

LA MEJORA GENÉTICA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN COSTA RICA

Marco A. Chaves Solera¹

Resumen

El programa de mejoramiento genético de la caña (*Saccharum* spp.) desarrollado en Costa Rica por el Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), órgano tecnológico de LAICA, conjuntamente con los Ingenios y empresas azucareras, introduce al país, fabrica, evalúa y selecciona nuevas variedades de alto rendimiento agroindustrial, que muestran tolerancia a las principales plagas y enfermedades; además de buena adaptabilidad a las diferentes y heterogéneas condiciones agroclimáticas, edáficas y de manejo prevalecientes en las seis regiones productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar (no de dulce), en procura de alcanzar niveles razonables de competitividad nacional e internacional. El documento comenta y analiza de manera sucinta, la estructura y orientación del Programa Nacional de Mejora Genética, exalta logros importantes y plantea algunos desafíos que enfrenta en la actualidad de cara al futuro. Se destacan los logros de la mejora lograda por la vía sexual por medio de la cual se fabrican clones nacionales registrados y reconocidos internacionalmente por la sigla LAICA, que están actualmente en activo crecimiento comercial; como también, se anotan adelantos tecnológicos relevantes implementados recientemente para atender las nuevas y dinámicas exigencias del entorno productivo y comercial mundial. DIECA opera un efectivo esquema de mejoramiento genético en principio convencional, que implica un periodo de 12 a 14 años para liberar una nueva variedad para uso comercial; el cual de acuerdo a las condiciones puede agilizarse y acortarse, elevando sin embargo el grado de riesgo. Con este esquema operativo, se ha logrado generar variedades nacionales que crecen año a año y ya inciden la superficie cultivada con caña en el país. Entre los retos más decisivos y perentorios

¹ Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Gerente. **Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)**, Costa Rica. E-mail: mchavezs@laica.co.cr. Teléfono (506) 2284-6066 / Fax (506) 2223-0839. Presentado *En*: **Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 28 p.**

se encuentra el incremento de la base genética y los rendimientos agroindustriales, sobre todo los de campo, a niveles muy superiores respecto a los actuales.

Introducción

La caña de azúcar es un cultivo de alta distribución mundial, siendo sembrado actualmente en más de 132 naciones de los cerca de 149 países y territorios distribuidos en los cinco continentes que fabrican, consumen y comercializan azúcar, la cual procede además de remolacha; lo que demuestra su reconocida capacidad de adaptación. Desde hace muchos años Brasil lidera la producción y exportación mundial del endulzante, seguido por la India, la Unión Europea, China, Tailandia, los EUA y México. A nivel continental Costa Rica ocupa el puesto 16 entre los 26 países reportados como productores de caña (CHAVES 2014b, 2016c).

El cultivo de la caña se extiende a lo largo de los trópicos y subtropicos entre los 37,7° Norte y hasta los 31° Sur, desde el nivel del mar hasta altitudes de 1.800 msnm. El potencial productivo de la planta es excepcional pero comercialmente muy volátil, ubicándose entre regiones cañeras tropicales y subtropicales en tonelajes promedio que varían entre 40 y 150 t/ha de caña y de 3,5 a 16 t/ha de azúcar. En Costa Rica, el cultivo de la caña es importante en términos financieros, sociales, culturales y productivos, por participar en una amplia cadena de valor (CHAVES 2016c). La producción se concentra y distribuye (CHAVES y CHAVARRÍA 2013) en seis regiones bien tipificadas: Pacífico Norte (Guanacaste), Norte (San Carlos, Los Chiles), Valle Central (Grecia, Alajuela, Atenas, Naranjo, Valverde Vega), Pacífico Central (Puntarenas), Turrialba-Juan Viñas y Zona Sur (Pérez Zeledón, Buenos Aires). La caña se cultiva en 6 provincias, 29 cantones y cerca de 98 distritos (CHAVES *et al* 2015).

La Región de Guanacaste es la más importante con una participación del 57,2% en la producción nacional de azúcar durante la Zafra 2015-2016, seguida por la Región Norte con el 11,2%, Valle Central con 8,9%, Zona Sur con 8,7%, el Pacífico Central con 8,4% y la región de Turrialba-Juan Viñas que participó con el 5,6% restante (CHAVES 2016c). La superficie cultivada en un piso altitudinal que va de 0 a aproximadamente 1.550 msnm se estima en 64.676 mil hectáreas de las cuales

aproximadamente el 91,5% equivalente a 59.161 hectáreas se cosecha anualmente (CHAVES *et al* 2015). Las condiciones edafo climáticas y de relieve donde se desarrollan las plantaciones son muy heterogéneas y disímiles, lo que introduce un factor de variabilidad muy elevado que obliga al tratamiento particularizado de cada condición y entorno productivo.

En las últimas 12 zafras (2002/2003 a 2014/2015) la producción de caña por hectárea ