología. Esta generación pospone por más tiempo las ideas y decisiones de matrimonio y tener hijos, son las personas que por más tiempo viven en la casa de sus papás con el fin de disfrutar más su vida y tener más experiencias. Viven el hoy y el ahora, son más hedonistas, les interesa un trabajo estable y están más dispuestos a endeudarse para obtener lo que desean. Digital describe su principal medio de comunicación, redes sociales e internet, son los nacidos en la era digital.</p>	<p>+ El país golpeado por la crisis económica y por la inestabilidad política de la región.</p> <p>+ Empieza la apertura comercial con mercados no tradicionales, nuevo modelo de desarrollo, diversificación de productos agrícolas.</p> <p>+ Jóvenes más libres de ataduras morales y con una visión de vida en la que el matrimonio no es prioridad.</p>
<p>Generación Virtual Período: 2000 – actualidad (menos de 21 años al 2020)</p> <p>El 12 % de la población.</p>	<p>Grupo que aún está en formación, están construyendo opinión y empezando a acumular experiencias de vida. Son nativos tecnológicos, los dispositivos electrónicos, las RRSS y los videojuegos son parte de su ADN, pero además son los que más practican actividad física frecuente y se muestran muy tolerantes a temas relacionados con la diversidad de género; tienen una comunicación abierta con sus padres sobre cualquier tema incluyendo la sexualidad. Es una generación que valora la estabilidad en el trabajo en combinación con la flexibilidad de horario que demandan en este ámbito. Virtual tiene una connotación, que viven en una realidad en transformación.</p>	<p>+ Cuestionamiento del estado interventor y evolución a un estado de pensamiento neoliberal.</p> <p>+ Apertura comercial y fin de los monopolios estatales.</p> <p>+ Sociedad del conocimiento, la información y del mundo digital.</p>

Fuente: Elaborado con base en Sanabria et al. 2017 y Unimer y kölbi s.f.

SECCIÓN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

El relevo generacional es analizado como factor importante y preocupante en el marco de las realidades del medio rural, no solo por el hecho del marcado aumento de la edad promedio de las personas productoras, sino también por la pérdida de participación de la pequeña y mediana producción agropecuaria, su efecto en la generación de empleo, en la distribución de la riqueza, el aumento de

desigualdades y la soberanía alimentaria. Paralelo, está la ganancia en participación de las grandes empresas y la proletarización de personas jóvenes en el medio rural.

La siguiente figura contiene el esquema conceptual sobre el relevo generacional que se ha expuesto en este apartado.

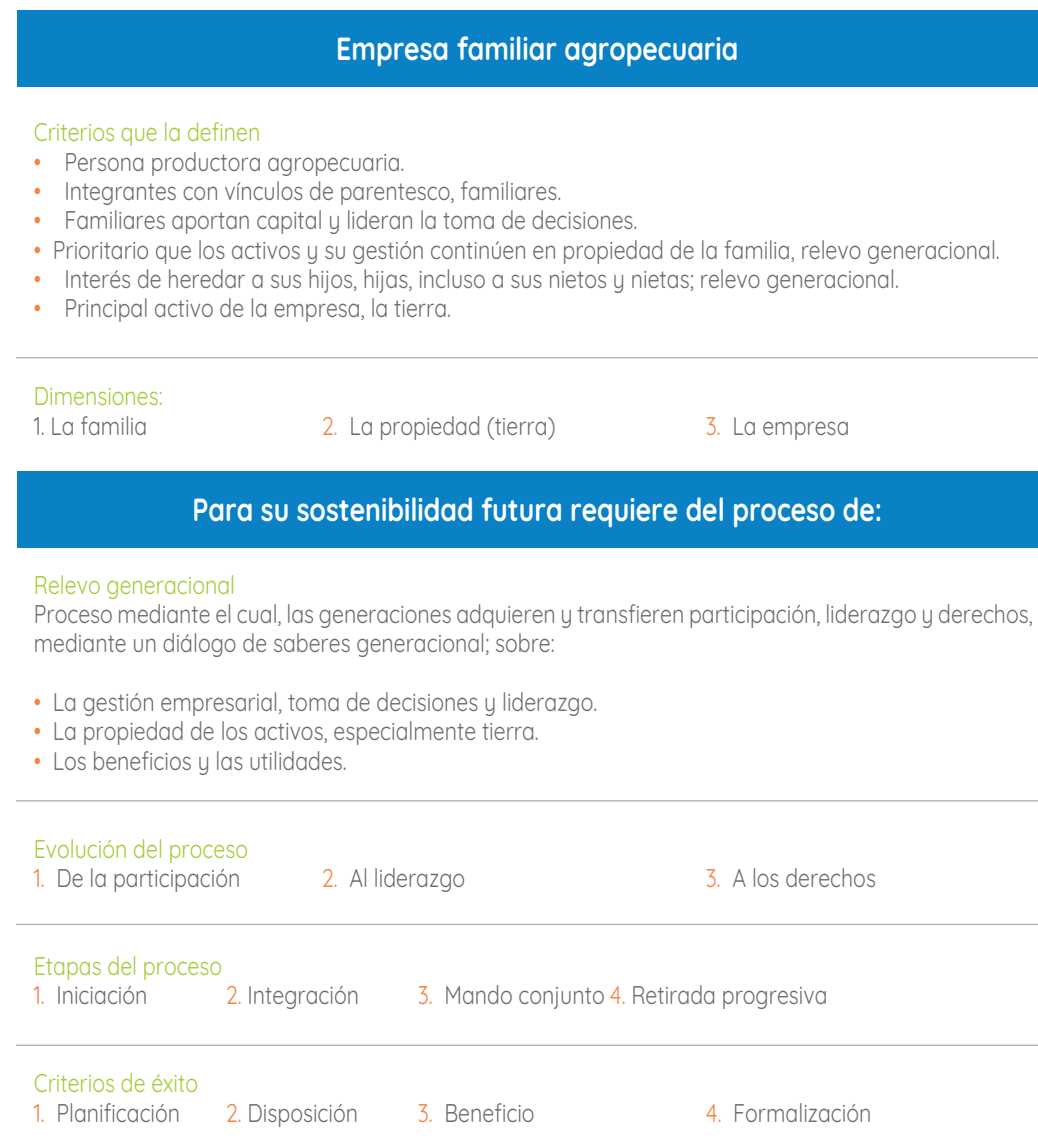


Figura 5

Concepto de relevo generacional

Un caso de aplicación

Considerando los planteamientos teóricos y metodológicos expuestos y esquematizados en la figura anterior, se analiza el proceso de relevo generacional en el sector cañero de Carrillo, el proceso completo de análisis puede ser consultado en Valenciano (2021).

Criterios que lo definen:

- Participación en la gestión empresarial, toma de decisiones y liderazgo. Solo las personas adultas mayores y adultas están participando en la toma de decisiones y liderazgo en la gestión del cañal. Actualmente, no se involucran a personas jóvenes a este nivel de gestión, desde temprana edad se les motiva ir a estudiar o buscar trabajos fuera de la comunidad, lo que limita el proceso de aprendizaje, de arraigo a la parcela y la agricultura en general.

La participación de personas jóvenes se realiza según la disponibilidad de tiempo, y básicamente, en la gestión operativa del cultivo. Las personas jóvenes manifiestan que las personas adultas tienen poca confianza en ellos para gestionar las decisiones y liderar el desarrollo del cultivo y la parcela en general.

- Participación y derecho a la propiedad de los activos, especialmente tierra.

Las propiedades son pequeñas y las familias tienden a ser numerosas, lo que dificulta el acceso a la tierra a las siguientes generaciones, por la relación del tamaño de las parcelas y las familias, además de la baja rentabilidad de la producción. Las personas jóvenes no tienen acceso a la tierra, está asignado a personas adultas mayores y adultas.

- Participación en los beneficios, derecho sobre las utilidades.

Baja rentabilidad de las actividades agropecuarias y falta de opciones productivas viables, que limita dar mayor acceso a las personas jóvenes a los recursos y beneficios de la empresa familiar. El aporte de las personas jóvenes es considerado como una ayuda en la reducción de costos de producción, sin retribución económica. Por esta razón, buscan opciones laborales y económicas fuera de la comunidad y del sector agropecuario.

Sobre las etapas:

- **Iniciación e integración.** Debilitados y faltantes procesos de -iniciación- e -integración- con personas jóvenes y adultas jóvenes. Esto limita las siguientes etapas del relevo generacional. Para los padres, es más importante que sus hijos e hijas estudien, en el entendido de que esto les da mayores oportunidades laborales y económicas. Ocasionado que, una vez logrado una profesión y trabajo estable, su vinculación sea menor con la producción agropecuaria y se desliguen de estas etapas del relevo generacional. Estos procesos sí fueron abordados en las generaciones anteriores, la Satelital y Pregonera, hoy personas adultas mayores y adultas. Esta situación es muy influyente en los debilitados procesos de relevo generacional.

Existe una baja participación de las generaciones de menor edad, como la Digital y ausencia de la generación Virtual; sin duda, esta realidad limita la implementación e innovación de procesos tecnológicos y de gestión, que facilitarían la posibilidad de aumentar la viabilidad y desarrollar nuevos paradigmas en la actividad cañera.

SECCIÓN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

- **Mando conjunto.**

No se logra llegar a la etapa de -mando conjunto-. La participación de personas jóvenes y adultas jóvenes en la producción cañera y agropecuaria en general se considera un aporte en la reducción de costos de producción y se realiza según la disponibilidad de tiempo en las responsabilidades de estudio y trabajo de personas jóvenes.

En algunos casos, este aporte se realiza en forma de pagos de mano de obra a terceros para que colaboren con sus padres o madres en las gestiones operativas de la producción.

- **Retirada progresiva.**

No existe -retirada progresiva-, las personas adultas mayores, generaciones AM y Pregoneros, se mantienen al frente de la gestión del cañal. Solamente se retiran o reciben apoyo en casos de fuerza mayor como enfermedad o limitaciones propias de la edad.

La pensión no es una jubilación para estas personas productoras; por tanto, se mantienen al frente de las decisiones operativas y económicas del cañal. Esto por la importancia simbólica y económica que tiene para ellos.

La desvinculación de la persona adulta mayor se realiza generalmente en casos de su fallecimiento, o bien que las limitaciones físicas sean muy severas. Esto genera que el relevo generacional se realice a edades avanzadas de los relevados y los relevos.

Referente a los criterios de éxito:

- **Planificación.**

El relevo generacional no es abordado en forma planificada en las familias productoras.

El acercamiento o abordaje se realiza básicamente como un proceso de derechos a la herencia en la mayoría de casos. El abordaje de estos procesos no es una temática sencilla para las familias, no están ausentes los conflictos; en este marco, se identifica la necesidad de acompañamiento profesional para la planificación del relevo generacional con herramientas y capacitaciones a las familias productoras.

- **Disposición.**

Existe disposición, en algunos grupos de personas jóvenes que se han organizado para buscar opciones económicas. Se identifica un claro liderazgo y disposición, expresado con mayor énfasis en las mujeres jóvenes.

En las personas adultas mayores, la disposición de realizar relevo generacional se identifica con más énfasis en las mujeres productoras.

Esta disposición se concreta en ceder áreas de terreno para que las personas jóvenes desarrollen sus cultivos y proyectos. En el caso de las personas jóvenes, su disposición de tomar el reto y organizarse para desarrollarlo.

Se identifican casos de profesionales jóvenes, generación Digital, con interés de invertir y desarrollar experiencias en el cultivo de la caña de azúcar, pero requieren mayor acompañamiento técnico.

- **Beneficio.**

Es muy limitada la rentabilidad de la actividad cañera por altos costos de producción y bajos precios de la cosecha. Las áreas son pequeñas, menores a 10 ha y familias numerosas.

Las personas adultas mayores tienen la prio-

ridad del beneficio económico y las personas jóvenes no tienen asignados beneficios económicos producto del cañal. Por esta razón, las personas jóvenes buscan oportunidades fuera de la actividad cañera y se desmotivan de la actividad productiva agrícola en general.

- **Formalización.**

No existen herramienta para formalizar estos procesos de relevo generacional, más que los referidos a la herencia, lo que limita su abordaje planificado. Esta limitante o necesidad es identificada y señalada también en las experiencias de Apropisa y Cgizs.

Se recomienda incluir en las estrategias, programas y proyectos de desarrollo rural y

agropecuario, acciones para fortalecer el relevo generacional, mediante la -iniciación- de personas jóvenes e -integración- generacional.

El abordaje generacional como eje transversal facilitará el desarrollo de oportunidades y espacios para personas jóvenes, y su -integración- en los procesos desarrollo rural.

El relevo generacional como eje transversal se debe visualizar como una buena práctica en iniciativas de desarrollo rural y agrícola; la FAO y FIDA, la OIC, la Alianza Cooperativa Internacional, así como la Unión Europea, reportan tal inclusión en sus políticas, planes y programas.



Literatura citada

- Alfaro, F. (2019). *Análisis de la situación actual de la integración y el relevo generacional en el sistema de producción pecuaria familiar*. [Tesis de licenciatura no publicada]. Universidad de Costa Rica.
- Alvarado, E. (21 de setiembre del 2017). *Innovación y emprendimiento, elementos para promover el relevo generacional* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=DPEwNvLrdiA>
- Amat, J. (2001). *La sucesión en la empresa familiar*. Revista de la Asociación Española de Contabilidad y Administración, AECA (56), 41-43. <http://www.aeca1.org/revistaeca/revista56/56.pdf>
- Asociación Cámara de Ganaderos Independientes de la Zona Sur. (2018). *Proyecto ganadero joven*. C.G.I.Z.S. https://cgizs.com/proyectos/proyecto_ganadero_joven.php
- Benavides, C., Guzmán, V. y Quintana, C. (2011). *Evolución de la literatura sobre empresa familiar como disciplina científica*. The evolution of family farm literature as a research discipline. Cuadernos de economía y dirección de la empresa, 14(2), 78-90. <https://doi.org/10.1016/j.cede.2011.02.004>
- Benavides, Y. (21 de setiembre del 2017). *Cooperativa Dos Pinos: Trayectoria y alcances del programa Dos Pinos Joven* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=MDjXke6z21c>
- Canet, G. (21 de setiembre 2017). *Relevo generacional en la producción de café* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=jWB1SocO_Jw
- Clare, P. (2011). *Los cambios en la cadena de producción de la palma aceitera en el Pacífico costarricense: Una historia económica, socioambiental y tecnocientífica, 1950-2007*. Sociedad Editora Alquimia 2000 S.A. <https://www.semanticscholar.org/paper/Los-cambios-en-la-cadena-de-producci%C3%B3n-de-la-palma-Rhoades/89ccb9b5740ca591ddcb76fb65846b392b84bfda>
- Cooperativa Agrícola Industrial Victoria R.L. (2019). *Balance social cooperativo CoopeVictoria R.L. Periodo 2017-2018*. <http://www.coopevictoria.com/wp-content/uploads/2019/05/Balance-Social-final-2017-2018.pdf>
- Dirven, M. (2002). *Las prácticas de herencia de tierras agrícolas: ¿Una razón más para el éxodo de la juventud?* Serie Desarrollo Productivo 135. Cepal, División de Desarrollo Productivo y Empresarial. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/4525-practicas-herencia-tierras-agricolas-razon-mas-exodo-la-juventud>
- Dirven, M. (2013). *El relevo generacional en la explotación agropecuaria*. Revista Plan Agropecuario, (146), 36-41. https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R146/R_146_36.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2017). *Informe sobre el primer foro mundial de países productores de café, Medellín (Colombia) Julio de 2017*. https://federaciondecafeteros.org/static/files/Informe_Primer_foro_mundial_paises_productores_cafe.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2021). *Informe de Gestión 2020*. <https://doi.org/10.38141/10793/2020>
- Gutiérrez, S. (5 de octubre del 2017). *UTN realizará simposio internacional sobre relevo generacional en empresas agroalimentarias*. UTN, Universidad Técnica Nacional. <https://www.utn.ac.cr/content/utn-realizar%C3%A1-simposio-internacional-sobre-relevo-generacional-en-empresas-agroalimentarias>
- Instituto del Café de Costa Rica (17 de julio del 2017). *Productores definen plan de acción para enfrentar problemática de la caficultura mundial*. Icafe. <http://www.icafe.cr/productores-definen-plan-de-accion-para-enfrentar-problematika-de-la-caficultura-mundial/>
- Instituto Nacional de Fomento Cooperativo (2015). *Cooperativas realizan acciones para fortalecer su base asociativa*. Infocoop. http://ns2.infocoop.go.cr/enterese/noticias/2015/setiembre/setiembre_1.html
- López, L. (enero-junio, 2013). *Generación de relevo y decisiones de inversión en fincas cafeteras en el departamento de Caldas, Colombia*. Sociedad y economía, (24), 263-286. https://sociedadyeconomia.univalle.edu.co/index.php/sociedad_y_economia/article/view/4015/6174
- Marín, X. (2017). *Integración y relevo generacional en el sector agroalimentario de Costa Rica. Algunos puntos claves para la incorporación de las nuevas generaciones a las empresas agroalimentarias*. Revista UTN, Informa al sector agropecuario, XIX (80), 56 - 58. <https://www.utn.ac.cr/sites/default/files/attachments/REVISTAS%20UTN%2080.pdf>
- Mazzero, A. y Herrera, G. (21 de setiembre del 2017). *Programa Ganadero Joven. Cámara de Ganaderos Independientes de la Zona Sur, Cgizs* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=SIaaqEEq-Kw&list=PLwgYWHybwVHNYj88f0aKlr5ZV7YDtg0g0&index=6>

SECCIÓN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2018). *Integración de jóvenes en la agricultura familiar: el caso de Apropisa en Sarapiquí*. Sistematización de la experiencia de extensión agropecuaria. Agencia de extensión agropecuaria La Virgen. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E50-11082.pdf>
- Molina, P., Botero, S., y Montoya, J. (2016). *Empresas de familia: conceptos y modelos para su análisis*. Family business: concepts and models for analysis. Pensamiento y gestión, (41), 116-149. <http://www.scielo.org.co/pdf/pege/n41/n41a06.pdf>
- Morales, Á. (2015). *Agricultura familiar en Uruguay. Problemáticas relacionadas al relevo generacional* (Trabajo final de grado, Universidad de la República Uruguay). Colibrí. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/5734/1/Morales%20Alvaro.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2014). *Los jóvenes y la agricultura: Desafíos clave y soluciones concretas*. <http://www.fao.org/3/a-i3947s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (2019). *Decenio de las Naciones Unidas para la agricultura familiar 2019-2028*. Plan de acción mundial. <http://www.fao.org/publications/card/es/c/CA4672ES/>
- Pérez, A. (2012). *El modelo de empresa familiar: los cuatro pilares fundamentales*. 3Ciencias, 1-12. <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2012/06/1.-El-modelo-de-los-cuatro-pilares-EF.pdf>
- Perrachón, J. (2009). *Sucesión generacional*. En Instituto Plan Agropecuario (Ed), *Familias y campo, rescatando estrategias de adaptación*. (pp. 115-126). https://planagropecuario.org.uy/uploads/libros/16_familias_y_campo.pdf
- Perrachón, J. (2011). *Relevo generacional en predios ganaderos del Uruguay* (Tesis de maestría, Universidad de la República Uruguay). Colibrí. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/1820>
- Quarin, P. (2017). *Empresas familiares agropecuarias situadas al sur del departamento general obligado*. Análisis desde teorías clásicas (Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica Nacional de Argentina). RIA <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/3181/TRABAJO%20FINAL%20Quarin%20Pamela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Real Academia Española (2020). *Edad*. En RAE. <https://dle.rae.es/edad?m=form>
- Rodríguez, J., Rodríguez, M., y Rodríguez, M. (2007). *El relevo generacional en la empresa familiar*. Cátedra Prasa de Empresa Familiar, Universidad de Córdoba. <http://hdl.handle.net/10396/5179>
- Samaniego, R. (2017). *Sucesión familiar en el sector agropecuario "relevo generacional"*. <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/sucesion-familiar-sector-agropecuario-t40959.htm>
- Sanabria, P., Chacón, A., Linares, S., y Salas, R. (2017). *La verdad sobre las generaciones en Costa Rica #Gentico*. Unimer y kölbi. Yulök, Revista de Innovación Académica, 1(1), 18- 35. <https://revistas.utn.ac.cr/index.php/yulok/article/view/103>
- Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Estudio sobre el envejecimiento de la población rural en México*. SAGARPA y FAO. <https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-2-estudio-sobre-el-envejecimiento-de-la-poblacion-rural-en-mexico.pdf>
- Sibaja, N. (2018). *Empresas familiares*. Reflexiones sobre el dilema de la sucesión. Revista UTN informa al sector agropecuario, XX (82). 30-33. <https://www.utn.ac.cr/sites/default/files/attachments/REVISTA%2082.pdf>
- Tagiuri, R y Davis, J. (1982). *Atributos ambivalentes de la empresa familiar*. En A, Gimeno y S, Pérez (Eds) *Familia empresaria: Desarrollo de la continuidad*. (pp. 11-16). https://biblio.colsan.edu.mx/arch/especi/hi_eco_027.pdf
- Ulloa de Porrúa, E. y Ducós, M. (2004). *Empresa familiar agropecuaria*. Eudeba. <https://es.scribd.com/document/395838630/Empresa-Familiar-Agropecuaria>
- Unimer y kölbi. (s.f.). *Costa Rica cuenta con su propio estudio de generaciones*. La verdad sobre las generaciones en Costa Rica. Unimer. Recuperado el 11 de setiembre de 2020, de <https://blog.unimercentroamerica.com/costa-rica-cuenta-con-su-propio-estudio-de-generaciones>
- Vargas, J. (2017). *Hay que impulsar el relevo generacional en el campo*. Portafolio. <https://www.portafolio.co/opinion/otros-columnistas-1/coyuntura-jesus-antonio-vargas-orozco-de-febrero-de-2017-503120>



FERTILIZACIÓN FOLIAR EN CAÑA DE AZÚCAR: CONCEPTO, PRINCIPIOS Y PRÁCTICA

Marco A. Chaves Solera¹

Introducción

La caña de azúcar es sin lugar a duda una de las especies vegetales más eficientes que existe virtud de la alta producción de biomasa producida, traducida básicamente en la cantidad y volumen de hojas y tallos (caña integral) que genera, medida en toneladas métricas; lo cual, durante su última etapa de madurez, expresa en forma de fibra, azúcares y derivados agrícolas y fabriles de amplio uso e interés comercial. Como acontece en cualquier actividad productiva y emprendimiento empresarial, particularmente las que operan en el campo agrícola y agroindustrial, los retos y desafíos que existen actualmente y con perfil futuro son de múltiple naturaleza y muchos muy difíciles de confrontar y superar; lo cual, sin embargo, constituye una imperiosa necesidad por atender y resolver si es que se pretende mantener operando, vigente y creciendo de manera competitiva y rentable en un entorno comercial tan complejo y exigente como el actual.

Esta realidad comercial obliga a los responsables empresariales a intervenir e impactar los rendimientos y los índices de productividad agroindustrial de la manera más significativa y rentable posible, cumpliendo y respetando además los principios y prolegómenos que orientan y fundamentan el desarrollo sostenible. Este imperativo productivo-comercial se procura resolver de manera pragmática incorporando factores,

elementos y estrategias técnico-administrativas modernas dotadas de una fuerte tasa de retorno y rentabilidad que generen un rédito final positivo en la ecuación producto generado/costo de inversión e implementación incorporado.

Propiamente en el campo cañero el desafío empresarial se enfrenta mediante la incorporación, adopción y el empleo de mecanismos e instrumentos biotecnológicos, los afines con la agricultura de precisión o de sitio, el



¹Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Especialista en el Cultivo de la Caña de Azúcar. Costa Rica. E-mail: chavessolera@gmail.com



uso de bioinsumos, la mecanización y automatización de procesos y prácticas; así como también, aquellos ligados con la mejora y el desarrollo genético de nuevas variedades. Esas opciones representan algunas de las estrategias y medidas empleadas y destinadas a procurar satisfacer esa pretenciosa pero necesaria meta. Se busca en todo esto como principio doctrinario, sustituir y superar lo tradicional por lo moderno, eliminar lo innecesario, adoptar y promocionar lo efectivo y eficaz, producir en armonía ambiental, minimizar los costos asociados y maximizar el potencial intrínseco que la planta de caña posee para traducirlo en más producción de caña y mayor concentración de sacarosa en los tallos industrializables de la planta.

Propiamente lo que compete particularmente al campo de la nutrición y la fertilización de plantaciones comerciales, se ha comprobado

que la adición de nutrientes al suelo tiene sus hondas y preocupantes limitaciones, que muchas veces resultan inconvenientes para desarrollar un proyecto de producción rentable, sostenible y competitivo. Esta deficiencia viene asociada a las dificultades naturales que ofrece la planta de caña para recibir una nutrición suficiente y balanceada, aunado a la impericia técnica observada en la ejecución de la práctica como lo señalara con detalle Chaves (2021d).

Dicha dificultad está determinada y coligada a dos elementos propios del cultivo, como son: a) su naturaleza extensiva y amplia distribución del área cultivada lo que introduce un factor de variabilidad edáfica muy alta y b) el rápido crecimiento de la plantación dificulta la aplicación óptima del fertilizante en el campo, lo cual varía mucho con el material genético sembrado.

Con el objeto de superar esas limitantes, dinamizar y agilizar además la práctica de la fertilización superando los problemas biomásicos y de relieve existentes, pero, sobre todo, favorecer la aplicación de micronutrientes esenciales, es que desde hace algún tiempo se viene investigando y validando la alternativa y factibilidad de incorporar las aplicaciones foliares como labor ordinaria de campo, al igual que acontece con la mayoría de los cultivos tradicionales. Buscando incursionar y abordar el tema de manera técnica, se exponen, analizan y comentan en el presente documento, algunos elementos a considerar necesarios para lograr un tratamiento y juzgamiento objetivo de las posibilidades y el potencial real que ofrece esa interesante y conocida opción tecnológica.

Antecedentes

Los antecedentes históricos nacionales revelan que antes del año 1985 era común encontrar en algunas empresas azucareras ubicadas en localidades cuyo entorno geográfico lo permitía, como era principalmente la zona del Pacífico Seco, el empleo de aplicaciones aéreas para adicionar los fertilizantes granulados, como lo mencionara Chaves (1999), lo cual incorporaba algunas ventajas relativas importantes, como eran:

- a) Se tenía aún un rezago y posicionamiento técnico del “adoctrinamiento” generado por la “Revolución Verde” y sus principios
- b) El modelo de “sustitución de importaciones” estaba en boga y buscaba el autoabastecimiento alimentario, motivo y razón por la cual se promovía e impulsaba la producción nacional
- c) Las aplicaciones aéreas eran moda en esa época y tenían gran aceptación y amplio uso

para adicionar agroquímicos, en especial insecticidas y fungicidas, como acontecía en cultivos como algodón, arroz y otros granos básicos, actividades de muy amplia difusión en ese período en la región guanacasteca

- d) Se podía cubrir un área de terreno cultivado importante en muy poco tiempo
 - e) Se liberaba personal de campo para emplearlo en otras actividades
 - f) El bajo costo de los fertilizantes y las aplicaciones aéreas lo permitía y favorecía
 - g) El desarrollo agropecuario en el país y la región era dinámico y muy importante lo que beneficiaba la disponibilidad de equipos e infraestructura apropiada
 - h) No existían tantas regulaciones y exigencias protocolarias en las aplicaciones aéreas
 - i) El tema ambiental en la agricultura no estaba aún muy desarrollado y restringido
 - j) La productividad agroindustrial era un concepto y aspiración muy importante pero no tan determinante como acontece en los tiempos actuales
- Con el paso de los años, la adopción de profundos cambios en la forma de producir y hacer comercio aunado a circunstancias económicas, ocasionó que el recurso y la práctica aérea perdieran fuerza por lo que fue pronto desestimada y eliminada, al menos en el caso de la caña de azúcar, lo cual aconteció por varias razones como fueron entre otras las siguientes:
- 1) El paradigma de la “Revolución Verde” fue pronto superado y sustituido por otros modelos con principios y prolegómenos muy disímiles como fue el Desarrollo Sostenible o Sustentable.

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

- 2) El concepto de la seguridad y la autonomía alimentaria perdió fuerza, favorecida por las corrientes liberales y de apertura comercial, con lo cual la producción nacional perdió estímulo y apoyo estatal
- 3) Los costos asociados a los insumos (fertilizantes, combustibles, equipos) se incrementaron y encarecieron significativamente, afectando y desequilibrando la ecuación comercial de costos/ingresos
- 4) Las regulaciones y los controles oficiales para operar las aplicaciones aéreas se intensificaron
- 5) La regulación y las exigencias ambientales fueron en aumento y rigidez, incorporando un nuevo elemento que resultaba contraproducente con la práctica de aplicación de agroquímicos vía aérea
- 6) El concepto de la competitividad y la rentabilidad adquieren sentido y una nueva connotación, pasando a convertirse en criterios primarios en las medidas y decisiones por adoptar
- 7) El incremento sostenido de la productividad agroindustrial se torna un desafío y una meta por alcanzar y un criterio fundamental a seguir en la toma de decisiones de índole tecnológico, financiero, administrativo y empresarial
- 8) La desuniformidad y la fuerte contaminación de las fuentes hídricas, principalmente, promovida por las aplicaciones aéreas de fertilizantes granulados, se convirtieron en limitantes extremas y determinantes para cuestionar y desechar la práctica
- 9) El desperdicio de material valioso era extremo al no tener control en algunas áreas de la finca durante la aplicación

10) Las dosis adicionadas carecían de la exactitud y precisión deseada y necesaria, lo que daba lugar a un crecimiento desuniforme y muy heterogéneo de las plantaciones

11) Localidades o áreas con problemas de relieve (topografía ondulada, pendiente o quebrada) quedaban inhabilitadas y en condición limitada para el uso de la opción aérea

Apunta Chaves (1999) particularmente con respecto al uso del K aplicado por avioneta, que *“Por muchos años, en la región de Guanacaste este nutrimento se aplicó por la vía aérea, experiencia que posteriormente se abortó debido a las limitantes que presentaba: pérdidas significativas de fertilizante, distribución heterogénea en el campo y quema foliar de las plantas.”*

En este punto resulta prudente y necesario distinguir y diferenciar entre aplicaciones aéreas y fertilización foliar, pues muchas veces se interpretan como similares, cuando en realidad no lo son. Las aplicaciones aéreas de fertilizante pueden operar sobre insumos granulados o sobre soluciones formuladas en presentación líquida, entre las que se incluyen las foliares aplicadas por aspersion. Las fertilizaciones foliares pueden ser aéreas aunque también terrestres incorporando la solución en forma mecánica o manual dependiendo del equipo utilizado (manual, motorizado).

En torno a las aplicaciones de fertilizante por la vía foliar, cabe señalar que en el país se han realizado en el pasado varias pruebas experimentales, no muchas vale reconocer, promovidas por entes estatales (MAG) y privados (DIECA), pero sobre todo auspiciadas y desarrolladas por empresas comerciales vinculadas con los agroquímicos. El resultado de dichas pruebas cabe señalar ha sido en forma general muy errático, poco consistente y por tanto cuestionable en cuando a su beneficio y

eficacia agronómica medida en índices agroindustriales válidos; lo que ha impedido en el caso de la caña de azúcar, la aceptación y el posicionamiento técnico y comercial de la modalidad como práctica agrícola de uso ordinario. El tema será sin embargo desarrollado y analizado más adelante con mayor profundidad y especificidad para tener mayor claridad de este.

La opción foliar como instrumento para nutrir la caña

En consideración a su condición de planta semiperenne asociada con la naturaleza extensiva y la amplitud del área sembrada, que requiere el cultivo para el desarrollo de cualquier proyecto productivo serio y competitivo, hacen que la búsqueda de nuevas y mejores opciones técnicas viables y factibles para fertilizar la planta de manera apropiada y rentable, se convierta en una imperiosa necesidad. Esto, va directa y estrechamente ligado a la obligación de incrementar siempre de manera continua, intensa y sostenida los índices de productividad agrícola y también industrial, lo que implica insoslayablemente intervenir el sistema tradicional de manejo de las plantaciones de caña de azúcar. El objetivo empresarial se torna aún más complejo y difícil de satisfacer cuando adicionalmente incorporamos la prolongación de la “vida comercial competitiva” de las plantaciones como un elemento obligado y coligado por alcanzar. En la actividad cañero-azucarera la competitividad técnico-económica debe necesariamente medirse y ponderarse para ser aceptable en el tiempo y no apenas en una zafra.

En ese nuevo concepto pragmático de administración y manejo de plantaciones comerciales surge la nutrición foliar como una opción técnica potencialmente viable y factible, simulando lo que se practica en otros cultivos,

sobre todo cuando las plantas manifiestan limitantes en su nutrición, motivada e inducida por circunstancias que hacen que los nutrientes que se disponen en el suelo sean insuficientes o no accesibles. Es en este momento cuando debe valorarse la fertilización foliar como una posibilidad real, sobre todo al incorporar la necesidad de adicionar los nutrientes menores, conocidos también como oligoelementos o micronutrientes (Lopes 1991).

La nutrición de plantas por la vía foliar es una práctica muy conocida que consiste en incorporar y adicionar (asperjar) los nutrientes deseados disueltos en agua sobre el área foliar (hojas, tallos) de las plantas, considerando en primera instancia que estas tienen la capacidad natural de absorber dichos nutrientes, aunque como está demostrado en forma relativa y diferencial dependiendo de varios factores como son los anatómicos, climáticos y propios del nutriente. Relevante anotar que por fertilización foliar debe concebirse de manera genérica como la implicada en el suministro de nutrimentos a través del tejido foliar que involucra además de las hojas también los tallos.

La fertilización foliar es ciertamente una técnica más entre varias que existen para impactar la nutrición de las plantas, aunque vale reconocer, muy utilizada para suministrar nutrientes a los cultivos; pese a lo cual, al menos en el caso particular de la caña de azúcar, no reemplaza en absoluto la nutrición convencional operada mediante la incorporación de los nutrimentos al suelo y la consecuente e ineficiente asimilación de estos por las raíces. En la caña, las cantidades normalmente implicadas en la producción del cultivo son altas y muy superiores a las que podrían absorberse por las hojas, razón por la cual la vía foliar debe considerarse apenas como una técnica suplementaria o mejor aún complementaria de un programa de fertilización comercial, utilizándola exclusivamente para atender periodos críticos de crecimiento, en momentos de demanda específica de algún nu-

triente, en casos de situaciones adversas del suelo que comprometan la nutrición de las plantas y muy especialmente cuando deban incorporarse micronutrientes (Chaves 2021c). La nutrición foliar es por todo esto un complemento ideal para la fertilización edáfica, lo cual debe sin embargo demostrarse y validarse en el campo.

Organización de la planta

La naturaleza y características estructurales, morfológicas y anatómicas propias de las plantas tienen una gran influencia en el resultado y éxito potencial de esta modalidad de aplicación nutricional, motivo por el cual no puede ni debe quedar al margen de su valoración.

La mayoría de las plantas cultivadas responsables de colonizar la tierra pertenece al subreino Embryophyta y a la división Magnoliophyta (Angiospermas) que comprende a su vez la clase Magnoliopsida de las Dicotiledóneas y la clase Liliopsida de las Monocotiledóneas, las cuales poseen diversas familias de interés agrícola, entre ellas la caña de azúcar. Los órganos vegetativos fundamentales de esas plantas son la raíz, el tallo y las hojas; los cuales se componen a su vez de tres sistemas de tejidos: a) Sistema dérmico (epidermis y peridermis), b) Sistema vascular (xilema y floema) y c) Sistema fundamental (parénquima, colénquima y esclerénquima) (Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar 1989). Funcionalmente y visto de manera genérica y sucinta, la planta absorbe de la solución del suelo y por varios mecanismos el agua donde van disueltos los nutrientes como sales minerales o compuestos orgánicos; luego de lo cual atraviesan los diversos tejidos de la raíz hasta llegar a los vasos del xilema a partir de donde se conduce hacia las hojas donde ocurre la fotosíntesis. El resultado de ese complejo proce-

so es la elaboración de compuestos orgánicos que son transportados por el floema hasta los centros de consumo y almacenamiento del vegetal (Malavolta 1980; Marschner 1995; Mengel y Kirkby 2001; Epstein y Bloom 2006).

Para efectos de la opción y la modalidad de aplicación analizada (foliar) importa mucho lo que acontece en los sistemas dérmico y vascular. La hoja presenta básicamente tres tipos de tejidos: a) epidermis, b) mesófilo y c) tejidos vasculares; sin presentar crecimiento secundario. La **epidermis** actúa como revestimiento y esta externamente constituida por una **cutícula** que es más espesa en la cara adaxial (superior) que la abaxial (inferior o interna); se compone de cuatro componentes esenciales: *cutina*, *ceras*, *pectinas* y *celulosa*. Su endurecimiento es favorecido por los procesos de polimerización y oxidación en presencia del oxígeno atmosférico. La cantidad de cera presente en la hoja es muy importante pues influye en su capacidad de mojado. En algunas secciones la cutícula es parcialmente permeable debido a su falta de continuidad en cuanto a deposiciones de cutina y ceras. Las paredes de las **células del mesófilo** están revestidas por capas finas de cutícula que se contactan con los espacios intercelulares, formando la cutícula interna como continuación de la externa conectada por medio de los **ostiolos**. Dichos espacios forman un sistema continuo conectado con los **estomas**.

Puede asegurarse que la cutícula constituye la primera barrera a la penetración de las soluciones aplicadas por la vía foliar. Para ingresar la solución debe pasar la cutícula, penetrar al apoplasto y luego atravesar la plasmalema, que representa la segunda barrera hasta llegar al **simplasto foliar** y poder ser utilizadas. El simplasto comprende el conjunto de protoplastos que están conectados por los plasmodesmos que atraviesan las paredes celulares. Las células epidérmicas denominados ectodesmos son cavidades alargadas

compuestas por conjuntos de **espacios interfibrilares** que comienzan en la superficie de la plasmalema y atraviesan las paredes externas terminando en la cutícula sin perforarla ni llegar al exterior de la hoja. Los ectodesmos son vías de acceso al simplasto para las sustancias que penetran las hojas por la cutícula, los cuales están estrechamente relacionados con la absorción de nutrientes aplicados sobre las hojas; también están asociados con la excreción cuticular o lixiviación foliar.

Como se infiere de lo anotado, el ingreso de una sustancia al interior de la hoja y de planta son conceptos diferentes en los interviene numerosas estructuras propias y particulares del vegetal con diferencias importantes entre especies. Una sustancia puede ingresar en el

espacio extracelular (apoplasto) periférico al plasmalema (membrana) de las células de la hoja formado por el continuo de paredes celulares de las células adyacentes, material intercelular y espacio extracelular; pero no necesariamente con capacidad de circular por el interior (simplasto) de la planta, que representa el lado interno de la membrana plasmática en el que el agua y los solutos de bajo peso molecular pueden difundirse libremente. El simplasto es el compartimento intracelular de la planta.

En la Figura 1 se presenta de manera informativa un detalle de la estructura anatómica aproximada de la hoja mostrando genéricamente sus diferentes secciones, estructuras y componentes.

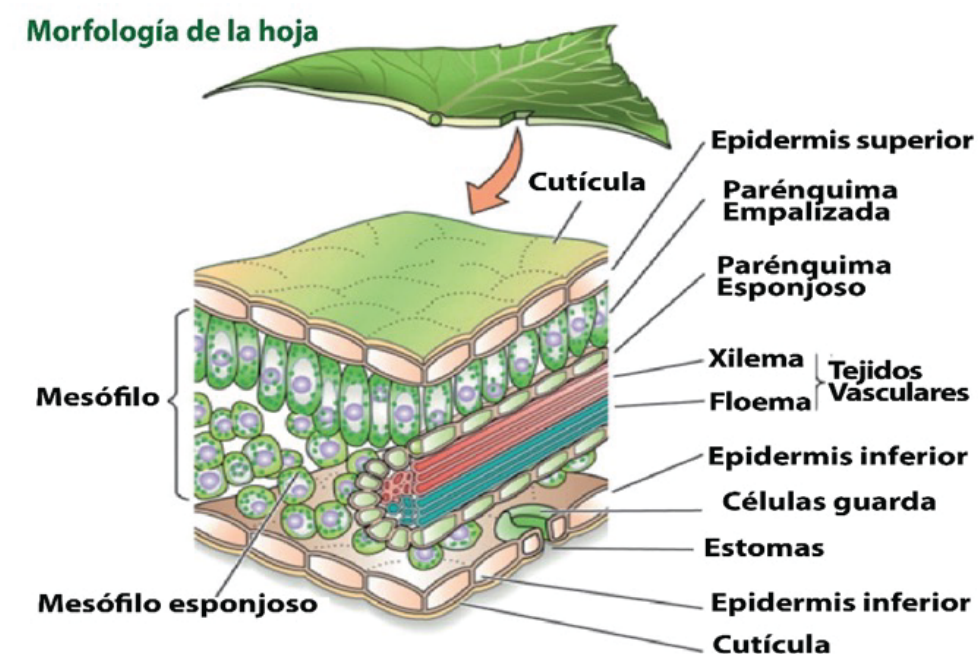


Figura 1:
Estructura de la hoja (www.intagriwordpres.com;
Epstein y Bloom 2006, Alfaro 2017)

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

La cutícula presenta algunas características y propiedades muy particulares, como son:

- **Hidrorepelencia:** la superficie no se moja
- **Hidrofilia:** la afinidad depende de la presencia de grupos -OH y -COOH de los pectatos
- **Polaridad:** posee en su estructura compuestos de polaridad variable que se traduce en penetración diferenciada
- **Intercambio iónico:** ligado a la hidrofilia
- **Continuidad de la membrana:** no solo por el citoplasma sino también por vacuólos y otras organelas

La **epidermis** puede presentar varias estructuras diferentes como **tricomas, escamas y papilas** que son activas y por ello participativas en la absorción foliar; **células buliformes** en la superficie adaxial de las gramíneas como también **células silicatadas y suberosas**. Como se comentará más adelante, las células buliformes (células epidérmicas grandes con forma de burbuja) están vinculadas con la transpiración en la superficie superior de las hojas de la planta de caña. Los estomas que comprenden las **células guarda, el ostiolo y las células subsidiarias** son de igual manera una estructura importante a considerar en las aplicaciones foliares.

Los estomas que aparecen en número variable (150 a 3.000 /cm²) pueden estar ubicados en ambas superficies epidérmicas (hoja anfistomática), apenas en la adaxial (epistomática) o abaxial (hipostomática). Las gramíneas como la caña presentan un tipo especial de estomas en la cual las células guarda tienen la región mediana estrecha y las extremidades alargadas o bulbosas. Dichas aberturas no son vía libre de acceso a las sustancias, pues las paredes de las células del espacio central del estoma están recubiertas por una cutícula fina pero consistente; además, se indica que las paredes de las células adyacentes a las camadas estomáticas son cubiertas con

una capa lipídica que juntamente con la cutícula genera gran tensión superficial impidiendo su mojado. De igual manera, las cámaras estomáticas están saturadas de gas lo que impide el rápido movimiento de las gotas hacia el interior de la hoja. Cualquier intención de penetrar una sustancia por esta vía debe reducir la tensión superficial que asegure poder mojar las paredes. En lo particular el **sistema vascular está conformado por los haces vasculares o nervaduras y el sistema de venas** que compone su disposición. En las monocotiledóneas la disposición de las venas en la hoja es paralela o estriada (Camargo y Silva 1975; Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar 1989).

Como es comprensible entender entonces, **la principal dificultad que existe para la absorción foliar esta paradójicamente presente en las estructuras anatómicas que posee la planta, las cuales son destinadas precisamente a favorecer su protección y limitar el libre movimiento de soluciones y gases**. La planta se protege ante agentes que pueden desestabilizarla y afectar su metabolismo, como sucede ante el desecamiento y la pérdida de humedad provocada por un estado crítico de sequía, mucho viento o temperaturas altas.

En el caso de la raíz esto no sucede pues la pared celular es permeable y la solución del suelo puede penetrar hasta la endodermis. El impedimento de ingreso de agentes tóxicos y el ahorro energético se tornan vitales. La absorción por la membrana celular es selectiva y gradual hacia elementos tóxicos que deben ser acumulados. Puede asegurarse que tanto la superficie cuticular como el interior de la cámara estomática son vías de difícil penetración para las sustancias; sin embargo, si acreditamos que por las mismas rutas se da la salida de iones por lavado y agua por transpiración, resulta entonces potencialmente factible utilizar el mismo camino en sentido inverso.

Anatomía de la caña: la hoja

En relación con las hojas de la caña, indica Chaves (2018) de manera sucinta, que “Las Hojas se forman en los nudos y distribuyen de manera alterna a lo largo del tallo. Se conforman de lámina, nervadura y vaina y reconocen además estructuras importantes como la lígula, que es de forma tubular y envuelve al tallo y la aurícula. Las hojas son muy funcionales y determinantes para la fotosíntesis. La caña de azúcar dispone de un índice de Área Foliar voluminosa (IAF = 4-12 m²/m²) como indicara Barbieri (1993), con hojas alternas de amplia lámina que favorecen la captación de luz. Su función fundamental es: a) la captación y conversión de la luz solar en energía química por medio de la fotosíntesis, b) la fabricación de carbohidratos, c) el intercambio gaseoso (respiración) y d) la conversión de los carbohidratos en alimentos nitrogenados.

Su grado de adhesión al tallo define el nivel de despaje de la planta, lo que interviene e incide sobre la facilidad de corta de los tallos, la cantidad de basura (trash) que se transporta e interviene el proceso fabril; también determina mucho la necesidad de quemar la plantación para su cosecha. Es la sección más expuesta, intervenida y afectada de la planta por los factores del clima y los agentes fitosanitarios representados por plagas y enfermedades, lo cual determina la productividad agroindustrial final. Cualquier afectación fitopatológica (hongos, bacterias, virus) con impacto productivo significativo de esta importante sección justifica el cambio inmediato de la variedad sembrada.” Amplia IAA/ PLALSUCAR (1983) el concepto foliar, señalando que “Las hojas de la caña son alternadas, opuestas y adheridas a los nudos de los tallos.

La parte superior de la hoja es conocida como lámina, y la parte inferior, que envuelve el tallo, es llamada vaina. La lámina es una estructura

alargada, plana, cuya longitud varía de 0,5 a 1,5 m y cuya anchura va de 2,5 a 10 cm. Es un poco alargada en la base afinándose en dirección a la extremidad; esta fortalecida y sustentada por la nervadura central, que se extiende por toda su longitud.

Los bordes de la lámina son generalmente aserrados y las vainas frecuentemente provistas de pelos finos, lo que, en algunas variedades, torna su manejo desagradable.

Comenzando de la nervadura central, en ángulo, salen varias nervaduras paralelas, cada una de ellas conteniendo un eje vascular. Entre esas nervaduras son encontradas hileras de estomas, presentes en ambas caras de la hoja. Esos estomas son más numerosos en la superficie inferior y tienen la función de desprender y absorber gases utilizados por la planta y actuar como poros para la evaporación de agua (transpiración).”



Foto 1:
Área foliar de la caña de azúcar.



Por la intensa actividad fisiológica-metabólica propia del acelerado ritmo de crecimiento, alta producción de biomasa y profuso desarrollo general que mantiene la planta de caña durante todo su prolongado ciclo vegetativo (12-24 meses), las hojas como aparato de asimilación se encuentran permanentemente en una continua renovación con senescencia de las maduras y surgimiento de nuevos brotes (Foto 1). Su longevidad es muy versátil y dependiente de las variedades cultivadas, las condiciones ambientales prevaletantes, de manejo y fitosanidad del cultivo, estimándose la misma entre 60 a 75 días (2-2,5 meses) desde la fecha en que se abre completamente.

La posición de la hoja es importante en este aspecto, encontrando en Taiwán (Formosa) que las hojas más bajas del tallo de la variedad F 108 vivieron solamente de 30 a 40 días; en tanto que las ubicadas desde la quinta a la decimosexta

permanecieron de 60 a 150 días y arriba de la vigésima por lo regular funcionaron de 60 a 90 días. En contraste con las hojas superiores desarrolladas, las basales son muy pequeñas Van Dillewijn (1952).

El tiempo transcurrido entre la formación de nudos sucesivos en el tallo de la caña y sus correspondientes hojas se denomina plastocrono; también definido como el intervalo de tiempo que transcurre entre la aparición de dos primordios foliares consecutivos en el brote de una planta.

En Java se encontró que en promedio ese período era de 5 a 7,2 días para toda la fase de crecimiento; siendo menor en las variedades de maduración temprana respecto a las tardías, lo que se traduce en una emisión de hojas proporcionalmente más rápida. Se ha comprobado que las variedades tempranas se

caracterizan por tener un mayor número de hojas verdes activas. A manera de comparación y evidencia de la variación que hay entre diferentes tipos de plantas, señala Van Dillewijn (1952) que "...el plastocrono de la *Selaginella* es de un tercio de día; el del girasol, 5,6 días; el del agave, 16 días, y el del helecho *Pteris aquilina*, alrededor de un año."

El tamaño determinado por la longitud y anchura de las hojas es variable y fluctúa con el grado de crecimiento, encontrándose desde inferiores a 400 cm² y hasta 850 cm² siendo común las de 500 a 700 cm². El número de hojas verdes es bajo en plantas jóvenes y aumenta gradualmente con la edad, llegando a tener 10 o más durante su máximo desarrollo. Van Dillewijn (1952) estimó una superficie total de hojas de 70.000 m² correspondiente a siete veces la superficie del suelo ocupado por la siembra.

Este valor considera en su estimación que el área superficial promedio de la lámina era de 0,05 m², lo cual proyectando a 10 hojas por tallo genera una superficie de hojas de 0,5 m² y considerando los dos lados de las hojas sería entonces de 1,0 m², que a razón de 70.000 tallos por hectárea aporta esa significativa área foliar. El área foliar total depende de dos factores: a) del número de hojas y b) la superficie media por hoja. Como se infiere, **la cantidad de biomasa foliar que dispone la planta de caña es muy voluminosa, lo que asegura en primera instancia un área potencial de absorción muy amplia.**

Se concluye en torno a ese tópico tan relevante para fines foliares, que el número de hojas verdes y activas que pueda existir en un tallo de caña está regulado y regido por dos factores básicos: a) el ritmo en que se producen las hojas y b) la longevidad individual que presente cada una de ellas; lo cual, considerando que la segunda debido a la heterogeneidad y variación natural que existe en las condiciones del entorno donde se ubican las plantaciones comerciales,

hace evidente que el número de hojas verdes que presente la planta seguirá con mayor dependencia las fluctuaciones del plastocrono. Es comprensible entonces, que en periodos donde el crecimiento es favorable, el número de hojas verdes y activas por tallo será mayor que cuando las condiciones son adversas al crecimiento.

Cutícula

La cutícula es una capa no celular cerosa, externa a la planta que la protege de la desecación a la que es expuesta en la atmósfera; además de proveer una barrera para la entrada de bacterias y hongos. Constituye una película fina de naturaleza lipoidal que recubre todas las partes de la planta y que se mantiene en contacto permanente con el ambiente. En la hoja reviste toda la epidermis, los pelos, las escamas, los estomas y todos los elementos morfológicos de esa sección.

Es más espesa y de mayor grosor en la superficie superior (adaxial) de la lámina respecto a la inferior o abaxial. Penetra los ostiolo del estoma revistiendo las células guarda y en el interior de la hoja las células del mesófilo que limitan la cámara subestomática y las demás células que se encuentran en contacto con el oxígeno que ocupa los espacios intercelulares del mesófilo. Esa cutícula interna es más delgada.

La cutícula está según Camargo y Silva (1975) compuesta químicamente por cuatro componentes básicos y esenciales, que son:



1) **Cutina:** macromolécula (polímero) constituida por muchos ácidos grasos hidroxilados de cadena larga (16-18 átomos de C) o “ácidos de la cutina”, unidos entre sí por enlaces de éteres o asociados con alcoholes, creando una red rígida tridimensional. Es resistente a los ácidos minerales fuertes e insoluble en solventes orgánicos. Es formada y segregada por las células de la epidermis. Posee una pronunciada carga negativa, permeabilidad selectiva para cationes y afinidad para los colorantes básicos, todas propiedades aniónicas. Es hidrófoba y por tanto repelida por el agua por lo que no se mezcla con ella.

2) **Ceras:** corresponde a una mezcla de varios compuestos como alcoholes libres, hidrocarbonatos, cetonas no saturadas, aldehídos de cadena larga, compuestos de glicerol y ácidos grasos. Se les clasifica en ceras alifáticas y ceras cíclicas conforme sus componentes sean acíclicos o cíclicos. Su función es impermeabilizar y proteger. Las hojas en condición de sombra poseen menos cantidad de cera respecto a las expuestas al sol; los vientos intensos aumentan su cantidad. La composición y la cantidad de ceras presentes en la cutícula varía entre diferentes grupos filogenéticos e incluso entre los mismos, especies e individuos, como también con la edad de la planta. Las ceras están muy restringidas por las condiciones ambientales a que está expuesta la hoja, siendo su composición y morfología alterada por la exposición a diferentes niveles de N y estrés hídrico.

3) **Pectinas:** son sustancias amorfas originadas generalmente de poliuronídeos derivados del ácido galacturónico y probablemente de algunos carbohidratos como la arabinosa y la galactosa. Constituyen el sustrato donde se forman la cutina y las ceras. Son altamente hidrófilas, ubicándose en las secciones más internas de la cutícula en contacto con las paredes externas de las células epidérmicas,

pese a lo cual cubren todo el espesor de la cutícula. Se encuentran en la cutícula en un estado de gel coloidal poseyendo una gran capacidad de absorción de agua. Cuando se tiene buena hidratación y disponibilidad de agua, las pectinas la absorben y aumentan su volumen; caso contrario, pierden agua, reduciendo su volumen e influenciando significativamente el espesor y la permeabilidad de la cutícula a las sustancias hidrosolubles.

4) **Celulosa:** se encuentra en la cutícula en forma de lamelas impregnadas de cutina, dispuestas en posición periclinal (paralela a la superficie) y distribuidas en todo el espesor. Es altamente hidrófila y por tanto afín al agua.

La cutícula constituye la primera barrera física que deben superar los iones antes de alcanzar la membrana plasmática y llegar al citoplasma de las células de la hoja. Las características de la cutícula que le aportan algunas características y propiedades importantes que explican la permeabilidad y con ello el ingreso y salida de materiales, son:

A. **Mojabilidad e Hidrorepelencia:** la primera es la propiedad que tiene un líquido de adherirse a un sólido y esparcirse y difundirse sobre su superficie, o penetrar entre sus moléculas. La repelencia por el contrario lo impide y no la superficie no puede ser mojada por el líquido. Las fuerzas de adhesión determinan el grado de mojado. El agua por lo general no moja las ceras ni otras sustancias de naturaleza lipoidal; como tampoco se mezcla con aceites y otras sustancias grasas. La cutícula no es totalmente hidrorepelente por lo cual la capacidad de mojado por agua varía entre ellas; lo cual depende de la densidad poblacional y las microproyecciones de cera, su espesor superficial y la composición química de la cera. La cantidad de cera varía como se anotó, con la presencia y exposición o no a la luz. Las superficies se pueden

categorizar en: a) fuerte hidrorepelencia, b) fuerte hidroafinidad y c) superficies difíciles de mojar.

B. **Hidrofilia:** es conocida como la “vía acuosa” de absorción cuticular. La imbibición de agua provoca que las pectinas aumenten su volumen, promoviendo el distanciamiento entre las plaquetas de cera y las cadenas moleculares de cutina, lo que abre una vía de ingreso y salida a través de la cutícula, para las sustancias polares y en general para las hidrosolubles. El agua es el compuesto de mayor polaridad que se conoce.

C. **Polaridad:** las sustancias polares son aquellas que tienen grupos con afinidad al agua, como son los radicales: -OH, -COOH, -CHO, -CN, -CONH₂, -SH, -NH₂, -NHCH₃, -NCS, -COR, -COOM, -COOP, -NO₂, -CH=CH₂, y también otros grupos conteniendo O, N, S, I, Br y Cl. Se clasifican en simétricas y no simétricas. La polaridad le confiere al grupo que la posee algún grado de solubilidad en agua permitiendo su penetración a través de las pectinas y las no polares a través de las ceras y la cutina; el metano CH₄ es por ejemplo insoluble en agua. La cutina es una sustancia polar al tener grupos hidrófilos (-OH, -COOH) e hidrófobos (-CH₃, -CH₂). Se infiere de lo anterior, que la cutícula es permeable a todos los tipos de sustancias, sean polares, no polares, liposolubles o en su caso hidrosolubles.

D. **Intercambios iónicos:** son favorecidos por los grupos disociables de -OH y -COOH presentes en las ceras y la cutina; cuyo hidrógeno (H) al disociarse deja libres las cargas electroquímicas negativas en sus puntos de intercambio, las cuales pueden atraer cationes a la superficie de las cadenas, sustituirlos y difundir a través de la cutícula. Las pectinas, las ceras y la cutina pueden atraer cationes y repeler aniones al operar como un sistema de Donnan. La cutícula tiene una densidad de carga negativa debido a la

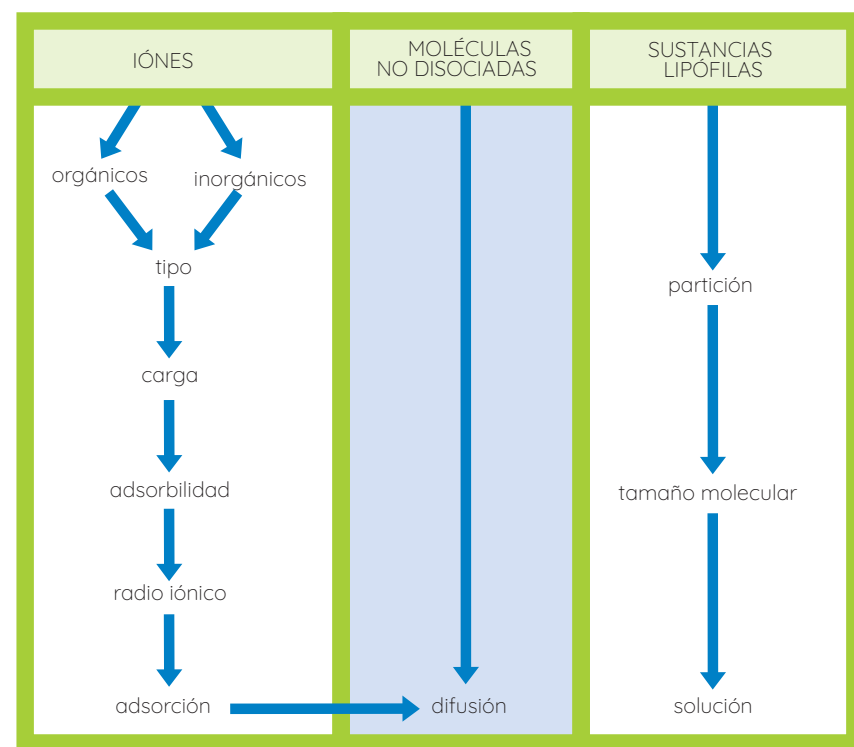
pectina y a la cutina como lo señalara Marschner (1995). Donnan es el equilibrio que se produce entre los iones que pueden atravesar la membrana y los que no son capaces de hacerlo.

La cutícula es considerada y calificada como la estructura que presenta y ofrece la mayor barrera e impedimento a la absorción y penetración de los nutrimentos por la vía foliar, aunque como se indicó, exhibe en su organización zonas menos densas (ectodesmas, ectodesmata) que actuando como “canales” permiten y favorecen el ingreso de las sustancias al interior de la planta hasta llegar a las células epidérmicas ubicadas por debajo. La literatura menciona la selectividad por tamaño que tiene y ofrece la barrera cuticular a la movilidad de sustancias orgánicas; por lo cual el peso molecular de la sustancia es importante.

Aseguran Trejo *et al* (2013) que “La permeabilidad de la cutícula al agua y a compuestos orgánicos incrementa entre 10 a 1000 veces con la extracción de las ceras; lo anterior permite concluir que la principal barrera para el transporte cuticular son estas últimas.”

La penetración a nivel de cutícula es determinada por factores como son los gradientes de polaridad, de carga y químicos, la presencia de espacios interreticulares y espacios libres. Por esto, la penetración de iones orgánicos o inorgánicos está condicionada a la carga del ión, siendo más fácil la penetración de cationes.

La Figura 2 presenta de manera gráfica, sistemática y resumida la forma de penetración de diferentes sustancias a través de la cutícula:



Fuente: Trejo *et al* (2013).

Figura 2.

Penetración de sustancias a través de la cutícula.

Estomas

Los estomas son estructuras especializadas formadas por dos células adjuntas, células oclusivas o células guardas, que en la mayoría de las monocotiledóneas como la caña de azúcar tienen forma arriñonada, dejan entre sí un orificio llamado ostíolo. Las células oclusivas son vivas con pared primaria delgada excepto donde limita al ostíolo, poseen núcleo visible y cloroplastos por lo que tienen actividad fotosintética.

No cabe la menor duda que conocer sobre las vías por las cuales la caña de azúcar pierde agua

en su sección superior (tallos y hojas), resulta importante para proyectar en torno al posible efecto inverso que podría eventualmente existir y ser aprovechado en las aplicaciones foliares; el tema de los estomas reviste especial interés en este proceso por lo mucho que se especula al respecto. Los estomas cumplen dos funciones vitales: a) favorecer la transpiración y la pérdida de agua y b) favorecer el intercambio de gases CO₂ y O₂.

Apunta Willmer (1983) en torno a la función e importancia de los estomas, que “El papel prin-

cipal de los estomas es el de regular la entrada del CO₂ en la hoja para la fotosíntesis y, al mismo tiempo, permitir la salida del vapor de agua que se evapora de las paredes celulares en contacto con los espacios aéreos dentro de la hoja.” Agrega de igual manera con relación al mismo asunto, que “Una parte del agua que se pierde sirve para el enfriamiento evaporativo de la hoja cuando está expuesta a temperaturas altas, pero mucha se pierde innecesariamente cuando los estomas están abiertos.”

Es conocido que la pérdida de humedad en la caña de azúcar se da principalmente por dos medios: a) en forma líquida a través de la **exudación** y b) en forma de vapor por la **transpiración**. Sucede que para que exista transpiración es necesario que la superficie alrededor de la planta no se encuentre saturada por humedad, pues ello la estimula y favorece; caso contrario, si hay saturación del medio, ese mecanismo se reduce y limita siendo entonces la exudación, como se ha comprobado, la única forma de perder agua en esta condición tan particular.

Las pérdidas por transpiración se dan por medio de los estomas y la cutícula que cubre la sección exterior de la epidermis. En las plantas en general se ha demostrado que la transpiración estomática es considerablemente muy superior respecto a la cuticular, aunque algunos estudios revelan alguna particularidad y excepción para la caña de azúcar en este sentido.

Esa conclusión surge del hecho comprobado de que la planta de caña duplica en cantidad de estomas en su superficie inferior (abaxial) respecto a la superior (adaxial) como se expone en el Cuadro 1; pese a lo cual, el promedio de transpiración es muy similar en ambas superficies, lo que demuestra un aporte importante de la vía cuticular favorecida por la presencia de las grandes células buliformes de cutícula delgada como causantes de este hecho.



Hay que reconocer que la transpiración en la caña de azúcar ocurre tanto por las hojas como también por los entrenudos de los tallos, aunque la participación de estos se considera y estima poco significativa y próxima apenas al 10%, inducida por la limitante que impone la cera presente. Eliminar la cera eleva el grado de transpiración casi al doble.

En referencia a los estomas como estructuras especializadas, debe indicarse que corresponde a células oclusivas que forman parte de la epidermis de la planta como poros diminutos y que delimitan entre ellas un poro llamado ostiolo. Su conjunto conforma el llamado aparato estomático, que normalmente se abre a una cavidad debajo de la epidermis llamada cámara subestomática o cámara de aire cuya función es alojar los gases al estar en contacto directo con la atmósfera externa a la planta. Las células oclusivas abren y cierran el ostiolo de forma sincronizada con las condiciones fisiológicas de la planta y la atmósfera circundante. Se les encuentra mayoritariamente en las hojas, menos en la vaina de la hoja y muy poco en los tallos. Las células epidérmicas y estomas en la caña se distribuyen de manera ordenada, en filas

paralelas al eje longitudinal de la lámina. Aún abiertos se estima que los estomas ocupan menos del 1% de toda la superficie de la hoja. Su apertura es alta en las hojas más nuevas y jóvenes y decrece con el grado de madurez de éstas. Este concepto ampliado sugiere que la superficie real de transpiración de una hoja es considerablemente mayor respecto a la superficie total de sus estomas.

La investigación ha revelado que el número de estomas presente en las hojas difiere de manera importante entre diferentes materiales genéticos, como se aprecia en el Cuadro 1, donde la cantidad total observada en 8 clones diferentes fluctuó entre 241 y 507 para un promedio de 367 estomas por mm², lo que evidencia una significativa tasa de variación del 210%. Asimismo, se aprecia en ese cuadro que el número de estomas varía con la sección de la hoja, siendo significativamente mayor con una media de 253 estomas en la sección inferior (abaxial) de la lámina donde la cantidad casi duplica respecto a la superior (abaxial) que apenas tuvo 116 estomas por mm², para una densidad promedio del 69,4% y 30,9%, respectivamente.



Cuadro 1.

Número de estomas por mm² en la hoja de la caña de azúcar.

Posición		Variedad								Promedio
		SW3	Ceram	B247	F160	PQJ 100	PQJ 826	PQJ 139	PQJ 979	
Epidermis Superior	N°	156	143	167	119	122	81	78	59	115,6
	%	30,8	31,8	38,2	31,1	33,0	27,3	30,7	24,5	30,9
Epidermis Inferior	N°	351	307	270	264	258	216	176	182	253,0
	%	69,2	68,2	61,8	68,9	69,7	72,7	69,3	75,5	69,4
Total		507	450	437	383	370	297	254	241	367,4

Fuente: adaptado de Van Dillewijn (1952)

Asegura Figueiredo (2013) con criterio diferente, que “El número de estomas en el tejido epidérmico puede aproximarse a 1000 unidades por milímetro cuadrado de superficie foliar, a pesar de que, su frecuencia y distribución dependen de diversos factores internos y externos a la planta. En la mayoría de especies vegetales son encontrados en mayor cantidad en la cara epidérmica inferior de las hojas, nombrada abaxial, pese a que, en el caso de las poáceas, o gramíneas como la caña de azúcar, existe prácticamente la misma cantidad de estomas en ambas caras foliares.”

Por tener mayor cantidad de estomas situados en la superficie abaxial de la hoja respecto a la superior, la planta de caña puede clasificarse como hipoestomática; a diferencia de las que poseen mayor cantidad en la adaxial (hiperestomáticas) o aquellas cuya densidad es similar en ambas superficies (anfiestomáticas).

Varios factores externos intervienen y afectan el movimiento y el accionar de los estomas, sobre lo cual Willmer (1983), expresa “Sobre los movimientos estomáticos influyen directamente la cantidad y la calidad de la luz, la disponibilidad de agua (estado hídrico planta-suelo), el déficit de presión de vapor de agua (humedad atmosférica), la concentración de CO₂ y la temperatura; algunos de estos factores y el movimiento del viento también pueden influir en los estomas de una manera indirecta.”

En la caña de azúcar se ha encontrado que la apertura de estomas es dependiente y muy buena en condiciones de luz, requiriendo de luz solar directa para su apertura máxima; mientras que la presencia de condiciones de luz débil y difusa producen un cierre parcial de los mismos. En oscuridad total los estomas primero cierran completamente para luego abrir parcialmente,

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

permitiendo un ligero grado de difusión. Esto ratifica lo ya manifestado por Chaves (2020c) en ocasiones anteriores, en el sentido de que *“la caña de azúcar es una planta de mucho sol y agua”*. Asimismo, se ha comprobado que el cierre es mayor en la epidermis inferior de la hoja en relación con la superior. Las plantas que crecen a plena luz del sol son menos suculentas respecto a las desarrolladas con luz limitada. Se ha encontrado, sin embargo, que, entre los seis y los nueve meses de su fase de desarrollo, las hojas de la caña de azúcar cuando la planta pasa por un período de sequía y realiza menos fotosíntesis, abren sus estomas durante la madrugada, cuando la humedad es más alta, para absorber agua.

La temperatura ejerce también una influencia determinante en el movimiento de los estomas en la caña, encontrando que aún en condiciones de completa oscuridad su apertura puede inducirse elevándola por encima de los 40°C. **Es definitivo y muy importante tener presente que los factores que afectan la transpiración, entre ellos principalmente los ambientales, también intervienen en la absorción del agua y con ello en la nutrición.**

La transpiración presenta una relación muy asociada con la variedad de caña involucrada ubicándolas en dos categorías de conformidad con su tendencia diaria: a) las plantas que transpiran por la mañana a un alto ritmo que disminuye en horas de la tarde y b) las que inician el día con un bajo ritmo de transpiración. Las mejores variedades comerciales valorado en términos de productividad, se relacionan con el primer grupo, lo cual se asocia a condiciones de humedad más satisfactorias prevalecientes en las primeras horas de la mañana.

Al vincular y procurar correlacionar el componente genético de las variedades asociado con el número de estomas respecto al grado de transpiración de la planta, se concluye a partir de lo expuesto en el Cuadro 2, lo siguiente:

- La densidad (cantidad) de estomas contenida entre variedades varía de manera muy significativa
- No existe correlación clara entre el número de estomas y el grado de transpiración observado entre clones de caña
- Una variedad con más estomas no necesariamente transpira más
- El ritmo de transpiración varía con la hora del día y las condiciones ambientales del entorno
- La estructura y el movimiento diario de los estomas y la transpiración cuticular, entre otras, también influyen de manera determinante
- El grado de transpiración puede variar aún en una misma variedad

La fertilización con nitrógeno al suelo ha mostrado tener un efecto importante sobre el promedio de transpiración de la planta al hacerla más suculenta, lo que sugiere la necesidad de incorporar el nutriente cuando la humedad del suelo es la adecuada.

Informa Willmer (1983) como hecho particular, que *“Se descubrieron también depósitos de sílice (probablemente en la forma de dióxido de sílice) en la región de la laminilla media y justo debajo de la cutícula de las células oclusivas y subsidiarias de la caña de azúcar...”*, lo que definitivamente influye sobre las características y propiedades de la gramínea.

Thuljaram Rao (1951) trabajando en la India sobre la adaptación xeromórfica de 12 materiales genéticos de caña de azúcar respecto a la sequía, entre ellas la conocida y bien ponderada Co 421, cortados a la edad de 5 meses; encontró en primera instancia que la tolerancia a la misma estaba asociada con un mejor desarrollo del sistema radicular (horizontal y vertical) en el suelo.

Cuadro 2.

Densidad estomática y promedio de transpiración de la caña de azúcar.

Variedad	Número de estomas por cm ²	Transpiración diaria en gramos		Transpiración en gramos por tallo por hora de 7 a 10 a.m.
		Por tallo	Por hoja	
SW3	507	540	81	80
Ceram	450	558	98	72
B 247	437	503	63	100
F 160	383	401	49	60
POJ 100	380	462	77	89
POJ 826	297	361	53	54
POJ 139	254	439	87	67
POJ 979	241	620	86	88
Promedio	368,6	485,5	74,3	76,3

Fuente: adaptado de Van Dillewijn (1952)

El Cuadro 3 muestra los resultados observados en la sección hoja, a partir de lo cual dedujo lo siguiente:

- El espesor de la cutícula de la hoja se vincula y coincide estrechamente con el grado de resistencia a sequía mostrado por las variedades evaluadas, evidenciando grandes diferencias en su grosor, el cual es más notorio en la superficie inferior, donde la dispersión y variabilidad fue muy alta
- La densidad estomática y el tamaño de los estomas varía con respecto al grado de resistencia a la sequía, disminuyendo cuando esta es mayor. A más estomas menos tolerancia a sequía.

- Los estomas de los clones resistentes aparecen a menudo hundidos en la hoja, formando una cámara de aire externa que reduce la media de transpiración
- Las formas genéticas de origen ruso de la especie *S. spontaneum* (G. 1688 y G. 1703) se caracterizan por la presencia de pelos que protegen la cámara de aire
- El número y tamaño de las hojas son más o menos reducidos en las variedades resistentes a la sequía, lo que se proyecta al área total de hojas por planta

Cuadro 3.

Características xeromórficas de algunas variedades de caña de azúcar.

Variedad	Espesor de la cutícula (μ)		Número de estomas por mm ²		Largo de estomas (μ)	Ancho de estomas (μ)	No. hojas verdes	Longitud hoja	Ancho máximo	Área total de hojas en cm ²
	Epidemis superior	Epidemis inferior	Epidemis superior	Epidemis inferior						
S. spontaneum G.1688	14,15	8,25	20,50	40,50	22,75	13,65	5	2' + 6,9"	Ins	Ins
"" "" G.1703	15,25	9,25	20,00	40,00	22,75	13,65	5	2' + 8,2"	Ins	Ins
"" "" Coimbatore	15,00	9,50	20,00	40,00	25,00	13,65	10	3' + 9,8"	0,45"	817,55
"" "" Lahore	14,85	9,25	20,50	41,50	25,00	13,65	6	2' + 7,5"	Ins	Ins
Katha	15,00	8,25	20,50	41,50	27,30	18,20	8	3' + 7,5"	0,80"	1.638,72
Saretha	13,50	8,25	19,00	41,00	27,30	18,20	9	3' + 8,2"	0,95"	1.809,75
Co 205	14,25	11,00	27,00	43,50	34,50	16,00	11	5' + 1,8"	1,10"	4.880,93
Co 285	13,50	9,50	25,00	40,00	31,85	16,00	10	4' + 8,5"	1,50"	5.104,58
Co 421	12,50	8,25	20,00	25,50	40,40	18,20	12	4' + 1,5"	1,90"	5.868,15
Vellai	9,50	5,00	39,50	81,50	31,85	16,00	10	5' + 1,2"	3,00"	6.276,03
Poovan	9,50	5,00	40,25	82,00	36,40	16,00	9	5' + 9,5"	3,50"	6.507,69
Kaludai boothan	9,50	4,50	36,00	72,50	31,85	18,20	10	5' + 4,9"	3,50"	6.978,59
Promedio	13,04	8,00	25,69	49,13	29,75	15,95	8,8			
Valor máximo	15,25	11,00	40,25	82,00	40,40	18,20	12		1,86	4.431,33
Valor mínimo	9,50	4,50	19,00	25,50	22,75	13,65	5		3,5	6.978,59
Amplitud	5,75	6,50	21,25	56,50	17,65	4,55	7		Ins	Ins
% Variación	160,5	244,4	211,8	321,6	177,6	133,3	240		0	

Ins: insignificante.
Fuente: adaptado de Thuljaram (1951).

En un sistema eficiente de nutrición, la hoja es un órgano que tiene una participación importante en el máximo aprovechamiento de los nutrimentos, por cuanto algunos componentes de ésta, como son la epidermis (cutícula) y los estomas, participan de manera determinante en la absorción de los iones adicionados. Asegura Mocellin (2004), que *“Generalmente el principal medio de absorción foliar es el estoma (aberturas especiales en las hojas). Cuando los estomas están abiertos, la absorción foliar es más eficiente.”*

El tema de la absorción estomática es sin embargo cuestionado por otros investigadores (Trejo *et al* 2013), quienes consideran que la cámara estomática no es una ruta de penetración foliar, argumentando que:

- *“Para que el proceso de absorción se dé tiene que haber un flujo de la gota de agua, conteniendo nutrimentos, hacia el interior de la cavidad estomática. Pero al comparar el espacio que existe entre las células de cierre (20 μm) con el tamaño de una gota pequeña (80 μm), éste último es mucho mayor, por lo tanto, no existe flujo.”*
- *La absorción a través de la cámara estomática no puede darse a causa de la gran tensión superficial (72 dina cm⁻¹ a 25°C) que tiene el agua, mayor que la de cualquier otro líquido.*
- *La difusión de la fase líquida a la fase gaseosa no puede darse.*
- *Las cámaras estomáticas tienen cierto grado de cutinización.”*

Pese a la manifestación anterior, es importante aceptar que los estomas no son tampoco la única vía de ingreso de una solución al interior de la planta, pues está también la ruta cuticular. Esta circunstancia provoca que no es estrictamente necesario que la densidad de estomas sea alta ni que estos estén abiertos para que haya absor-

ción; lo cual no les resta en absoluto importancia, sobre todo cuando se usan sustancias quelatadas de moléculas grandes. El tema deja abierto un espacio importante e interesante por dilucidar para el caso específico de la caña de azúcar, que conduce a plantearse ¿será acaso ésta una de las causas de la inconsistencia observada en los resultados de la práctica foliar en el cultivo?

Ectodesmos

Los Ectodesmos son prolongaciones finas porosas con diámetro menor a 1 nm que se encuentran situadas en el citoplasma que se extienden y orientan desde la cutícula y hasta la pared celular, estableciendo una conexión casi directa del protoplasto con el medio exterior. Abundan en el estoma alrededor de las células guarda, sobre las paredes de las células epidérmicas y alrededor de los tricomas. Participan en la absorción de iones, y se localizan en sitios estratégicos de la hoja como células basales de los tricomas, encima y por debajo de las nervaduras (Marschner 1995). Salen de las células epidérmicas, penetran la cutícula y pueden atravesarla sin llegar al exterior; desempeñan un papel fundamental en la absorción cuticular de nutrientes. Por lo general, su densidad es menor en la superficie adaxial de la hoja. La cantidad de ectodesmos presente es fuertemente afectado por las condiciones ambientales y el estado fisiológico de las hojas; donde la exposición a factores estresantes como altas temperaturas, radiación solar intensa, sequía e infecciones causadas por patógenos disminuyen su cantidad. Conforme la hoja se desarrolla el número de ectodesmos por unidad de área disminuye (Trejo *et al* 2013).

Como es bien conocido y está ampliamente documentado, **la caña de azúcar presenta una profunda transición fisiológica que transcurre entre los dos y los seis meses de su periodo de desarrollo, cuando pasa de un modo de crecimiento con alta producción de biomasa a**

otro de almacenamiento de sacarosa en sus tallos. Es en esa primera etapa cuando las necesidades nutricionales se tornan máximas y la fertilización foliar adquiere sentido.

Absorción de iones vía foliar

Debido a la presencia e incidencia de diversos factores estresantes de índole biótico y abiótico que intervienen de manera negativa la capacidad de absorción, movilización, asimilación y nutrición de las plantas, como son los dinámicos cambios de temperatura, el exceso o ausencia de humedad, la condición de acidez del medio, los daños provocados a las raíces o el desbalance iónico presente en la solución del suelo y que afectan el sistema radicular, las plantas pueden no absorber ni asimilar los nutrientes disponibles en la cantidad deseada y el momento oportuno, lo cual se ve reflejado en su grado de desarrollo, en su capacidad productiva y en la duración de su ciclo comercial (Chaves 2020ab, 2021ab).

Esta condición de presencia normal en cualquier sistema agroproductivo competitivo, hace indispensable y razonable mantener una prudente complementación nutricional que contribuya al logro de un mayor rendimiento y una mejor calidad del producto final. A pesar de existir la posibilidad de aplicar fertilizantes al suelo como es tradicional, la fertilización foliar surge también como una técnica muy extendida en otros cultivos, que ofrece importantes posibilidades de ser implementada también en las plantaciones de caña de azúcar. Es por ello importante, conocer algunos elementos que habilitan y además limitan potencialmente el acceso a esa opción tecnológica, como se comentará con algún detalle en adelante.

Para comprender mejor los mecanismos vinculados con la absorción foliar, se debe necesariamente conocer y considerar el trayecto

que deben seguir y recorrer los iones y las moléculas aplicadas a la hoja hasta llegar al simplasto celular. Para ello, las partículas deben superar dos barreras: a) la cuticular para ingresar al apoplasto y b) el plasmalema, para pasar del apoplasto al simplasto completando así el mecanismo de absorción. La penetración de los iones puede darse asimismo a nivel cuticular, mediante estructuras como poros, estomas, ectodesmos y en algunos casos paredes epidérmicas y lenticelas que por difusión pasiva posibilitan la absorción. Se entiende por **apoplasto** el compartimento externo de una célula vegetal, formado por el continuo de paredes celulares de las células adyacentes, material intercelular y espacio extracelular. El **simplasto** es por su parte el compartimento intracelular de la planta, conformado por el citoplasma interconectado de células separadas, las cuales están enlazadas por plasmodesmos y en el cual el agua y las moléculas de bajo peso molecular, fluyen libremente por difusión entre células.

El proceso de absorción opera inicialmente de manera muy rápida y dinámica, pudiendo las partículas iónicas y moleculares aplicadas ser retiradas y perdidas en su fase inicial por causa de lavado por lluvia, lo que sugiere ser ésta una fase esencialmente física de la absorción. Los reportes de pérdida por esta vía pueden ser significativos dependiendo de varios factores y circunstancias propias de la planta, la sustancia lavada y los elementos externos.

Las etapas implicadas en el proceso de absorción foliar pueden resumirse como se anota a continuación:

- A. Contacto con el fertilizante: luego de efectuada la aplicación de la solución por aspersión (terrestre-aérea), el fertilizante entra en contacto directo con la superficie de la hoja.
- B. Penetración de la epidermis: se inicia el proceso de difusión pasiva a través de la

estructura foliar constituida por los poros hidrofílicos cuticulares, los ectodesmos y/o los estomas.

- C. Ingreso por espacios extracelulares periféricos: ingreso al apoplasto de la hoja.
- D. Absorción: se produce en el citoplasma de las células donde los iones son inicialmente acumulados antes de ser metabolizados, transformados o en su caso transportados a los cloroplastos.
- E. Distribución y/o translocación: los iones absorbidos por lo general permanecen en las células del mesófilo, donde se metabolizan para formar compuestos o participar en los procesos fotosintéticos; sin embargo, de acuerdo con su especie química, también pueden movilizarse a otras partes de la planta. Algunos reportes indican que las soluciones aplicadas al follaje solo se mueven hacia otras estructuras de la planta, cuando hay movimiento de sustancias orgánicas producto de la fotosíntesis.

Apuntan Camargo y Silva (1975) en referencia expresa a las rutas de absorción foliar, que:

“Conocidos los mecanismos de absorción de

iones y moléculas en el apoplasto y el simplasto, restan apenas algunas consideraciones sobre cuáles son las rutas seguidas por ellos, hasta llegar al simplasto foliar, completando su absorción.

Las sustancias, iones o moléculas, aplicadas a la superficie de las hojas, en soluciones acuosas, pueden, hasta llegar al simplasto foliar, seguir los siguientes trayectos.

Atravesar la cutícula externa, o penetrar en los estomas. De las que atraviesan la cutícula externa, las polares pueden seguir la ruta acuosa, difundiendo a través de las pectinas, o por medio de varios tipos de intercambios iónicos y sistemas de Donnan, en las interfases de la cutícula.

Las no polares, pueden difundirse en las ceras y la cutina, siguiendo la ruta lipoidal y, también, translocarse por difusión facilitada.

Cualquiera de esas sustancias, iones o moléculas, puede, en su trayecto, alcanzar las ectodesmas. Entonces no necesitarán de atravesar toda la cutícula para llegar al plasmalema.”

Complementan los mismos autores el tema, agregando que:



SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

“Las soluciones acuosas solo podrán penetrar en los estomas con el auxilio de surfactantes que promuevan la reducción de la tensión superficial del agua y el aumento de su adhesión a la cutícula.

Normalmente, el agua no penetra en los estomas, en virtud de la Hidrorepelencia de la cutícula, que reviste las células estomáticas, también el ostiolo, y del aire que llena el ostiolo y las capas subestomáticas.”

Vistas someramente las rutas de ingreso y sin entrar en mayores detalles y mucho menos pretender profundizar en una materia tan especializada y compleja, es necesario resaltar la necesidad de enfatizar en el conocimiento de las rutas de movilización y espacios de acúmulo iónico de las plantas; lo que obliga conocer con relación a los mecanismos envueltos en la absorción de iones en sus diferentes estados, empleando o no en este caso energía metabólica. Aplicando criterios asociados con la energía cinética al estudio de la absorción nutricional donde intervienen la velocidad en función del tiempo o la concentración del medio externo, puede concluirse que ese mecanismo ocurre en dos fases distintas: **Pasiva y Activa.**

Estos tópicos revisten gran importancia para comprender las bases que sustentan la nutrición por la vía foliar y también incorporada por el suelo, por lo que han sido ampliamente desarrollados por diversos autores con enfoques diferentes y profundidad variada, como lo mencionan Gauch (1972), Heiwitt y Smith (1974), Devlin (1975), Camargo y Silva (1975), Malavolta (1980), Lopes (1991), Chaves (1999), Mengel y Kirkby (2001) y Epstein y Bloom (2006). En el Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar (1989) se hace un amplio desarrollo del tema vinculado con la fertilización foliar en todos sus extremos y factores asociados.

A) Fase Pasiva: la absorción se da sin gasto de energía metabólica, razón por la cual los iones en

solución acuosa pueden moverse libremente (entrar y salir) por difusión a través de los Espacios Externos (EE) y el Espacio Libre Aparente (ELA), yendo de la pared celular hasta la superficie de la plasmalema o hasta parte del citoplasma. Esa movilización se da sin necesidad de energía procedente de fuentes externas a sus propias moléculas y iones. Varios mecanismos se han propuesto para explicar este tipo de absorción, como se anota seguidamente, coincidiendo en que los mismos deben ocurrir en los EE y ELA.

- a) Difusión:** ocurre en el EE y consiste en el movimiento de iones de una fase acuosa de una zona de mayor concentración iónica a otra de menor concentración.
- b) Flujo de Masa:** los iones son arrastrados con el flujo de agua que ingresa a los tejidos.
- c) Intercambio Iónico:** los iones adsorbidos en la superficie de las paredes o membranas celulares, pueden ser cambiados por iones presentes en el medio externo.
- d) Equilibrio de Donnan:** sugiere que cuando la membrana es permeable a algunos iones y no a otros, el movimiento difusivo de iones puede ser contrario a la gradiente de concentración.

B) Fase Activa: en este caso los iones y moléculas para poder ser absorbidos deben superar prácticamente dos barreras, la cuticular, para ingresar al apoplasto en difusión libre (adsorción) y el plasmalema, para pasar del apoplasto para el simplasto haciendo uso de energía metabólica. La absorción de iones está en este mecanismo necesariamente ligada a la transposición de las membranas del citoplasma, del vacuólo o de otras organelas como los mitocondrios y cloroplastos que usualmente contienen concentraciones de varios iones, en grados superiores a los encontrados en soluciones circundantes sean internas o exter-

nas. Las especies iónicas ingresan en los vacuólos y organelas contra gradiente de concentración, lo que implica un enorme gasto de energía metabólica, proveniente por lo general de la respiración y en algunos casos de la fotosíntesis.

Mucho se ha teorizado y expuesto en torno a la presunta existencia de un mecanismo de “bombeo de iones” operado por medio de transportadores situados en las membranas celulares (plasmalema, tonoplasto y organelas), lo que permite de forma unidireccional, el movimiento y el paso de nutrientes del exterior hacia el interior de la célula. La idea toma fuerza con el tiempo y la investigación. La teoría de la existencia de “cargadores específicos para iones específicos” también adquiere aceptación, siempre considerando un gasto energético en el proceso. Se especula en que los cargadores son enzimas denominadas permeasas, o en su caso, de que es un constituyente propio de la membrana.

Varias teorías se han planteado para explicar el mecanismo de transporte activo, como son entre otras las siguientes:

- a) Hipótesis de Lundegardh:** sugiere que la absorción activa de iones está acoplada a la transferencia de electrones a lo largo de la cadena respiratoria, o a un sistema transportador de electrones.
- b) Hipótesis de la Bomba REDOX:** el transportador del ión es reducido en la sección interna de la membrana por los electrones cedidos por los transportadores electrónicos. El cargador se encuentra oxidado en la sección externa de la membrana.
- c) Hipótesis de Bennet-Clark:** propone una posible interconversión cíclica de Colina, Acetilcolina, Lecitina y Ácido Fosfatídico que forman un sistema de cargadores para cationes y aniones. La reacción requiere de energía (ATP).

d) Otras Hipótesis: en la actualidad las hipótesis más aceptadas para explicar el mecanismo, son:

- 1) Transporte por una proteína cargadora, posiblemente dependiente de la ATPeasa
- 2) Transporte a favor de un gradiente electroquímico, generado por un transporte electrónico
- 3) Transporte a favor de un gradiente de pH, generado por un sistema de transporte electrónico o ATPeasa

Como se infiere de todo lo expuesto anteriormente en torno al acarreo e ingreso de los iones en la planta, el tema es sin lugar a duda complejo y aún algo polémico, virtud de las diversas teorías científicas y posibles razones que se dan para explicar el ingreso y movimiento de los nutrimentos en el interior de la planta, sea por el suelo (raíz) o por la vía foliar (hojas), para poder ser metabolizado por ésta.

A manera de resumen cabe señalar que para que los nutrientes proveídos por los fertilizantes foliares puedan ser debidamente utilizados por las plantas en su metabolismo, deben primero atravesar la barrera de entrada existente en la hoja antes de ingresar al citoplasma de las células foliares. Para lograr esto el nutriente debe penetrar efectivamente la cutícula externa y la pared de la célula epidérmica subyacente. Una vez que ha ocurrido la penetración, la absorción del nutriente por las células es similar a la absorción que ocurre por las raíces. De todos los componentes que actúan como limitantes en el camino de los nutrientes aplicados por vía foliar, la cutícula es la que ofrece la mayor resistencia a su penetración. La cutícula es una estructura sensible que responde de manera muy dinámica a los cambios acontecidos en el ambiente y el manejo agronómico prestado a la plantación; por ello, las condiciones de estrés por humedad, de temperatura, afectación física por plagas y enfermedades, entre otros, la intervienen y afectan.

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

Por mucho tiempo se consideró que el movimiento de solutos se daba a través de los estomas; sin embargo, ahora se sabe, como manifestara Marschner (1995), que la cutícula es atravesada por numerosos canales hidrofílicos permeables al agua y a moléculas pequeñas de solutos. Esos microporos tienen un diámetro menor a un micrón, se extienden con una alta densidad y están recubiertos por cargas negativas, las que se incrementan en densidad hacia la sección interna, facilitando con ello el movimiento de los cationes.

El movimiento a través de la cutícula depende de factores como son la concentración de nutrientes presente, el tamaño de las moléculas, la forma orgánica o inorgánica prevaleciente, el tiempo de residencia de la solución sobre la superficie de la hoja, la carga y la densidad a través de la cutícula, etc. Se tiene por comprobado que ante la incidencia de un estrés hídrico pueden darse cambios en la estructura cuticular de las hojas, como son:

- Un incremento importante en el espesor de la cutícula.
- Modificación en la composición de la cutícula, aumentando el contenido de ceras de alto peso molecular (cadenas más largas) que incrementan la hidrofobicidad.
- Esas modificaciones generan un decrecimiento en la absorción de agroquímicos incorporados por esa vía, como es el caso de urea, nutrimentos, hormonas, madurantes etc.

Queda debidamente evidenciado que la penetración/absorción nutricional puede ocurrir por medio de las diversas estructuras y elementos presentes en el tejido foliar. La penetración principal se realiza sin embargo de manera directa a través de la cutícula y opera de forma pasiva. Los primeros iones en penetrar son los cationes dado que éstos son atraídos hacia

las cargas negativas presentes en el tejido, movilizándose pasivamente de acuerdo con el gradiente existente - alta concentración externa y baja en el interior. Transcurrido un tiempo los cationes que han ingresado modifican el equilibrio eléctrico del tejido provocando que éste sea menos negativo y más positivo. Es así como los aniones ingresan en el tejido de igual forma que los cationes.

Debido a que la penetración es de carácter pasivo, la tasa de difusión a través de la membrana es proporcional al gradiente de concentración existente en el medio; por lo tanto, si se consigue una concentración alta sin afectar y quemar el tejido celular, podría mejorar significativamente la penetración de manera muy significativa, lo cual es sin embargo de mucho cuidado.

Rosolem (2002) atribuye las diferencias observadas en la eficiencia de absorción y translocación de nutrientes aplicados vía foliar, al espesor de la cutícula, la cantidad de cera presente y su capacidad de humedecer la superficie de la hoja, lo que influye de manera positiva pero también negativa en los resultados, argumentan.

La vía foliar favorece y permite en definitiva que los nutrimentos ingresen en las hojas a través de los estomas que se encuentran en el haz o el envés de las hojas, asimismo a través de los espacios submicroscópicos denominados ectodesmos de las hojas, como también al dilatarse la cutícula foliar se producen espacios vacíos que permiten su penetración.

Los nutrientes se absorben por el follaje de la planta con una velocidad notablemente diferente de acuerdo a su capacidad de ingreso y movilización dentro de la planta, como se anota en los Cuadros 4 y 5. El nitrógeno destaca por su rapidez de absorción requiriendo de manera muy general, apenas de 0,5 a 2 horas para que el



50% de lo aplicado penetre en la planta; los otros elementos demandan tiempos diferentes destacando el fósforo por su lenta absorción, requiriendo hasta 10 días para que el 50% sea absorbido.

El K se estima que requiere para su absorción entre 10 a 24 horas y el Molibdeno de 10 a 20 días, lo cual es sin embargo variable dependiendo de la presencia, incidencia e intensidad de varios factores bióticos y abióticos vinculados con el mecanismo y el proceso.

El tiempo implicado en la absorción de nutrientes aplicados por la vía foliar es muy variable, como se demuestra en el Cuadro 4, expresado como el tiempo requerido para absorber un 50% del total aplicado.

Cuadro 4.

Velocidad de absorción foliar de diferentes

Nutriente	Tiempo de absorción
Urea	0,5 - 2 horas
K	10 - 24 horas
Mg	10 - 24 horas
Ca	10 - 24 horas
Mn	1 - 2 días
Zn	1 - 2 días
Cl	1 - 4 días
P	5 - 10 días
S	5 - 10 días
Fe	10 - 20 días
Mo	10 - 20 días

Fuente: Camargo y Silva (1975).

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

El Cuadro 5 expone por su parte de manera complementaria, la clasificación de algunos nutrientes esenciales y no esenciales ubicados con relación a la velocidad y movilidad con que son absorbidos por la vía foliar.

Ventajas y desventajas potenciales

La adición de los nutrientes esenciales, tanto macro como microelementos, dirigidas a corregir o en su caso prevenir y anteceder posibles deficiencias en el cultivo de la caña de azúcar

Cuadro 5.

Movilidad comparativa de elementos hacia el interior de la planta en aplicaciones foliares.

Clasificación	Tiempo de absorción	Símbolo
Muy Móvil	Nitrógeno	N
	Potasio	K
	Sodio	Na
	Rubidio	Rb
	Cesio	Cs
Móvil	Fósforo	P
	Cloro	Cl
	Azufre	S
Parcialmente Móvil	Zinc	Zn
	Cobre	Cu
	Manganeso	Mn
	Hierro	Fe
Inmóvil	Molibdeno	Mo
	Boro	B
	Magnesio	Mg
	Calcio	Ca
	Estroncio	Sr
	Bario	Ba

Fuente: Alexander (1986).

puede ser hecha a través del suelo, o también opcionalmente por la vía foliar, particularmente en el caso de los segundos; en donde la aplicación es ejecutada luego de evidenciar los síntomas típicos y característicos de las deficiencias. Cuando la adición de los nutrientes se realiza por el suelo, independientemente de su naturaleza, se busca ponerlos al alcance y disposición de la planta preferiblemente antes de que ésta inicie su desarrollo y poder así satisfacer oportunamente en tiempo las necesidades implícitas. La aplicación de los microelementos al suelo deberá ser por prudencia, pese a ser las cantidades muy pequeñas, incorporada en dosis mayores en relación con las foliares para un mismo elemento, buscando compensar las pérdidas que se dan en su disponibilidad. Aplicaciones al suelo complementadas con foliares resultan en teoría ideales, lo cual como se comentara más adelante, es sin embargo aún algo incierto considerando los antecedentes y experiencias obtenidas con las segundas.

De acuerdo con la literatura los fertilizantes foliares ofrecen en general una gran cantidad y diversidad de **ventajas**, que como es obvio y entendible, resultan muchas veces relativas, como son entre otras las siguientes:

- 1) La cobertura del área (ha) potencialmente posible de cubrir es amplia y operada proporcionalmente en un menor tiempo.
- 2) Permite establecer una condición nutricional integral muy próxima al deseado balance.
- 3) Genera ganancias importantes traducidas en incrementos significativas en la productividad agrícola e industrial.
- 4) Las dosis empleadas son muchísimo más bajas (hasta 10 veces) en relación con las incorporadas al suelo para lograr efectos similares.

- 5) Favorece una mayor eficiencia del nutrimento con la absorción foliar respecto a la radicular.
- 6) La respuesta de la planta es muy rápida e ideal para casos emergentes.
- 7) La tasa de retorno alcanzada por unidad de fertilizante incorporado puede ser elevada y muy rentable.
- 8) La cantidad de mano de obra asociada e implicada es muy inferior.
- 9) Los costos relativos asociados son integralmente menores.
- 10) Permite realizar operaciones y aplicaciones conjugadas por su compatibilidad con otros agroquímicos.
- 11) Las aplicaciones actúan como un importante y efectivo potenciador vegetativo de la planta.
- 12) Reducen el ataque provocado por plagas y patógenos.
- 13) Protegen contra el estrés hídrico.
- 14) Se incrementa la tolerancia de las plantas a la sequía y otros efectos adversos.
- 15) Pueden contribuir con la recuperación ocasionada por daños fitotóxicos provocados por causa de otros agroquímicos.
- 16) Mejoran la coloración y prolongan la vida y uso comercial de la plantación.
- 17) Permite la corrección rápida y oportuna (emergente) de deficiencias nutricionales.
- 18) La opción foliar es particularmente importante cuando ocurren o se tienen problemas de suelo y/o crecimiento

deficiente de las raíces, provocados por plagas, enfermedades, nemátodos, daños causados por el paso de equipo mecánico, sequía, compactación, entre otros.

- 19) Soluciona problemas en momentos críticos, donde los requerimientos del cultivo son superiores a su capacidad de absorción desde el suelo.
- 20) Genera un ahorro importante al eliminar pérdidas potenciales en el suelo de nutrientes de alto valor económico.

Menciona y anota Penatti (2018) como ventajas de la alternativa, al utilizar la fertilización foliar las siguientes:

- a) Corrección inmediata de las deficiencias de la planta.
- b) Dosis totales menores, precisas y uniformemente aplicadas.
- c) Respuestas inmediatas cuando es empleada como "fertilización de salvación".
- d) Alternativa viable para aumentar la productividad.
- e) Versatilidad en la fertilización.
- f) Reducción de la mano de obra.
- g) Los micronutrientes generan un retorno económico muy atractivo.
- h) Aprovechamiento de algunos nutrientes en pocas horas.

La aplicación foliar presenta sin embargo como es lógico concebir, algunos elementos considerados **desfavorables y calificados como desventajas**, como son:

- 1) Cualquiera que sea la modalidad de aplicación (terrestre-aérea) del insumo, la práctica foliar presenta una mayor complejidad y dificultad técnico-administrativa respecto a la clásica al suelo, visualizadas y operadas en la preparación, manejo y aplicación de la solución.

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

- 2) Cultivos o variedades con hojas de cutícula gruesa y cerosa pueden ofrecer resistencia a la penetración y acción de la solución, generando bajas tasas de penetración.
 - 3) El riesgo de generar contaminación por deriva o descontrol en la adición es alto.
 - 4) Puede generarse alguna fitotoxicidad en las plantas por quema o necrosis, favorecida por el uso de soluciones concentradas o secamiento rápido de la solución en la superficie provocando ese efecto.
 - 5) Aplicados en superficies hidrofóbicas pueden escurrirse e inducir pérdidas y/o inacción del producto.
 - 6) Pueden ocurrir problemas asociados con la solubilidad del producto.
 - 7) Se lavan y pierden con la lluvia si no adoptan los correctivos y medidas pertinentes.
 - 8) Puede darse un rápido secado de las soluciones rociadas que limita la penetración de los solutos.
 - 9) La cantidad de macronutrientes que puede ser suministrada es limitada y por ello insuficiente.
 - 10) Las tasas de traslado y movilización son limitadas para algunos nutrientes minerales.
 - 11) Algunos nutrimentos pueden tener limitantes en su movilización y translocación por el interior de la planta, por lo que su acción es puntual y exclusiva en el lugar donde fueron absorbidos (Cuadro 5).
 - 12) Puede ocurrir pérdida de producto por rociado en sitios no seleccionados ni previstos como objetivos agrícolas (bordes, caminos, fuentes de agua, etc.).
 - 13) Solo una pequeña cantidad del nutriente puede ser absorbida por vez o por momento de pulverización.
 - 14) La superficie foliar efectiva disponible puede ser una limitante (plantas de semillero o dañadas).
 - 15) El riesgo y peligro de provocar heterogeneidad productiva puede acentuarse por causa de aplicaciones desequilibradas y/o desuniformes.
- La fase de administración y planeamiento previo** requerida para hacer uso eficiente y efectivo de esta modalidad debe necesariamente considerar e incorporar varios elementos, como son:
- 1) El estado fenológico conveniente que se corresponda con la función y forma de acción metabólica del nutriente aplicado. El concepto de función y funcionalidad del nutrimento cobra importancia y aplicabilidad pragmática.
 - 2) Las plantaciones seleccionadas para ser aplicadas sean de ciclo planta, retoño (soca) o de semilleros, deben contar con un alto nivel productivo (≥ 80 toneladas de caña/ha). No se justifica ni es razonable su empleo donde la expectativa productiva es baja o el estado de la plantación es muy deficiente, sea por antigüedad o mal manejo.
 - 3) Las plantaciones deben ser preferiblemente homogéneas, sin fallas ni vacíos en su población de plantas.
 - 4) La condición de fertilidad del suelo debe ser conocida y previamente corregida donde sea necesario y pertinente. No tiene caso ni sentido empresarial hacer una aplicación foliar si la expectativa de mejora productiva es baja y poco rentable.

- 5) La plantación debe ser nutrida (fertilización base al suelo) con dosis apropiadas de acuerdo con la condición, posibilidades y expectativa esperada. La fertilización foliar no resuelve todo, solo complementa.
- 6) El cañaveral no debe encontrarse en un estado de estrés sea ambiental, hídrico, mineral o fitosanitario.
- 7) Se debe tener claro y conocido que elemento(s) nutricional(es) se van a corregir, con que productos, en qué momento y como se hará.
- 8) Las condiciones ambientales (humedad, temperatura, luz, viento) deben ser las convenientes y apropiadas para optimizar y maximizar la efectividad de la aplicación.
- 9) La formulación debe cuidar mucho la concentración deseada, la calidad del agua utilizada, los coadyuvantes empleados y la calibración del equipo vinculado.
- 10) La topografía y el relieve del lugar deben satisfacer las condiciones y requerimientos básicos y necesarios que demanda una aplicación terrestre o aérea, si fuera del caso, de manera que asegure una distribución efectiva y homogénea del producto asperjado en toda la plantación. Este factor resulta determinante de considerar virtud de la conocida heterogeneidad que existe en Costa Rica en las diferentes regiones productoras de caña de azúcar, como lo demostrara Chaves (2019).
- 11) Deben tomarse y extremarse todas las medidas de seguridad pertinentes que eviten la contaminación y minimicen el riesgo naturalmente implícito.

Insumos, dosis y aplicación

Los factores bióticos y abióticos que influyen en grado e intensidad variable pero de manera determinante en la fertilización foliar, pueden clasificarse en tres grupos: a) aquellos asociados a la planta, b) al ambiente y c) los relacionados propiamente con el insumo y la formulación foliar. Entre los aspectos propios implicados directamente con la planta (a), se consideran la condición de la cutícula, los estomas y los ectodesmos en la absorción foliar y con ello la especie y variedad genética. En el caso de los ambientales (b), se incluyen temperatura, luz, humedad relativa, viento y hora de aplicación. En la formulación foliar (c) se involucra la calidad del agua, el pH de la solución, la calidad y características de los surfactantes y adherentes empleados, la presencia de sustancias activadoras, la concentración de la solución, los nutrimentos adicionados y el ión acompañante en la aspersión.



SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

La efectividad técnica y la rentabilidad productiva y financiera de la fertilización foliar está insoslayablemente determinada y sujeta a la condición y control que se tenga de los factores bióticos y abióticos propios del entorno; los cuales se concentran en cinco grupos principales:

- Características de la solución por aplicar
- Condiciones ambientales prevalecientes
- Características anatómicas y propiedades de la hoja
- Estado vegetativo y fitosanitario de la planta
- Manejo agronómico de la plantación

Entre los **consejos y recomendaciones** pragmáticas más apropiadas para utilizar correctamente un fertilizante foliar, se tienen los siguientes:

- Contar inexcusablemente de previo con un protocolo de manejo operativo que defina y oriente las medidas y pasos a seguir tanto antes, durante y después de realizar la aplicación.
- Usar el equipo de protección (mascarilla, guantes y botas, camisa de manga larga, gafas y sombrero) correcto, apropiado y obligatorio para la ocasión. Debe asegurar y fiscalizar que esta medida se cumpla.
- No consumir alimentos, beber ni fumar durante el desarrollo de la práctica.
- Delimitar muy bien el o las áreas de aplicación, adoptando las medidas preventivas pertinentes.
- Controlar lo concerniente a las técnicas de aplicación y las relacionadas directamente con equipos, tamaño de gotas, aditivos, insumos, agua, etc.
- Considerar y tener muy presente y conocida la naturaleza y características de los nutrimentos por incorporar, particularmente

en lo referido a su tiempo de absorción y movilidad dentro de la planta (Cuadros 4 y 5).

- Pulverizar el fertilizante en sentido ascendente (de abajo hacia arriba), asegurando que tanto la parte superior como inferior de la planta han sido cubiertas, sobre todo los brotes nuevos.
- Procurar que la aplicación y mojado sea en tejidos jóvenes pues tienen mayor capacidad de absorción debido a su mayor actividad metabólica.
- Si el fertilizante es de origen orgánico, para que la planta absorba mejor los nutrientes contenidos, se recomienda no mojar las hojas antes de aplicarlo. Si en cambio, es un producto químico, se aconseja humedecer el follaje para evitar posibles quemaduras.
- Evitar en lo posible las aplicaciones con exposición máxima de la planta al sol para evitar que el fertilizante foliar se concentre por evaporación del agua, sobre todo en el caso de plántulas de semillero o vivero.
- Por lo anterior, la época y el momento de aplicar resultan determinantes, lo que obliga considerar las condiciones del clima prevalecientes. Se espera contar con una humedad relativa del aire superior al 70%, lo que habilita aprovechar las horas tempranas de la mañana o avanzadas de la tarde, especialmente cuando la aplicación se realiza en la época seca del verano. Lo anterior también ajusta el factor temperatura.

Las decisiones implicadas en la **adición correcta de fertilizantes foliares** en la caña se basan en:

- 1) Disponer de información analítica referenciada y representativa (edáfica y foliar) que revele y permita interpretar con buena aproximación el estado actual de fertilidad del suelo y nutricional de la plantación. Contar

con un diagnóstico previo resulta esencial para la cura pretendida realizar.

- 2) Conocer muy bien la condición vegetativa específica real de la plantación y el lote tratado en lo concerniente a sus indicadores básicos: variedad sembrada, ciclo vegetativo (planta-soca), número de cosechas realizadas, edad (meses) a cosecha, estado fitosanitario (plagas-enfermedades), programas de corrección (encalado) y fertilización incorporados previamente al suelo y conocer de posibles limitantes particulares (sequía, inundación, erosión, compactación, textura, etc.).
- 3) Conocer con detalle los antecedentes productivos agroindustriales anteriores para fijar metas y valorar efectos potenciales; preferiblemente ubicados por localidad geográfica, lote específico y variedad.
- 4) Asegurar la cantidad (dosis) exacta del o los nutrientes que se necesitan y desea incorporar.
- 5) Fijar el momento ideal de aplicación: día y hora. Contar por acaso con un Plan B ante posibles eventualidades (fuerza mayor) que pudieran suceder e impliquen suspender o modificar lo planificado.
- 6) Realizar la preparación de la solución de la manera técnica protocolariamente correcta y en el momento oportuno.
- 7) Contar con un buen programa de control de plagas y patógenos.
- 8) Contar con el grado de humedad adecuada del suelo y consecuente hidratación de la planta. Evitar realizar aplicaciones en plantaciones que padecen estrés hídrico.
- 9) Asegurar el momento fenológico adecuado de crecimiento y desarrollo, donde apunta la

fertilización foliar de acuerdo y en concordancia con la función y funcionalidad del o los elementos por incorporar en la planta. No todos los nutrimentos funcionan igual y para lo mismo.

Como es lógico esperar en un tema tan sensible y complejo como el abordado, las dosis recomendadas en las aplicaciones foliares para la caña de azúcar son obviamente muy variables y dependientes de muchos factores que las influyen y determinan como ya se anotó con anterioridad; indicando Penatti (2019) sin embargo al respecto, que pueden ser las siguientes estimadas por hectárea:

- **N:** entre 3 a 10 kg
- **Zn:** de 250 a 350 g
- **Mn:** de 100 a 200 g
- **B:** de 100 a 150 g
- **Cu:** de 50 a 60 g
- **Mo:** de 50 a 60 g
- **S:** varía y depende de la dosis y la materia prima utilizada

Las dosificaciones ideales realizar con fertilizantes foliares como es comprensible entender son muy variables dependiendo de varios factores interventores (Lopes 1991); sin embargo, se considera genéricamente que las formulaciones no deben tener concentraciones superiores al 0,5% equivalentes a 5.000 ppm o 5 gramos/l. Como se ha indicado, el empleo de coadyuvantes resulta de esencial importancia en esta modalidad de aplicación, motivo por el cual requiere contar de una atención particular y muy especial. Los adherentes y pegas aseguran una mayor residencia y permanencia del fertilizante en la hoja, sobre todo en el invierno con presencia de lluvias; los surfactantes y humectantes por su parte, distribuyen la gota sobre la superficie aumentando el contacto al reducir la tensión superficial. El uso de aceites puede contribuir a solubilizar la cutícula y facilitar la absorción.

Apunta Filho (2003) que las principales fuentes de boro empleadas en la fertilización en Brasil son: Bórax (15% B), Ácido Bórico (17% B) y Ulexita (10% B); siendo el segundo el más indicado en pulverizaciones foliares al 0,5%. En el caso del zinc las fuentes más reconocidas son: Sulfato de Zinc (20-22% Zn), Quelatos de Zinc (9-14% Zn) y más recientemente el Óxido Sulfato de Zinc (20% Zn total, con 70% de solubilidad). Expresa asimismo que la deficiencia puede ser corregida con pulverizaciones foliares de Sulfato de Zinc en concentraciones del 0,5% a 1,0% en solución; así como algunos quelatos en uso foliar actual. Agrega con relación al tema, que “*Algunos cocteles, conteniendo diversos micronutrientes y, probablemente algunas hormonas de crecimiento (AIA, Ácido Giberélico, Citosinas, etc.) han sido ofrecidas en el mercado para aplicaciones foliares, con resultados variables sobre el incremento de la productividad de la caña de azúcar. La aplicación vía foliar puede ser mecanizada, cuando hay condiciones de entrada del tractor en el lote coincidiendo con el máximo de superficie foliar o vía aérea, cuando el cañal ya se presenta “cerrado”. Independientemente de la vía de aplicación, es indispensable tener la relación beneficio/costo, para la recomendación de micronutrientes en caña de azúcar.*”

El uso del N y particularmente la urea ha sido tradicionalmente empleada como fuente privilegiada por su características y efectos como insumo en las aplicaciones foliares. Singh y compañeros (1985) encontraron por su parte en la India, respuesta positiva a las aplicaciones de N foliar luego de someter las plantas de caña de azúcar a diferentes condiciones de estrés hídrico.

En el caso particular de la fertilización con nitrógeno foliar empleando una solución de urea, es necesario asegurar que la fuente tenga un bajo contenido y concentración de **biuret** (alofanamida) para prevenir la posible afectación y pérdidas de rendimiento causados por una baja disponibilidad del N, al interferir de manera directa sobre la síntesis de proteínas, la

funcionalidad de muchas enzimas y el metabolismo del nutriente. El daño es provocado por la liberación de NH₃ proveniente de la hidrólisis de la urea. El biuret se genera durante el proceso de manufactura y no se metaboliza fácilmente dentro de las plantas, manteniéndose activo por hasta 8 meses. En Costa Rica la normativa establece y exige que el fertilizante comercial no debe contener más de 1,5% en masa de biuret como impureza (Chaves 1999).

En el caso de los nutrientes de baja movilidad (B, Mg, Ca, Ba Sr), la frecuencia de aplicación debe ser mucho mayor para solventar esa limitante (Cuadro 5). Las fuentes empleadas en aplicaciones foliares se basan en **sales y sustancias quelatadas**; teniendo entre las primeras nitratos, sulfatos y cloruros, siendo las segundas las más empleadas debido a su menor índice salino, lo que evita el riesgo de quemar y necrosar los tejidos. Las sales poseen un mayor grado de solubilidad, su absorción es relativamente lenta y pueden perderse fácilmente por causa del lavado superficial. Los quelatos son compuestos orgánicos de carga cero que acomplejan en su interior un catión metálico que es luego liberado dentro, resultando más fácilmente absorbidos y movilizados que las sales; lo que se facilita y dinamiza por no ser iónicos evitando reacciones de atracción y/o repulsión al penetrar la planta. Los elementos que están en capacidad de quelatarse son Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn. El tamaño de la molécula es una propiedad que evita su fácil lavado y pérdida. Los quelatos pueden aplicarse también en el suelo. La estructura orgánica que los conforma protege al catión de sufrir reacciones Redox, inmovilización, precipitación, etc.

Indican Trejo *et al* (2013) al respecto, que “*Los micronutrientes tienen su mayor efectividad cuando son suministrados vía foliar en forma de sales inorgánicas, principalmente como sulfatos. Las formas quelatadas de micronutrientes también han sido utilizadas, y se ha observado*

que favorecen la absorción y la translocación, adicionalmente se presentan menos problemas de fitotoxicidad que cuando se emplean formas inorgánicas,”

No hay duda de que los **quelatos y los metalosatos** constituyen opciones importantes y accesibles de uso en la caña de azúcar. Los metalosatos o quelatos naturales, son complejos químicos que tanto por su estructura como por los elementos que lo componen, representan una copia fiel de los quelatos naturales existentes en las plantas; por ello tampoco alteran el sistema ecológico donde se desarrolla la plantación. Deben para ser eficientes contar con algunas características y propiedades básicas como son las siguientes:

- Alta solubilidad en agua
- De fácil absorción
- No ocasionar fitotoxicidad
- Tener disponibilidad y reacción inmediata
- Movilización y translocación rápida en el interior del tejido
- Descomposición rápida dentro de la planta
- Mostrar estabilidad a la hidrólisis
- El ión (catión) contenido debe ser estable a las posibilidades de sustitución y reemplazo
- Estabilidad y capacidad de no reaccionar con otros compuestos
- Mostrar resistencia al ataque ocasionado por microorganismos

Por razones pragmáticas es importante señalar que los madurantes químicos pueden ser aplicados por la vía foliar juntamente con los nutrientes minerales, lo cual sin embargo para fines nutricionales resulta improcedente por el momento fenológico. Lo mismo acontece con otros insumos agrícolas, lo cual debe sin embargo por prudencia corroborarse para cada caso específico y particular.

Los resultados reportados en la literatura demuestran que las cañas precoces responden mejor a la fertilización foliar que las de

maduración media y tardía. En relación con el número de cortes, se ha encontrado que las plantaciones más viejas, con más de tres cosechas acaban ganando más ventaja con la fertilización foliar debido a cortarse después de las más nuevas. Se ha estimado en materia financiera con la relatividad y prudencia del caso un efecto económico favorable, como lo reportara Penatti (2019), al encontrar que la tasa de retorno de la aplicación foliar fue de 1:4 para la relación inversión/retorno.

Se han identificado y señalado en la práctica agrícola como Puntos de Atención los siguientes: escogencia de las fuentes de macro y micronutrientes, pH de la solución, concentración de la solución, volumen implicado (l/ha), tiempo y momento de aplicación y calidad de la aplicación aérea.

Complementariamente los **Puntos de Oportunidad** son: cantidad (frecuencia) de aplicaciones secuenciales (dos o más), uso de coadyuvantes (ajuste del pH, aumento de adhesión, aumento de la superficie de contacto, reducción de la deriva, aumento de la velocidad de absorción y reducción de pérdidas), uso de bioestimulantes y/o defensivos, uso en la aplicación de madurantes químicos de inicio de zafra y aplicación tardía en ambientes con bajo déficit hídrico.

Se estima de manera general que para tener éxito en la práctica agrícola con la fertilización foliar deben considerarse y preferiblemente controlarse los factores indicados en el Cuadro 6.



Cuadro 6.

Factores que determinan la eficiencia de las apersiones foliares.

Grupo de factores	Factores
Referentes a la solución a asperjar	pH
	concentración
	surfactantes
	tipo de nutrimento (tamaño, movilidad, etc.)
	iones acompañantes
Ambientales	temperatura
	humedad relativa
	luz
	viento
Referentes a la especie vegetal	ceras cuticulares y epicuticulares
	edad de la hoja
	superficie de la hoja (estomas, tricomas, turgencia)
	especie y variedad
	etapa fenológica
	estatus nutrimental de la planta

Fuente: Alexander (1986).

En su clásico Lopes (1991) plantea un detallado análisis referido a los micronutrientes, donde aborda el tópico desde todos sus extremos, lo que evidencia la adopción del modelo foliar como método para su incorporación.

En su documento, Alfaro (2017) propone por su parte una categorización de la práctica organizada de acuerdo con el fin pretendido que resulta interesante conocer, sugiriendo al respecto que:

“De acuerdo al objetivo de la fertilización foliar, esta puede ser dividida en varias categorías:

A. Fertilización foliar correctiva: es aquella en la cual, se suministran nutrimentos específicos en un momento determinado, con el objetivo de superar deficiencias específicas.

B. Fertilización foliar preventiva: se realiza cuando se conoce que un determinado nutrimento es deficiente en el suelo donde se va a plantar el cultivo.

C. Fertilización foliar sustitutiva: es aquella en la cual se pretende suplir todas las necesidades del cultivo exclusivamente por vía foliar.

D. Fertilización foliar complementaria: consiste en aplicar una fracción del abono al suelo y otra al follaje, generalmente en esta última se incluyen micro-elementos.

E. Fertilización foliar estimulante: consiste en la aplicación de aminoácidos, hormonas y sustancias orgánicas, que inducen un efecto estimulador en las plantas.”

Uno de los temas discutidos que demanda decisión y sobre el cual surgen las limitantes para muchas unidades productivas, lo representa la forma y el mecanismo de aplicación de la solución en el campo; pues en principio hay dos opciones posibles de acción que son:

- **Terrestre:** equipo manual por bomba de espalda o de motor y mediante equipos mecánicos presurizados de alto volumen. La literatura menciona modificaciones incorporando tracción animal.
- **Aérea:** puede ser empleando avioneta, helicóptero y más recientemente drones. La última es una alternativa que va en franco crecimiento en el cultivo de la caña en el país.

Resolver satisfactoriamente esa importante decisión resulta determinante para el éxito técnico, productivo y financiero de la iniciativa, lo cual depende sin embargo de varias circunstancias y factores, como son entre otros: a) el área (ha) de terreno involucrada, b) las condiciones topográficas del relieve, c) la disponibilidad de equipos, d) los recursos económicos disponibles, e) el tiempo previsto y aprovechable, f) el tiempo climático predecible, g) condiciones atmosféricas adecuadas para las aplicaciones aéreas y h) características del entorno valorado en cuanto a lo urbano y lo ecológico.

Experiencias internacionales

Asegura IAA/PLANALSUCAR (1983) vinculado directamente al tema, que “Las hojas de la caña presentan una buena capacidad de absorción de nutrientes, siendo común la práctica de aplicación aérea de fertilizantes en el cultivo.”

Partiendo de ese potencial natural que la literatura reseña y destaca como favorable, es que la mayoría de las agroindustrias azucareras del mundo han incursionado y avanzado en estudiar la opción de realizar la adición comercial de nutrimentos por la vía foliar, sea de manera

complementaria, aunque también suplementaria y hasta sustitutiva, lo cual ha implicado investigación y mucha validación de campo. Mucho se comenta en todos los ámbitos, sea científico, productivo o comercial en torno a la fertilización aérea empleando fertilizantes líquidos. El enfoque y aprovechamiento de la opción se ha concentrado básicamente en la aplicación de N y micronutrientes virtud de sus características y pequeñas cantidades implicadas. **Pese a todo ese potencial en ciernes, hay que reconocer que la fertilización foliar en la caña de azúcar no es una práctica generalizada, difundida y arraigada como otras; sino por el contrario, una alternativa en exploración permanente cuestionada y limitada por la inconsistencia de sus resultados, cuya eficiencia técnica y tasa de retorno es aún poco convincente.**

Como señalaran Pantaleón et al (2015) al respecto “La fertilización foliar es una actividad conocida desde hace mucho tiempo y que actualmente es la base de la producción en varios cultivos pero que, desgraciadamente, en el cultivo de la caña de azúcar ha tenido muy poca promoción y aceptación, desaprovechándose todos los beneficios que puede aportar, principalmente en la reducción de los costos”.

La fertilización foliar cabe reconocer, no significa en el caso particular de la caña de azúcar una nueva y revolucionaria tecnología agrícola, pues la realidad y los antecedentes revelan que se trata por el contrario de una práctica antigua, casi centenaria, conocida y empleada desde hace mucho tiempo para la complementación nutricional, como lo señalara Demattê (2019); particularmente en el ciclo de caña planta, de aquellos nutrimentos no suplidos con la fertilización tradicional al suelo. Humbert (1974) detalla en su excelsa obra clásica “El Cultivo de la Caña de Azúcar” lo actuado en esta materia en el caso de Hawái, al manifestar con lujo de detalles, que “Los estudios de la fertilización foliar en la caña de azúcar se iniciaron en mayo de 1950 y el primer ensayo de

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

campo con aplicación por aire fue instituido en la Oaho Sugar Company en julio de 1950. A principios de 1951 los asperjados se ensayaron en la isla de Hawái, Posteriormente la fertilización foliar se ha ampliado hasta finales de 1952. En que más de 20000 acres de tierras cañeras han sido parcialmente fertilizadas por aire.”

Relata el autor que posteriormente su empleo trascendió y adaptó al ciclo de retoño. La modalidad nutricional foliar es una tecnología que vino de otras actividades productivas para establecerse también en la agroindustria cañero-azucarera, con francas posibilidades de incrementar la productividad del cultivo.

Como es lógico pensar, la intención inicial de los sectores y productores interesados en incursionar en la implementación de la modalidad foliar para mejorar la condición nutricional y agroproductiva de sus plantaciones, fue la de suplir el N por esta vía, considerando que es el elemento más importante visto desde una perspectiva agroindustrial, sin desconocer en absoluto la relevancia de los otros nutrimentos esenciales. Fue así como buena parte de la investigación y la práctica operó sobre los macronutrimentos y en particular el NK.

Concluye Humbert (1974) ratificando la benevolencia de la modalidad foliar basada en NK, al manifestar que “Los experimentos en la cosecha en muchas plantaciones han mostrado que el aumento de los rendimientos de caña y de azúcar es el resultado de aplicaciones suplementarias de urea.”

En el caso de Brasil las primeras observaciones fueron favorables considerando que la adición de N al suelo que había que suplementar era baja (50 kg/ha), como lo indicaran Lorenzetti y Coletti (1989) y Penatti (2013). Posteriormente se encontró una baja eficiencia en la aplicación de N foliar adicionado a las socas (Coletti 1989), debido a que la plantación había recibido de pre-

vio una fertilización base adecuada y suficiente; lo cual evidencia la influencia e importancia de una buena aplicación base al suelo.

Para 1975 indicaban Camargo y Silva para el caso de Brasil, que “La caña de azúcar, como ejemplo de otros cultivos, absorbe nutrientes minerales por las hojas”. Ampliaron los mismos autores sobre el tópico referenciando lo actuado en Hawái en torno al tema, señalando que “Ensayos de más de 20 variantes en diferentes concentraciones, demostraron que las pulverizaciones aéreas no causaron ningún daño en las hojas, luego de respetar ciertos parámetros de temperatura del aire atmosférico y alta humedad. Las pulverizaciones aéreas en cañaverales con nutrientes minerales comenzaron con la urea, intensamente empleada con excelentes resultados técnicos y económicos, consiguiendo llegar hasta la fabulosa concentración del 50%.

El fósforo, en solución de superfosfato fue también muy aplicada, más, su absorción por las hojas y bien más lenta que el nitrógeno y el potasio.

Con el potasio en forma de cloruro de potasio, se alcanzó un alto índice de concentración hasta 27%.

Evidentemente que, con la existencia en el mercado mundial de fertilizantes foliares, asociada a la experiencia hawaiana en caña, es de admitir que, en nuestro país, la práctica de pulverizaciones aéreas con NPK + micronutrientes sea también introducida en nuestros cañaverales. De 2 a 4 aplicaciones foliares anuales con NPK + micronutrientes quelatizados, podría sustituir hasta un 25% de la radicular.”

Trabajando por varios años (1992-95) en plantaciones de caña ubicadas en la región de Barra Grande, São Paulo, Brasil, donde establecieron 21 experimentos en parcelas con-

troladas de 4 repeticiones en ciclos planta y soca, Morelli *et al* (1997ab) evaluaron mediante aplicación terrestre simulando una aérea, la adición de N (13 kg N/ha) como urea y urea + molibdeno (Mo) como Molibdato de Amonio (450 g/ha) y 10 kg de K₂O/ha como KCl, disueltos en agua. Los resultados no mostraron respuesta significativa de la vía foliar en ninguno de los experimentos; concluyendo que la adición de 40 kg/ha de N granular en el surco era suficiente.

Otras cuatro pruebas de campo fueron establecidas en la región de São Paulo con reaplicaciones de N empleando tres dosis (13-26-39 kg N/ha) de N y un testigo sin el elemento, sin marcar resultados productivos y estadísticos diferentes como se anota en el Cuadro 7, como informara Demattê (2019).

En su amplia y detallada alocución, relata Coletti (1989) la experiencia acontecida en el Ingenio

San José de Macatuba, ubicado en el Estado de São Paulo, Brasil, con el empleo de la fertilización foliar buscando encontrar siempre como indica la fórmula de “lo más económico” procurando reducir la fertilización al suelo. El fundamento de partida era que la complementación vía aérea con N resultaba una ventaja económica sin perjuicio agronómico. Bastaba, expresa, lograr un empate agronómico con una ventaja económica real para que la práctica fuera adoptada.

Los primeros años fueron muy positivos en las dos variables, lo cual por razones económicas los costos (50% menor) varió y adoptaron luego el uso de fertilizantes líquidos (amonio anhidro). Enfatiza en que siempre el motivo económico dominó las decisiones. Cambios coyunturales de fondo acontecidos en el entorno productivo condujeron bajo la misma premisa volver a retomar de nuevo la opción foliar; ahora bajo la

Cuadro 7.

Respuesta productiva (t caña/ha) a las reaplicaciones de N foliar en plantaciones de caña de azúcar.

Tratamientos	Época de aplicación	Dosis N total (kg/ha)	Respuesta (t/ha) según ciclo vegetativo					
			Planta			Soca		
			Experimento No. 1	Experimento No. 2	Media	Experimento No. 3	Experimento No. 4	Media
Testigo	Ene/95	0	69 a	78 a	73 a	70 a	78 a	74 a
1a Dosis N°	Ene/95	13	72 a	77 a	47 a	72 a	74 a	73 a
2a Dosis N°	Feb-95	26	69 a	70 a	70 a	70 a	76 a	73 a
3a Dosis N°	Mar-95	39	69 a	79 a	74 a	70 a	74 a	72 a

Fuente: Demattê (2019).

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

observación e interpretación de que significaba algo más. Se estima que luego de varios años las productividades mejoraron, con algunas fluctuaciones, sobre todo en los últimos 5 años del periodo evaluado y con el empleo de la fertilización líquida, el aumento de la dosis aplicada vía suelo y la reducción de la fertilización foliar.

Concluye Coleti señalando en torno a la experiencia agronómica vivida en esa empresa, que *“Actualmente, por tanto, la fertilización foliar se sitúa como una herramienta estratégica para la mejoría global de la productividad, que debe ser racionalmente manejada para facultar resultados ponderables, moviéndose totalmente de la práctica rutinaria de la fertilización de los cañaverales.*

Entre la realidad de la absorción del nitrógeno aplicado vía foliar, demostrada por la técnica de dilución isotópica y la transformación en biomasa por hectárea, existen otros factores que deben ser muy bien equiparados tales como: edad y estado general de la planta, época y horario de la aplicación, tipo de equipamiento y formulación, situación climática reinante por ocasión del uso del insumo. La conjugación armónica de estos factores puede surtir el resultado del “algo más” que se pretende con la fertilización foliar en caña de azúcar. Se trata realmente de una tecnología de punta, para usar una expresión de momento.”

Menciona Coleti que una de las formas y herramientas para evaluar e interpretar correctamente el sistema de fertilización foliar implementado, fue el empleo de la técnica de dilución isotópica a través de la urea marcada con 15N, como lo indicaran y desarrollaran Trivelin *et al* (1983, 1985) en sus estudios. Agrega que en un primer trabajo se simuló la presencia de lluvia ocurrida después de la aplicación foliar, por lo cual esa técnica evidenció el proceso de absorción (50%) y translocación del N de la urea por la planta, el cual ocurrió en las primeras ho-

ras. En otro trabajo ocurrió lo mismo con el resultado isotópico luego de hacer el análisis 7 días después de la aplicación, evidenciando que la cantidad de N fue igual (50%). No se comprobaron pérdidas de urea aplicada vía foliar. Nota: isotópica es la forma de un elemento químico en el que los átomos tienen el mismo número de protones (partes del núcleo de un átomo), pero un número diferente de neutrones (partes de núcleo de un átomo); por ejemplo, el carbono 12, el carbono 13 y el carbono 14 son todos isótopos de carbono.

Menciona Penatti (2013) referenciando a Penatti y Forti, que la productividad de caña (t/ha) y la pol en caña de la variedad RB 72-454 cosechada a 18 meses de edad, fueron alteradas significativamente con la adición foliar de N y N + Mo cuando comparadas contra el testigo con solo fertilización mineral. En otro estudio donde se aplicaron en 1997 micronutrientes vía foliar a la misma variedad en tercera soca, señala el mismo autor, no hubo respuesta en productividad de caña ni de pol en caña.

Investigando la respuesta de las variedades SP 80-1816, SP 81-3250 y RB 85-5453, Penatti y Forti (2001) aplicaron a los 7 meses de edad 13 y 20 kg de N/ha y 500 g de Mo/ha como fertilizante foliar conteniendo 22,5% de N y 34% de Mo, correspondientes a 50 litros/ha y 750 g de Mo/ha. No encontraron en este caso respuesta productiva diferenciada.

Tampoco hubo respuesta plasmada en términos de productividad agroindustrial ni tampoco económica en otras dos pruebas realizadas con los clones RB 85-5453 y SP 82-42, replicados tanto en caña planta como en soca, donde la aplicación foliar conteniendo micronutrientes se realizó a los 3 meses de edad (Penatti y Forti 2005), como se indica en el Cuadro 8.

Con base y fundamento en las numerosas pruebas realizadas en Brasil, expresa Penatti (2013) de manera concluyente, que *Resumiendo,*

Cuadro 8.

Productividad agroindustrial con y sin adición foliar de micronutrientes.

Variedad	Ciclo	t caña/ha		t Pol/ha	
		Sin	Con	Sin	Con
RB 85-5453	Planta	155	155		
SP 86-42	Planta	155	157	26	26
SP 87-355	Soca	140	137	21	20
SP 86-42	Soca	136	138	22	22
Media		147	147	23	23

Fuente: Penatti y Forti (2005).

el Centro de Tecnología Cañera recomienda no utilizar la práctica de la fertilización foliar, pues todas las investigaciones realizadas no presentan resultados positivos en las localidades donde se hizo una fertilización base adecuada. Esos resultados presentados, más otros de la literatura son base para concluir que aplicando una dosis adecuada de fertilizante mineral en el surco del plantío y en el trato cultural de la caña soca es suficiente para la nutrición de la caña, no teniendo necesidad de cualquier complementación, caso contrario ella puede presentar una expectativa de ganancia en productividad.

Para pequeños, medianos y grandes productores esta operación no se viabiliza si las fertilizaciones de base (suelo) fuesen realizadas de acuerdo con los análisis químicos de la tierra y el uso de tablas de recomendación de fertilización.”

Pese a todo, se tienen también reportes que indican incrementos de 3 a 15 toneladas de

caña/ha para una media de 7 toneladas en plantaciones comerciales de caña con la adición de urea por avión en cortes menos avanzados y con algún potencial real de respuesta (Penatti 2018). Se reconoce que la vía foliar es complementaria a la del suelo, pudiendo efectuarse en el momento de mayor desarrollo y acúmulo de biomasa en la plantación; lo cual, posibilita adicionar menos N en el suelo y complementar por la hoja donde prácticamente todo es absorbido, evitando las significativas pérdidas que se dan en el suelo que llegan hasta un 50%. La modalidad foliar debe emplearse principalmente en plantaciones con alto nivel tecnológico y gran potencial de productividad.

Se argumenta como hecho interesante y ampliamente demostrado (Chaves 1999, 2021ade) que cuando la urea se aplica superficialmente en forma granular en el suelo, parte se pierde por volatilización a la atmósfera. Anotan Trivelín *et al* (2005) que parte de los gránulos quedan insertados en la vaina de las hojas (50%) por lo que son rápidamente

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

absorbidos y el otro 50% cae al suelo, permaneciendo por ello propenso a perderse. Aseguran esos investigadores que parte del N volatilizado es absorbido por las hojas, principalmente cuando la plantación está bien cerrada. Sugieren que una aplicación de 40 kg de N/ha vía aérea, solo se aprovechan 18 kg/ha de N-urea (14 vía hoja y 4 kg vía suelo).

Los resultados agroindustriales obtenidos por Pantaleón *et al* (2015) en su estudio, al evaluar la adición de N foliar empleando un fertilizante (Corón) de liberación controlada, derivado de resinas condensadas de urea-formaldehído (methylen urea 100% soluble en agua y muy estable), revela que la nutrición de la caña bajo esta modalidad resulta ser eficiente comparada con la nutrición tradicional, quedando demostrado que el nitrógeno aportado por esta vía optimiza la relación de elementos demandados por el cultivo.

Encontraron esos investigadores que la adición complementaria del fertilizante de liberación controlada mostró diferencia estadística significativa en la variable rendimiento agrícola (t de caña/ha) de la variedad Mex 69-290. En las variables de calidad industrial no hubo diferencias entre los tratamientos. El análisis económico confirmó que una aplicación complementaria de fertilizante foliar nitrogenado a base de “Corón” en la caña de azúcar es rentable y por tanto factible de utilizar.

Recuerda Penatti (2018) que los micronutrientes aplicados en forma foliar tienen como objetivo complementar y nunca sustituir los nutrientes adicionados por el suelo; agregando que en el caso de los micronutrientes, a excepción del boro, se puede corregir una deficiencia más rápido por la vía foliar que por el suelo. Nutrientes como cobre, manganeso y zinc deben adicionarse al suelo y ser complementados vía foliar, pues las dosis recomendadas no son suplidas solo por las hojas.

Una numerosa cantidad de resultados de estudios de campo pueden encontrarse en la literatura referentes a la adición de nutrimentos empleando la ruta foliar en la caña de azúcar, en especial micronutrientes, cuyos efectos son como se ha indicado muy diversos. En Guatemala, Muñoz (2015) encontró que la aplicación de distintas dosis de boro vía foliar no produjo efecto sobre las variables agroindustriales de respuesta evaluadas en el cultivo de caña de azúcar; comprobando que las concentraciones del elemento en el tejido foliar no fueron influenciadas por la aplicación del boro por la vía foliar, por lo cual no se recomienda su aplicación en las mismas condiciones.

García (2017) por su parte, evaluando el efecto de un fertilizante foliar compuesto por boro y molibdeno en tres dosis como madurante, respecto al glifosato y el trinexapac-etil empleados como testigos con la variedad CP 72-2086; encontró que los resultados no presentaron diferencias significativas en toneladas métricas de caña por hectárea; no así, en el rendimiento en toneladas de azúcar por hectárea, en donde los fertilizantes foliares no mostraron diferencia significativa con el glifosato. Concluyó el autor que la aplicación de fertilizantes foliares compuestos por B y Mo puede ser una opción para validar.

Figueiredo y Lima (2014) exponen el resultado de un amplio programa de investigación desarrollado en lotes comerciales de plantaciones del Ingenio Serra Grande, ubicado en el Estado de Alagoas, Brasil, donde valoraron diversos productos formulados a base de multiminerales (N, P, K, Mg, S, Zn, B, Fe, Cu, Mn, Mo, Co) pertenecientes a diferentes empresas (Ubyfol, Coda, Fénix, BMS, ICL, Agri) que incorporaban la mayoría de micronutrientes, entre ellos el inusual cobalto. Se procuraba con la iniciativa, definir la mejor combinación de productos. Las variedades involucradas fueron: RB 92-579, SP 81-3250, RB 75-126, SP 79-1011 y RB 75-126. Luego de realizadas varias cosechas



representativas por su dimensión llegaron a concluir que: a) La tecnología de los productos aplicados vía foliar permite alcanzar lucros productivos agrícolas y en sacarosa garantizando una mejor performance, b) Esos productos son por lo general de costos bastante aceptables, teniendo sus aplicaciones aéreas ventaja en la agilidad y practicidad de aplicación, c) El mercado hoy día ofrece una gama de productos y empresas en ese segmento de insumos, sin embargo, se debe ser muy cuidadoso en la escogencia de los mismos, d) La nutrición foliar es una práctica consolidada en los cañaverales del Ingenio Serra Grande, que garantiza ganancias en producción agrícola y en el ATR, e) Optan por los productos de “Ubyfol” por la garantía y estabilidad de los resultados obtenidos, f) En años más secos las respuestas decaen al punto de perderse su efecto, g) Recomiendan las evaluaciones regionales de la nutrición foliar para tener una mayor seguridad de los resultados y la adopción de la práctica a nivel comercial.

Concluyen, asimismo con fundamento en los resultados, que los abonos foliares no pueden sustituir totalmente a los abonos aplicados al suelo. Aseguran a la vez, que *“La práctica de la nutrición foliar exige mayor conocimiento técnico para que vengamos a obtener mejores éxitos, respetando toda la tecnología de aplicación.”*

Como observación relevante de campo se han encontrado en Brasil respuestas positivas a las aplicaciones foliares luego de incorporar cambios de fondo en el sistema de manejo de las plantaciones durante su cosecha, cosechando las mismas sin uso de la quema; efecto atribuido presuntamente a que los nutrientes contenidos en la paja son indisponibles para la planta, como lo ha señalado Demattê (2019). El tema de las cenizas generadas en la combustión de la biomasa e incorporadas al suelo es el factor diferenciador.

Experiencias en el sector azucarero nacional

Lo actuado en el caso de la agroindustria cañero-azucarera nacional sobre esta materia es por antecedente en realidad muy escaso y limitado cuando de investigación seria y formal se trata, pues mucha de la valoración realizada pasa más por ensayos experimentales de campo sin el rigor científico requerido y deseado, donde se comprueba de manera sutil la respuesta de la planta de caña a la adición de diferentes nutrimentos, en especial elementos menores. Vale reconocer que mucha de la información generada y disponible en el medio, ha sido promovida de manera individual y aislada por parte de empresas comerciales con enfoques muy orientados a satisfacer sus objetivos e intereses particulares, y no necesariamente los que demanda un estudio de base científica. Casi la mayoría de los resultados de esas pruebas no son publicadas en fuentes de divulgación técnica y científica confiables; sino que se quedan circulando en un ámbito comercial muy reducido. Puede por ello asegurarse, que existe en la actualidad un vacío técnico importante que referencie con la certeza debida, la consistencia y bondad de la fertilización foliar como opción tecnológica accesible, viable y rentable para el productor de caña costarricense.

Como se comentó en el acápite anterior, esa deficiencia temática no es un asunto exclusivamente nacional, pues la información generada en otras agroindustrias del mundo no es proporcionalmente tampoco abundante y mucho menos consistente en sus resultados, como puede fácilmente comprobarse en los referentes internacionales más connotados; lo que deja en vilo la opción foliar como una vía alternativa para complementar la nutrición de la planta y sujeta a consideraciones habilitantes muy específicas y particulares. Alertaba Chaves (1999) hace algún tiempo en referencia al tema foliar, que:

“Sucede sin embargo que este tipo de modalidad nutricional está poco extendida a nivel mundial en el caso particular de la caña de azúcar, no solamente por las dificultades físicas que su aplicación implica, sino también por los elevados requerimientos de N que la planta de caña demanda para sostener los niveles de productividad pretendidos.

A lo anterior hay que agregar una limitación natural que la planta de caña ofrece a la absorción foliar, se ha comprobado que esta vía de penetración es insuficiente para atender las elevadas necesidades nutricionales de la caña de azúcar. En realidad, existen en esta área pocos estudios en el país, siendo sus resultados aún muy contradictorios y hasta poco consistentes, razón por la cual su empleo práctico es cuestionable, sobre todo en el caso de los elementos mayores (N-P-K-Ca-Mg-S).”

A pesar de esa sentida carencia de información científica sólida y validada probabilísticamente en el campo en términos agro-productivos y económicos, existen algunos estudios que permiten tener una idea certera que sustenta el criterio de las posibilidades reales que ofrece acompañar la nutrición del cultivo por la vía foliar. Por sus características, particularidades y exclusividad, la extrapolación, migración e interpolación de datos procedentes de otras regiones y condiciones agroambientales, y menos aún de otras especies vegetales, resulta válida y aceptable para pretender justificar un programa empleando esta modalidad de aplicación.

En lo específico, Alfaro (2017) en su inédita publicación intitulada *“Fertilización Foliar en la Caña de Azúcar. Avances en Investigación”* hace un apropiado abordaje del tópico, desagregando el mismo para su análisis y mejor comprensión en elementos que permiten alcanzar un conocimiento ordenado sobre el estado del tema expuesto en el país en ese momento. El documento es por esto de gran valor referencial, aunque vale reconocer, carente de la revisión de

antecedentes deseada y obligada para conceptualizar holísticamente el tema abordado.

Como antecedente valioso, es interesante reseñar un estudio realizado en un suelo cañero ácido, infértil y deficiente en Zn del orden Ultisol de San Pedro de Pérez Zeledón (560 msnm), donde Chaves y Barrantes (2003) evaluaron la adición y efecto de 7 dosis crecientes de zinc granular incorporado al suelo (0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 kg/ha) y un tratamiento adicional donde se aplicó el nutrimento por la vía foliar, empleando un metalosato al 6% con ZnSO₄.H₂O (36% Zn y 18% de S) como fuente equivalente a una dosis de 0,5 litros/ha. Se encontró luego de realizadas cuatro cosechas de la variedad SP 71-5574, que todos los tratamientos superaron al testigo (- Zn) en lo agroindustrial, aunque sin significancia

estadística en cada cosecha individual, así como en su promedio. La fuente granular fue en definitiva como se anota en el Cuadro 9 más eficiente que la foliar, al incrementar la producción de azúcar en un rango del 4,5% al 16,7% correspondiente a 0,59-2,2 t/ha, siendo la dosis de 20 kg la más eficaz agroindustrialmente; en tanto que la foliar lo hizo en un 4,5% correspondiente a 0,59 t de azúcar/ha. La vía foliar nunca superó a la granular; tampoco favoreció una mejora en la calidad de los jugos como si aconteció con la granular. Concluyen los autores en torno al tema de interés, que *“Se recomienda, sin embargo, proseguir con el estudio y la valoración de fuentes y dosis de Zn aplicados por la vía foliar, con el objeto de determinar su potencial de uso comercial.”*

Cuadro 9

Resultado agroindustrial del estudio de fuentes y dosis de Zinc en caña de azúcar. Promedio de 4 cosechas, San Pedro, Pérez Zeledón.

Dosis (Kg/ha)	Porcentaje				Rendimiento Industrial (Kg azúcar/t)	Producción (t/ha)		Relación Sacarosa	PRT (%)
	Brix	Pol	Pureza	Fibra		Caña	Azúcar		
0	22,37	20,07	89,72	14,57	141,18	93,33	13,18	7,08	100
10	22,30	20,36	91,30	14,04	145,05	103,30	14,98	6,89	114
20	21,90	20,15	92,01	14,33	143,56	107,15	15,38	6,97	117
30	22,17	20,46	92,29	14,89	143,89	96,76	13,92	6,95	106
40	21,27	19,80	93,09	14,55	141,34	98,13	13,87	7,08	105
50	21,82	19,87	91,06	14,34	144,83	104,53	15,14	6,90	115
60	22,56	20,55	91,09	14,40	144,97	103,02	14,93	6,90	113
Foliar*	21,66	20,12	92,89	14,90	141,18	97,57	13,77	7,08	105
Promedio	22,01	20,17	91,68	14,50	143,25	100,47	14,40	6,98	109
CV (%)	3,69	3,43	2,70	4,30	4,03	13,37	13,71		

Fuente: Chaves y Barrantes (2003).

* Aplicación Foliar: Metalosato de Zinc 6% Dosis de 0,5 litros/ha.

PRT: Porcentaje de variación respecto al testigo (t azúcar/ha).

Relación Sacarosa: TM de caña necesarias moler para fabricar una TM de azúcar.

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

Coinciden y concluyen Chaves y Barrantes (2007) en relación con la fertilización de los suelos ácidos sembrados con caña de azúcar en la Región Sur del país, reconociendo su manifiesto estado de infertilidad y desbalance nutricional, que con relación a la fertilización incorporada por la vía foliar “Es necesario investigar aún más sobre fuentes de Zn de aplicación foliar”; ratificando la respuesta inconsistente lograda hasta ese momento.

En otro estudio donde se evaluó la fertilización mediante la aplicación foliar de boro y zinc en una plantación sembrada con la variedad SP 81-3250 en un suelo del orden Inceptisol situado en Cañas (12 msnm), Guanacaste, Angulo *et al* (2006) encontraron luego de tres cosechas sucesivas, respuesta productiva a su adición sin alcance y significancia estadística en algunas variables. Como fuentes se emplearon el Cytozyme (11% Zn) y Agrial Boro (13,5% B) aplicados en interacción a los 2,5 meses en tres dosis: 0-500-700 gramos/ha.

El resultado tanto individual como promedio de 3 cosechas, revela un efecto favorable de los tratamientos tanto en caña como azúcar (t/ha); siendo el mejor tratamiento medido en toneladas de caña y azúcar/ha con la dosis de 500 g de Zn, con incrementos del 12,2% (14,2 t de caña) y 13,8% (1,88 t azúcar) respecto al testigo, como se muestra en el Cuadro 10, lo que resulta económicamente rentable. La dosis de 700 g de Zn generó la mayor concentración de sacarosa (118,84 kg/t) con un aumento del 1,6% (1,87 kg/t caña). El B no pareció tener un efecto individual notorio, pero si en complemento con el Zn lo que sugiere un efecto sinérgico, razón por lo que recomiendan su adición en dosis de 500 g de Zn + B/ha. Concluyen los autores que “La respuesta a la adición foliar de micronutrientes a la caña de azúcar, es coincidente con las experiencias obtenidas en aplicaciones comerciales de Zn y B en plantaciones de caña del Ingenio Taboga (Sequeira 2001), donde se encontró un incremento de hasta un 22,5% (2,36

TM azúcar/ha) de más con la aplicación foliar de esos nutrimentos.”

En su documento, asegura Alfaro (2017) ratificando lo ya aseverado anteriormente, que “En la caña de azúcar la aplicación de soluciones nutritivas sobre el follaje no ha sido una práctica común, pero hoy en día, debido a la presión comercial de muchos fabricantes y distribuidores de este tipo de productos, han inducido a muchos productores a realizar aplicaciones sin ningún estudio o investigación previa que garanticen productiva y económicamente su uso. A diferencia de otros cultivos como café, hortalizas y frutales entre otros, donde se ha comprobado los beneficios de esta práctica, la caña de azúcar con pocas excepciones no ha manifestado una respuesta clara y convincente y se cataloga como una gramínea de difícil absorción foliar, al ser muchos los obstáculos estructurales y fisiológicos a los que se enfrentan los nutrimentos para llegar a los puntos de acción.”

Se presentan en el interesante sumario de estudios que recopila y expone Alfaro (2017) en su documento, los resultados de varios experimentos desarrollados por DIECA (1991, 1994), que por su naturaleza es importante comentar con el fin de dar cuerpo y consistencia a las conclusiones que sobre lo vacío del tópico abordado deben y pretende en el presente caso formular. Cita en primera instancia un ensayo realizado en el año 2014 en una finca perteneciente a Coopevictoria R.L. ubicada en Higuito de San Mateo (265 msnm), Alajuela, con la variedad RB 86-7515. Se estudiaron en dicho caso tres tratamientos de zinc aplicados uno al suelo en una dosis comercial de 14,9 kg/ha (5,0 kg ZnO) y otros dos adicionados por la vía foliar en dosis de 1,0 y 2,0 litros/ha en su orden para 0,7 y 1,4 kg de ZnO, a los 4 meses de edad de la plantación. Las fuentes empleadas fueron Sulfato de Zinc (35,5%) y Zinctrac 70%, respectivamente.

Cuadro 10

Resultado agroindustrial estudio de dosis de Zinc-Boro Foliar y su interacción en caña de azúcar. Promedio de 3 cosechas, Cañas, Guanacaste.

Dosis (gramos/ha)		Porcentaje				Rendimiento Industrial (Kg azúcar/t)	Producción (t/ha)		Relación Sacarosa	PRT (%)
Brix	Pol	Brix	Pol	Pureza	Fibra		Caña	Azúcar		
0	0	22,31	20,18	91,57	14,59	116,97 ab	116,44 c	13,61 ab	8,5	100
0	500	21,47	19,64	91,51	14,87	114,49 ab	124,60 ab	14,29 ab	8,8	105
0	700	22,01	19,76	89,73	14,73	112,58 b	116,94 c	13,11 b	8,9	96
500	0	21,96	20,17	91,35	14,35	118,42 ab	130,60 a	15,49 a	8,4	114
500	500	22,00	20,11	91,38	14,57	117,90 ab	123,19 a	14,49 ab	8,5	107
500	700	21,81	19,28	88,29	14,43	112,27 b	126,32 ab	14,18 ab	9,0	104
700	0	22,48	20,59	91,59	15,08	118,84 a	120,95 bc	14,34 ab	8,4	105
700	500	22,31	20,12	90,09	14,82	114,37 ab	128,42 ab	14,65 ab	8,8	108
700	700	22,02	20,32	91,88	14,73	117,03 ab	126,11 ab	14,76 ab	8,6	108
Promedio		22,04	20,02	90,82	14,68	115,87	123,73	14,32	8,7	105
CV (%)		3,23	3,32	1,47	2,31	3,07	9,01	9,47	3,28	

Fuente: Chaves y Guzmán (2006)

* Aplicación Foliar: CYTOZYME (11% Zn) y AGRIAL BORO (13,5% B).

Medias con diferente letra difieren estadísticamente entre sí, según prueba de Tuckey ($p \leq 0,05\%$)

PRT: Porcentaje de variación respecto al testigo (t azúcar/ha).

Relación Sacarosa: TM de caña necesarias moler para fabricar una TM de azúcar.



La cosecha reveló que hubo diferencias significativas en las variables por ciento de sacarosa, de fibra, el rendimiento industrial (kg azúcar/t caña) y también en la producción de azúcar (t/ha). El resultado indica que todos los tratamientos con Zn superaron al testigo en calidad de jugos, concentración de sacarosa (kg/t), producción de caña y azúcar (t/ha); siendo los mejores tratamientos tanto el Zn granulado aplicado al suelo como el Zn foliar en la dosis de 2 l/ha, superando éste en forma significativa al tratamiento testigo en más de 14,9 kg de sacarosa/t. En producción de azúcar (t/ha), todos los tratamientos superaron al testigo sin Zn, siendo el mejor la aplicación de zinc granular en la dosis de 5 kg/ha, el cual superó al testigo luego de dos cosechas en 1,4 toneladas de azúcar por hectárea (18,2%); la dosis de 2 litros lo hizo en 0,8 t/ha correspondiente al 10%. La mejora promovida por la dosis de 1 litro fue de 0,60 t de azúcar/ha (6,6%). Quedo así demostrado el efecto positivo de las aplicaciones foliares en este caso de Zn.

De igual manera, adjunta el autor el resultado de la evaluación realizada en 1994 con un metalosato multimineral de micronutrientes quelatados registrados como CROUP (calcio 1,0%; magnesio 1,0%; hierro 0,5%; zinc 0,5%; cobre 0,5%; manganeso 0,5%), y su efecto sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar en dos localidades del Valle Central

Occidental, propiamente Santa Eulalia de Atenas (750 msnm) y Piedades Norte de San Ramón (1300 msnm), empleando las variedades CR 61-01 en segunda soca y SP 71-3149 en ciclo planta (Chaves 1999, Alfaro 2017). Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron en ambos casos cuando la caña tenía 3 meses de edad y la segunda a los 4 meses. Se estudiaron 5 tratamientos: 1) Testigo, 2) CROUP 500 ml/ha, 3) CROUP 700 ml/ha, 4) CROUP 400 ml + Zinc 30 ml/ha y 5) CROUP 400 ml + Boro 300 ml/ha. Los resultados de Atenas revelan luego de una cosecha que el tratamiento #5 produjo un 59,1% más de azúcar (3,05 t/ha) en relación al tratamiento testigo sin aplicación, superándolo también los otros a excepción del tratamiento #3 que fue inferior en 0,62 t de azúcar/ha correspondiente al 12%. En concentración de sacarosa solo los tratamientos #4 y 5 fueron mayores al testigo y en producción de caña (t/ha) todas las aplicaciones lo superaron respecto a cuando no se aplicó. Se ratifica nuevamente el efecto sinérgico de las aplicaciones Zn + B.

En la prueba de San Ramón de Alajuela, pese a que los mismos tratamientos y dosis eran iguales a los del ensayo de Atenas, la respuesta no fue la misma y por el contrario los rendimientos productivos obtenidos principalmente en la producción de caña y azúcar (t/ha) fueron muy inferiores respecto al

tratamiento testigo sin aplicación, pues este fue superior. El tratamiento #5 de CROUP 400 ml + Boro 300 ml/ha fue sin embargo el mejor en concentración de sacarosa (kg/t). Expresa Chaves (1999) en torno a esos resultados, que *“Se presume algún posible efecto positivo de los fertilizantes foliares (principalmente micronutrientes), cuando adicionados en las etapas iniciales del desarrollo de la planta, la cual es por lo general lenta, sobre todo en el ciclo de planta. Resulta también factible alcanzar alguna respuesta favorable en condiciones de suelos que manifiesten condiciones de infertilidad extrema, caso contrario es difícil obtener respuestas a las aplicaciones foliares con significancia estadística positiva.”*

Con el objeto de evaluar otros fertilizantes foliares aplicados en diferentes etapas fenológicas de desarrollo y de acuerdo con las necesidades nutricionales esenciales del cultivo, se han realizado evaluaciones en condiciones de invernadero en Santa Gertrudis Sur (999 msnm), cantón de Grecia, Alajuela. Se empleo como sustrato un suelo ácido e infértil del orden Ultisol para garantizar una respuesta de los fertilizantes evaluados. Los tratamientos se estructuraron seleccionando en primera instancia de una amplia cantidad de opciones comerciales, los productos foliares más altos en fósforo cuya evaluación en prueba anterior había presentado una respuesta favorable, como fueron: 1) Tech Spray Hi K (4 l/ha), 2) POTAFOS (0,5 l/ha), 3) CAFESA (15 g/l), 4) Tech Spray Zn PK (4 l/ha), 5) Tech Flo Alpha (4 l/ha), comparados con dos tratamientos referentes, 6) un Testigo Absoluto sin nada y otro 7) Testigo Relativo con fertilización al suelo con 10-30-10 (350 kg/ha) para suplir el N-P requeridos luego de germinar la caña. Los productos se combinaron y complementaron con algunos nutrientes adicionales adicionados en tres etapas (plantas con 4, 6 y 8 hojas) hasta completar 21 tratamientos de contenidos muy variables de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, B, Fe, Mn y aminoácidos como

indica dicha publicación (Alfaro 2017).

El resultado de dicha prueba reporta diferencias significativas en la variable tamaño de planta (cm), donde el mejor fertilizante foliar fue el POTAFOS (34% P y 45% K) en mezcla con CONTROL-N (35,3% N) empleado como fuente para adicionar el N. Las demás interacciones no aportaron diferencias importantes al desarrollo inicial del cultivo, valorado por el tamaño y grosor de los tallos. El tratamiento fertilizado al suelo fue superior. Concluyó el autor, que *“... con el aporte de microelementos por vía foliar no se alcanzó un incremento importante respecto a los testigos evaluados. Por los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que en la aplicación foliar se evidenció una leve respuesta con los fertilizantes fosforados en el crecimiento de las plántulas, superados estos tratamientos en forma significativa con la fertilización al suelo.”* Ratifica esta investigación la respuesta poco clara y carente de consistencia obtenida con la fertilización foliar.

Consecuentes con la importancia que los coadyuvantes tienen en las aplicaciones foliares, particularmente en plantas como la caña de azúcar caracterizadas por su amplia área de biomasa y cerosidad de su estructura, se evaluaron diferentes adyuvantes con fertilizantes foliares fosforados en el desarrollo inicial de la caña de azúcar cultivada en condiciones de invernadero en Santa Gertrudis Sur de Grecia (999 msnm), utilizando un suelo Ultisol. Cuando las plántulas de caña tuvieron 6 hojas verdaderas se les aplicó una solución provista de un producto foliar con alto contenido de P y otro de N acompañado de un tratamiento adicional (adyuvante) que permitiera una mayor penetración del fertilizante a la planta. La evaluación biométrica se efectuó un mes posterior a la aplicación. Los productos evaluados fueron: 1) Control-N (10 ml/l) con adición de N ureico y soluble, 2) Tech Spray Hi K (1-4 l/ha) que incorporó P y K, 3) POTAFOS 45 (0,5 l/200 l) con P-K, aminoácidos, ácidos fúlvicos

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

y azúcares invertidos y 4) CAFESA 12-61-0 (15 g/l) que incorporó N y P. Adicionalmente como coadyuvantes se emplearon el Acidificante Indicate (20 gotas/l), Penetrante WK (1 ml/l) y Megafol (4 l/ha).

El resultado del estudio indica que no hubo diferencias estadísticas significativas tanto entre los tratamientos foliares, como tampoco entre los coadyuvantes evaluados. El mejor tratamiento fue el testigo fertilizado al suelo y entre los tratamientos foliares, la aplicación del producto Tech Spray Hi K con acidificación del medio, el cual es un tratamiento competitivo. Concluye el autor, que *“...la acidificación del medio pareciera que ayuda en obtener una mejor efectividad. En general se observa que a pesar de no presentarse diferencias significativas con los resultados obtenidos dejan prever que con adyuvantes es posible mejorar la penetración y con ello obtener resultados más positivos con la fertilización foliar.”*

Ampliando las valoraciones foliares en sus diferentes componentes, presenta Alfaro (2017) los resultados de un interesante estudio donde se evaluaron diferentes productos adyuvantes (encapsuladores), agregados con la fertilización foliar fosfórica y nitrogenada en los brotes iniciales de la caña de azúcar desarrollada en condiciones de invernadero. Recuerda el autor que la caña es catalogada como una planta de difícil adsorción de nutrientes por la vía foliar. Se evaluó el aporte de diferentes adyuvantes en el aprovechamiento de dos fertilizantes foliares para el desarrollo de plántulas del clon Mex 70-485 reproducidas por cultivo de tejidos y sembradas en un suelo del orden Ultisol. Se aplicaron y evaluaron productos fosforados y nitrogenados como Tech Spray Hi K (6 l/ha), con un contenido de 43,3% de P₂O₅ y 46,6% de K₂O; y como complemento el producto Control-N (2 l/ha) que contiene 9,82% de N-ureico y un 25,42 % de N-soluble.

Se utilizaron dos Testigos: uno absoluto y otro fertilizado con 10-30-10. Se agregaron

adicionalmente 12 productos comerciales diferentes seleccionados y calificados por sus características como adyuvantes con la finalidad de mejorar la penetración y el transporte de nutrimentos en la planta, actuando como acidificantes, con aporte de aminoácidos, ácidos húmicos y fúlvicos, bioestimulantes regenerativos, también los que favorecieron la incorporación de N,P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn, Mn y Mo. Dichos productos fueron: Indicate pH 5 (15 ml/l), Da Plus (1,5 ml/l), Pescagro (3 l/ha), Bionitrogen (2 kg/ha), Nutri Full (5 cc/l), Pass 80 (1 cc/l), Sinergipron (5 ml/l), Megafol (2 l/200 l), P Energetic (1 ml/l), P Energetic (3 g/l), Protifert LMW (2 l/ha) y Protifert K (2 l/ha). El estudio evaluó un total de 15 tratamientos. La aplicación se realizó cuando las plantas presentaban 6 hojas desarrolladas.

Los resultados indican que hubo significancia estadística al 9%, siendo el mejor tratamiento: Tech Spray Hi K (6 l/ha) + Control-N (2 l/ha) + Pescagro (3 l/ha); seguido por Tech Spray Hi K (6 l/ha) + Control-N (2 l/ha) + Da Plus (1,5 ml/l), que superaron a los Testigos, al actuar incorporando el primero N-Total (6,28%), N-Orgánico (4,71%), N-Insoluble (1,57%), P₂O₅ (1,15%), K₂O (1,23%), Ca (0,225%) y Mg (0,155%), respectivamente; el segundo producto (Da Plus) actuó como coadyuvante. Queda demostrado que no todos los productos existentes en el comercio tienen efectos positivos sobre la planta de caña, lo que justifica tener prudencia en esta materia.

Continuando con la misma línea de investigación se estudió en Turrialba, Cartago, durante tres cosechas de campo, el efecto de diferentes productos foliares y de suelo recomendados por diferentes casas comerciales, formulados a base de aminoácidos, hormonas, ácidos húmicos y micronutrimentos, los cuales son promocionados con el fin de inducir un mayor desarrollo del cultivo mediante una mejor nutrición y estímulo al sistema radicular (Alfaro 2017). La prueba de campo se estableció en la finca Canadá propiedad del Ingenio Atirro (740 msnm) con las variedades comerciales B 77-95 y

B 76-259. Se evaluaron con 3 repeticiones 6 tratamientos según empresa: 1) FERBA (Protifert LMW 2 l, Sulfato Zn 22% 1 kg, Sulfato Mg 4 kg, Ácido Bórico 1 kg, Ácido Cítrico pH 4,5-5, WK 150 ml), 2) AGROCOSTA (Algasoil 100 kg/ha), 3) AGRIAL (Sinergipron 2 l/ha, Megafol 2 l/ha), 4) MASADA SA (Trimat 3 l/ha, PGR 1,5 l/ha, 12-10-2 + Microelementos), 5) PCD (Bionitrogen 2 kg/ha, Tech Spray Hi K 2 l/ha) y 6) Testigo (10-30-10 400 kg/ha, Nutrán 300 kg/ha, 15-3-31 400 kg/ha).

El resultado observó luego de tres cosechas diferencias significativas solamente entre las dos variedades evaluadas, siendo B 76-259 superior en el rendimiento industrial y el tonelaje de caña. En la variedad B 77-95 los tratamientos de las compañías FERVA y AGROCOSTA presentaron un leve incremento productivo; el PCD fue el de más baja efectividad, menor al testigo. FERVA logró la mayor productividad promedio en ambas variedades con una media de 16,8 t azúcar/ha (B 76-259) y 15,1 t (B 77-95). Como se infiere de estos resultados, la respuesta de la caña no es tan clara y contundente a la adición de productos comerciales, lo que debe llamar a la prudencia en su uso; asimismo, como sucede con la nutrición el material genético empleado es determinante en la respuesta final.

Concluye Chaves (2021b) al valorar la opción técnica, señalando, que *“...la aplicación foliar de productos nitrogenados como la urea no han demostrado ser lo suficientemente eficientes y rentables para pretender complementar y, menos aún, sustituir las aplicaciones de N granular al suelo.”*

Luego de recabar, resumir e interpretar el resultado de varias investigaciones realizadas y resumidas algunas de ellas anteriormente, empleando diferentes fertilizantes foliares y bioestimulantes aplicados a la caña en condiciones de campo e invernadero, distanciadas en el tiempo, con variedades diversas, ubicadas en condiciones agroclimáticas muy disímiles y heterogéneas, en diferentes estados fenológicos de la planta y evaluando

productos de diferente formulación y contenido, Alfaro (2017) llega a conclusiones importantes las cuales por su trascendencia se transcriben a continuación:

- 1) Ante la poca o ninguna respuesta a la aplicación de los fertilizantes foliares en la caña de azúcar, es posible que presente limitaciones específicas de tipo fisiológico ligada a una limitada penetración y movilidad de los nutrientes por el floema.
- 2) En las etapas tempranas de crecimiento, quedó demostrado que no existe superioridad entre la fertilización foliar y la aplicación al suelo, siempre y cuando se suplan los nutrientes adecuados en cantidad, época y balance.
- 3) La fertilización foliar debe considerarse por lo tanto como un suplemento de la fertilización al suelo y nunca como un sustituto de ésta.
- 4) Existen etapas particulares en el crecimiento del cultivo durante las cuales la fertilización foliar complementaria tiene una ventaja clara, pero para ello es necesario conocer bien la



SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

fenología y la forma de lograr una mayor penetración foliar para que esta sea realmente efectiva.

- 5) Se debe tener en cuenta que la fertilización foliar es específica en términos de cultivo, nutriente, variedad y época de aplicación durante el ciclo de crecimiento. No es correcto generalizar, y aún en éstas condiciones las técnicas de aplicación pueden variar.
- 6) Es importante tomar en cuenta que en los cultivos semi perennes la concentración de nutrientes en hojas y otros órganos fluctúan con la etapa de crecimiento y la presencia de los rebrotes estacionales. Por ejemplo, la cepa actúa como un gran reservorio de nutrientes y salvo que el cultivo se encuentre en suelos de muy baja fertilidad, esta situación podría ser la causa de la baja respuesta a ciertos nutrimentos secundarios y terciarios.
- 7) Para mejorar la eficacia de los fertilizantes foliares se requiere de una sólida comprensión de los principios químicos, físicos, biológicos y ambientales que rigen la absorción, la translocación, y la utilización de los nutrientes de aplicación foliar por las plantas. Existen nuevas formulaciones y fuentes de fertilizantes con mayores eficiencias de absorción. Ejemplo de estos nuevos productos son las formas quelatadas de elementos menores, la combinación con adyuvantes como los órgano-siliconados e inclusive la aplicación foliar de péptidos de cadena corta y aminoácidos libres.

Conclusión

No cabe duda de que la nutrición y la fertilización de la caña de azúcar es una de las áreas de oportunidad más sencillas y accesibles que existen para procurar optimizar los costos de producción asociados y maximizar el potencial productivo agroindustrial del cultivo. Esta verdad ha gestionado y habilitado la búsqueda de alter-

nativas nutricionales eficientes, rentables y efectivas para nutrir las plantaciones sea incorporando los elementos por el suelo o en su caso por la vía foliar. Por esta razón, los fertilizantes se han convertido en uno de los insumos fundamentales que han adquirido notable importancia en tiempos recientes, pero, paradójicamente a la vez, precios muy elevados en los últimos años, como acontece precisamente en este momento a nivel mundial, como resultado de una crisis económica, comercial y geopolítica global vinculada con el insumo. Ante esta situación los productores agropecuarios han optado por no aplicar o reducir las dosis de los fertilizantes, provocando e induciendo con ello una mala nutrición de las plantas y por ende un bajo rendimiento de campo.

La fertilización foliar es ciertamente una técnica más entre varias que existen y recomiendan para impactar y mejorar la nutrición y la productividad de las plantas, aunque vale reconocer, muy utilizada para suministrar nutrientes a los cultivos; pese a lo cual, al menos en el caso particular de la caña de azúcar, está suficientemente demostrado por la investigación, no reemplaza en absoluto la nutrición convencional operada mediante la incorporación de los nutrimentos al suelo y su consecuente asimilación por las raíces. En la caña, las cantidades normalmente implicadas en la producción del cultivo son altas y muy superiores a las que podrían absorberse por las hojas de la planta, razón por la cual la vía foliar debe considerarse apenas como una técnica accesoria y suplementaria, o mejor aún, complementaria de un programa de fertilización comercial, utilizándola exclusivamente para atender periodos críticos de crecimiento, en momentos de demanda específica de algún nutriente, en casos de tener situaciones adversas del suelo que comprometan la nutrición del cultivo y, muy especialmente, cuando deban incorporarse micronutrimentos deficientes y/o indisponibles para la caña.

Mediante la aplicación de los nutrimentos vía foliar es posible contrarrestar y superar las limitaciones propias y particulares que presenta la fertilización tradicional incorporada en forma granular o líquida al suelo, como son las provocadas por la lixiviación (lavado), la insolubilización y precipitación de fertilizantes, el antagonismo existente entre determinados nutrientes, los suelos heterogéneos que son inadecuados para incorporar dosificaciones bajas y las diversas reacciones de fijación/absorción que se dan en el substrato, que integradas a las de gasificación generan pérdidas significativas inductoras además de graves problemas de contaminación hídrica y atmosférica (Gases con Efecto Invernadero). Es definitivo que éste método de aplicación permitiría sortear una serie de problemas que se encuentran en las aplicaciones edáficas

La fertilización foliar puede ser utilizada para superar problemas existentes en las raíces cuando éstas sufren una actividad limitada debido a la presencia de temperaturas bajas/altas (<10°, >40°C), falta de oxígeno en campos inundados o compactados, ataque por plagas y patógenos que dañan el sistema radicular, y consecuentemente provocan una reducción en su actividad metabólica desarrollada durante las etapas iniciales del desarrollo en las cuales buena parte de los fotoasimilados es transferida para acompañar los procesos vitales de la planta. La nutrición foliar ha probado ser la forma más rápida y eficaz para atender y curar las deficiencias de nutrientes, adicionar elementos menores y acelerar la condición fisiológica de las plantas en determinadas etapas fisiológicas.

El resultado de la investigación y la opinión de muchos técnicos calificados reconoce pese a todo, que la absorción de los nutrimentos esenciales incorporados a través de las hojas en el caso particular de la caña de azúcar no representa la forma más apropiada y conveniente para nutrir las plantaciones comerciales. Se aduce que la hoja tiene una

función específica y especializada al actuar como la fábrica proveedora de los carbohidratos requeridos por la planta para su funcionamiento vital y, no otra, como la pretendida con la absorción de nutrientes. A pesar de esas circunstancias y opiniones, las características anatómicas y fisiológicas especiales propias de la planta y su sección foliar; hacen de la misma una estructura de condiciones favorables para habilitar la absorción, transporte y asimilación de los nutrimentos de mayor demanda requeridos por el vegetal de acuerdo con sus necesidades.

Resulta válido, razonable y muy sensato preguntarse con sentido realista y muy objetivo en torno al tema aludido y desarrollado en el presente documento, respecto a si **¿Es posible mantener una plantación de caña de azúcar satisfactoriamente nutrida y en niveles competitivos exclusivamente por medio de la modalidad foliar?** La respuesta es bastante sencilla y concluyente, simplemente NO. Varias razones, circunstancias y argumentos pueden mencionarse como fundamento para dar cuerpo y contenido a tan contundente aseveración: 1) la nutrición es un concepto integral y continuo que opera durante todo el ciclo vegetativo de la planta y no a partir del momento en que la planta cuenta con biomasa foliar para ser atendido; 2) la caña de azúcar es un cultivo semiperenne de ciclo largo (12-24 meses) que utiliza altas cantidades de nutrientes, motivo por el cual sus requerimientos nutricionales son, como está ampliamente demostrado, mayoritariamente muy elevados (80-300 kg/ha); 3) satisfacer esos requerimientos implicaría tener en la práctica que fraccionar y realizar una cantidad muy alta de aplicaciones foliares que convierten la técnica en inviable y económicamente onerosa; 4) la opción de emplear soluciones concentradas para elevar el suministro queda fuera de posibilidad por efectos fitotóxicos a los tejidos y 5) la amplia extensión física (ha) y alta heterogeneidad de las áreas involucradas imposibilita que las aplicaciones y distribución del producto sean todo lo deseado y equilibrado posible.

En el mismo sentido cabe preguntarse con sentido pragmático **¿Reemplaza la fertilización foliar a la fertilización aplicada al suelo?** La respuesta es otro contundente NO. Esto por cuanto la fertilización aplicada vía foliar es por sus características básicamente complementaria y suplementaria de la fertilización granular al suelo, nunca sustitutiva, al menos en la caña de azúcar; además de que se emplea en los momentos críticos y en situaciones donde la absorción radicular por alguna razón no supe los requerimientos básicos del cultivo, o cuando las condiciones climáticas y ambientales no favorecen la acción del fertilizante adicionado al suelo y su transformación a formas asimilables con la rapidez y en el momento oportuno. En aquellos casos donde se tengan problemas de suelo, la fertilización foliar es una opción atractiva y efectiva para los productores.

En el caso de macronutrientes tales como el nitrógeno, fósforo y el potasio, se reconoce que la fertilización foliar solo puede complementar, pero en ningún momento sustituir la fertilización al suelo. Esto se debe como se indicó, a que las dosis posible aplicar vía foliar son muy pequeñas en comparación con las dosis aplicadas al suelo para obtener buenos rendimientos; lo contrario implicaría realizar muchas aplicaciones. No puede dejar de mencionarse y reiterarse que la fertilización foliar por lo general se realiza para suplir y corregir deficiencias de elementos menores como zinc y boro, donde se han encontrado respuestas satisfactorias en Costa Rica.

Mucho se comenta en torno a la relación fertilización al suelo vs fertilización foliar, generando y recomendando improcedentemente hasta proporcionalidades entre ambas. Se aduce teóricamente que si aplicó más foliar requiero entonces incorporar menos fertilizante al suelo y viceversa, cuando lo cierto y demostrado es que la fertilización al suelo en la caña de azúcar es insustituible, particularmente en el caso de los macronutrientes, lo que habilita las aplicaciones mixtas como

convenientes. Una buena fertilización base al suelo es un seguro necesario para optimizar el uso de los nutrientes foliares.

La aplicación foliar de productos fertilizantes puede potencialmente contribuir a incrementar de forma importante los rendimientos agroindustriales en el cultivo de la caña, aunque como se indicó, solo debe considerarse como el suplemento de un programa de nutrición balanceada de productos aplicados al suelo, basado en objetivos y metas productivas realistas de rendimiento. No puede nunca olvidarse que la modalidad foliar debe emplearse exclusivamente en plantaciones con atención tecnológica y dotadas de potencial comprobado de productividad, y no como una simple moda cuando el manejo y la condición de la plantación es deficiente. La prudencia, el cuidado y la sensatez son los ingredientes primarios para que la modalidad foliar adquiera sentido pragmático, técnico y económico.

Como corolario concluyente de todo lo apuntado a través del presente documento y como una recomendación importante a considerar, debe mencionarse que **hay sobre el tópico foliar mucha información técnica seria y responsable incierta y en conflicto, que apunta sobre las ventajas y también las desventajas que ofrece la fertilización foliar como opción tecnológica y práctica agrícola en el cultivo de la caña de azúcar.** En lo personal, la experiencia y el amplio recorrido internacional en el cultivo le ha demostrado al autor de este documento, como puede constatar, que los grandes centros mundiales de investigación y tecnología asociados con el cultivo de la caña de azúcar poco investigan y menos recomiendan sobre esta modalidad nutricional, lo cual por consulta expresa realizada en su oportunidad, atribuyen debido a la baja respuesta obtenida con la práctica. Sin embargo y pese a todo, las pruebas científicas indican que la fertilización foliar es un método potencialmente viable y útil para mejorar la productividad en algunas

circunstancias especiales, motivo por el cual debe revisarse profunda y ampliamente. Es conveniente, sin embargo, tener una actitud recelosa, prudente y juiciosa caso se pretenda incursionar en la modalidad foliar, pues los resultados experimentales revelan mucha inconsistencia que deja un espacio válido a la desconfianza, la duda y el escepticismo.

Es evidente que no todos los productos ofertados por el comercio agrícola funcionan como se desea, espera y pregona, independientemente de su naturaleza, origen y composición, lo que debe evitar adquirirlos solo por el discurso bonito y convincente de los responsables de sus ventas, que basados en la presunta benevolencia que la simple diversidad nutricional pueda generar como justificante. Un contenido no asegura necesariamente actividad y efectividad fisiológica y nutricional. No puede tampoco omitirse que hay otros factores bióticos y abióticos propios de la planta (variedad, edad, estado fenológico), atribuibles a las condiciones ambientales, la formulación, su preparación y aplicación que también intervienen de forma determinante; al igual que los adyuvantes empleados y el estado nutricional y fitosanitario de la plantación por atender.

De acuerdo con el interesante detalle técnico mostrado por Alfaro (2017) en su estudio, existían en ese momento disponibles en el mercado agrícola nacional, un total de 74 productos comerciales diferentes cuyo contenido permitía la bioestimulación e incorporación de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, B, Mn, Fe, Si y Mo, lo que evidencia la dificultad de seleccionar el mejor y el más adecuado sin contar con indicadores referentes válidos y aceptados.

El mejor argumento y la mejor recomendación debe sin embargo partir insoslayablemente de los órganos técnicos oficiales responsables de apoyar al productor de caña de azúcar en el país, no necesariamente de los comerciales con intereses creados; en este caso el Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de

Azúcar (DIECA). Dicha gestión institucional gira con base en resultados obtenidos a partir de investigación desarrollada con rigor científico y resultados objetivos y representativos que fortalezcan las recomendaciones. Esto conlleva a la obligación sectorial e institucional de que DIECA desarrolle un programa continuo de investigación sobre nutrición del cultivo, que involucre este tema en todas sus variantes y factores influyentes. De no ocurrir esto el tema se mantendrá en una completa anarquía y desconcierto en perjuicio directo del sector productor.

De los muchos factores que actúan como limitantes para que la ruta foliar sea efectiva, reconocida y aceptada, no hay duda de que, en el camino de los nutrientes aplicados por esa vía, la cutícula es la que presuntamente ofrece la mayor resistencia a su penetración e ingreso, lo cual sugiere que es donde se debe concentrar y orientar buena parte de la investigación, buscando romper y superar ese impedimento. La investigación sobre adyuvantes es por esta razón determinante y obligada. Es importante investigar también la respuesta individual y combinada de nutrientes, buscando encontrar para cada condición el sinergismo apropiado. En esta materia, debe tenerse presente que el azufre (S) como ión acompañante es muy efectivo y de muy alta respuesta en la caña como ha sido ampliamente demostrado, lo que debe separarse para no confundir efectos y dar créditos a elementos que no los tienen.





Literatura citada

- Alexander, A. 1986. *Optimum timing of foliar nutrient sprays*. In: *Foliar fertilization*. Editor A. Alexander. Developments in Plant and Soil Sciences. Martinus Nijhoff Publishers. The Netherlands. p: 44-60.
- Alfaro P., R. 2017. *Fertilización Foliar en la Caña de Azúcar*. Avances en Investigación. Grecia, Alajuela, Costa Rica. LAICA-DIECA, enero. 68 p.
- Angulo Marchena, A.; Chaves S., M.; Guzmán S., G. 2006. *Fertilización foliar con Boro y Zinc en caña de azúcar, efecto sobre los rendimientos agroindustriales*. Promedio de tres cosechas. Cañas, Guanacaste. En: Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 16, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 16. Heredia, Costa Rica, 2006. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), agosto. Tomo II. p: 819-825.
- Camargo, P.N.; Silva, O. 1975. *Manual de Adubação Foliar*. São Paulo: Editora y Distribuidora HERBA Ltda. 258 p.
- Chaves Solera, M. 1999. *El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.

Chaves S., M.; Barrantes M., J.C. 2003. *Efecto del Zinc aplicado al suelo y foliar, sobre la producción agroindustrial de la variedad de caña de azúcar SP 71-5574 en un Ultisol de Pérez Zeledón*. Promedio de cuatro cosechas. En: Congreso de ATACORI "Ing. Agr. José Luis Corrales Rodríguez", 15, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2003. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 289-294.

Chaves Solera, M.; Barrantes Mora, J.C. 2007. *Nutrición de la caña de azúcar en la Zona Sur de Costa Rica: experiencias continuadas durante el periodo 1986-2006*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 30 p.

Chaves Solera, M.A. 2018. *Genética aplicada a la mejora de las plantaciones comerciales 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. 2019. *Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica*. En: Seminario Internacional: Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica. Hotel Condovac La Costa, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2019. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 15, 16 y 17 de octubre, 2019. 114 p.

Chaves Solera, M.A. 2020a. *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. 2020b. *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. 2020c. *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. 2021a. *Estrés mineral y caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(11): 5-21, mayo.

Chaves Solera, M.A. 2021b. *Factores que intervienen y modifican la eficiencia y efectividad de la fertilización y los fertilizantes nitrogenados en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(13): 5-20, junio.

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

- Chaves Solera, M.A. 2021c. *¿Cuánto Nitrógeno se aplica en las plantaciones comerciales de caña de azúcar en Costa Rica?* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(17): 5-26, agosto.
- 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. 2021e. *Amonificación y volatilización de nitrógeno en suelos cañeros.* Boletín Agroclimático (Costa Rica) 3(21): 6-22, octubre.
- Coleti, J.T. 1989. *Adubação Foliar em Cana-de-Açúcar: Uma experiência da Usina São José de Macatuba-SP.* Em: Adubação Foliar. Coordinado por Antonio Enedi Boaretto e Ciro Antônio Roselem. Campinas, Brasil, Fundação Cargill. p: 401-415.
- Demattê, J.L.I. 2019. *Adubação foliar e teor de potássio em cana planta e soca - antes e após a não queima da cana.* Revista STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos 37(3): 30-35. Jan-Fev.
- Devlin, R.M. 1975. *Fisiología Vegetal.* Barcelona, Omega. p: 256-280.
- Dirección Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. 1991. *Informe Anual de Labores 1990.* San José, Costa Rica. DIECA-LAICA. 179 p.
- Dirección Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. 1994. *Informe Anual de Labores 1993.* San José, Costa Rica. DIECA-LAICA. 245 p.
- Epstein, E.; Bloom, A. 2006. *Nutrição Mineral de Plantas: Principios e Perspectivas.* 2 edic. Trad. María Edna Tenório Nunes. Londrina, Brasil. Editora Planta. 403 p.
- Figueiredo, P.A.M. 2013. *Falando de Cana: Fisiologia da Produção Agrícola "Particularidades do controle estomático".* Revista STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos 31(6): 61-62. Julho-agosto.
- Figueiredo Filho, C.P.; Lima, D.F. 2014. *Experiencia del ingenio Serra Grande en nutrición foliar.* En: Congreso de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe, 9, 2014, San José, Costa Rica. Memoria. Heredia, Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe (ATALAC), agosto. p: 143-156.
- Filho, J.O. 2003. *Boro e Zinco em Cana-de-Açúcar.* En: Congreso de ATACORI "Ing. Agr. José Luis Corrales Rodríguez", 15, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2003. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 207-208.
- García Casado, E. 2017. *Evaluación del efecto del fertilizante foliar compuesto por boro al 10% y molibdeno al 0,2% en tres dosis como madurante en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum spp.), diagnóstico y proyectos ejecutados en administración Taxisco, Ingenio Magdalena S.A., Santa Rosa, Guatemala, C.A.* Trabajo de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Área Integrada, septiembre. 95 p.
- Gauch, H.G. 1972. *Inorganic plant nutrition.* Stroudsburg, Dowdon, Hutchinson & Ross.
- Hewitt, E.J.; Smith, T.A. 1974. *Plant mineral nutrition.* London, English Universities. p: 29-81.
- Humbert, R.P. 1974. *El Cultivo de la Caña de Azúcar.* 4ta Impresión. México, Compañía Editorial Continental. p: 264-275.
- IAA/PLANALSUCAR. 1983. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.* Coordenação: José Orlando Filho. Piracicaba, Brasil. 369 p.
- Lopes, A.S. 1991. *Micronutrientes: filosofia de aplicação, fontes, eficiência agrônômica e preparo de fertilizantes.* In: Micronutrientes na Agricultura. Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. da (Edi). Piracicaba: POTAFOS/CNPq. p: 357-409.
- Lorenzetti, J.M.; Coleti, J.T. 1981. *Adubação Foliar em Cana-de-Açúcar: Uma experiência da Usina São José-Macatuba/SP.* Em: Simpósio de Adubação Foliar. 1º. Coordinado por Antonio Enedi Boaretto e Ciro Antônio Roselem. Campinas, Brasil. Anais. FEPAF, Botucatu. p: 32-50.
- Malavolta, E. 1980. *A absorção de elementos pelas folhas.* Em: Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. E. Malavolta. São Paulo: Editora Agrônômica Ceres Ltda. p: 80-94.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants.* Second edition. London: Academic Press. 889 p.
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. 2001. *Principles of plant nutrition.* 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 849 p.
- Mocellin, R.S.P. 2004. *Princípios da Adubação Foliar.* Coletânea de dados e revisão bibliográfica. Canoas, Niterói-RS. OMEGA Fertilizantes. 83 p.
- Morelli, J.; Demattê, J. L. I.; Dalben, A. E. 1997a. *Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta: aplicação no solo.* Revista STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 15.
- Morelli, J., Demattê, J.L.I.; Nelli, E. 1997b. *Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta e cana-soca: aplicação foliar.* Revista STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 16.

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

Muñoz Álvarez, M.A. 2015. *Evaluación de la respuesta del cultivo de caña de azúcar (Saccharum spp) a la aplicación de boro foliar, Finca Polonia, la Democracia, Escuintla*. Diagnóstico y servicios realizados en el área de suelos y fertilidad del Departamento de Investigación y Desarrollo Agrícola del Ingenio Magdalena S.A, Guatemala, C.A. Trabajo de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Área Integrada, octubre. 113 p.

Pantaleón P, G.; Reyes, E.E.; Lorenzo, E. 2015. *Respuesta de la fertilización foliar nitrogenada de liberación controlada como complemento en la nutrición de la caña de azúcar en Central Motzorongo S.A. de C.V.* Consultado el 28 de diciembre 2021. Disponible en: <https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/4-NUTRICI%C3%93N-2015.pdf>.

Penatti, C.P.; Forti, J.A. 2001. *Adubação com nitrogênio e potássio em cana planta e cana soca*. Safras 98/99, 99/00 e 00/01. Relatório Interno Copersucar-RT 1022. Copersucar, Piracicaba-SP. Abr. 52 p.

Penatti, C.P.; Forti, J.A. 2005. *Adubação foliar com micronutrientes em cana planta e cana soca na Usina Catanduva*. Relatório Interno Copersucar-RT 1022. Copersucar, Piracicaba-SP. Jan. 3 p.

Penatti, C.P. 2013. *Adubação Aérea em Cana de Açúcar - Mitos e Verdades*. Revista STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos 31(6): 61-62. Julho-agosto.

Penatti, C.P. 2018. *Adubação foliar: "a salvação do canavial?"*. Revista STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos 36(4): 16-18. Mar-Abr.

Penatti, C.P. 2019. *Novembro, Dezembro e Janeiro Período de Aplicação da Adubação Foliar*. Revista STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos 38(2): 14-16. Nov-Dez.

Rosolem, C.A. 2002. *Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar*. Lavras, Minas Gerais. Dissertação Universidade Federal de Lavras. Especialização em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio. 98 p.

Sequeira, V. 2001. *Validación de resultados de campo por uso de Zinc y Boro Foliar en caña de azúcar*. Ingenio Taboga, Cañas, Guanacaste, Costa Rica. QUELAGRI. p: 1-3.

Simpósio Brasileiro de Adubação Foliar. 1989. *Adubação Foliar*. Volume I e II. Antônio Enedi Boaretto e Ciro Antônio Rosolem. Botucatu, 28 de setembro a 1º de novembro 1987. Campinas, São Paulo, Brasil. Fundação Cargill. 669 p.

Singh, N.B.; Singh, R.G.; Ali, S.A. 1985. *Response of sugarcane to foliar fertilization of nitrogen at different moisture streasse*. Indian J. of Agr. Sci 55 (9): 582-585.

Trejo-Téllez, L.I.; Rodríguez-Mendoza, M.N.; Alcántar-González, G. 2013. *Fertilización Foliar*. En: Nutrición de Cultivos. 1ª edición. Coord. Gabriel Alcázar González y Libia I. Trejo Téllez. México, Colegio de Postgraduados. p: 325-371.

Thuljaram, R.J. 1951. *Xeromorphic adaptations in sugarcane for resistance to drought*. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Tech., Brisbane, august 7: 82-89.

Trivelin, P.C.O.; Matsui, E.; Coleti, J.T. 1983. *Absorção pela cana de açúcar da uréia aplicada por via foliar, considerando a ocorrência de chuvas a diferentes intervalos de tempo da aplicação*. Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Curitiba/PR.

Trivelin, P.C.O.; Coleti, J.T.; Matsui, E. 1985. *Absorção e perdas de uréia aplicada por via foliar na cana de açúcar (Saccharum spp), considerando a ocorrência de chuvas a diferentes intervalos de tempo de aplicação*. Revista STAB 3(3): 12-16.

Trivelin, P.C.O.; Fortes, C.; Simões, M.S.; Penatti, C.P. 2005. *Volatilização de amônia associada à forma de aplicação de uréia em solo coberto com palha de cana-de-açúcar*. Em: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30, Recife, PE.

Van Dillewijn, C. 1952. *Botany of Sugarcane*. Chronica Botanica Co, Waltham Mass. 520 p.

Willmer, C.M. 1983. *Los Estomas*. 1ª edición. Buenos Aires, Argentina. Librería agropecuaria S.A. 192 p.



Sabe a lo
que nunca
has probado!
Nuevas bebidas instantáneas



Bajo en calorías

Con extracto de
Stevia

Descubrí tu sabor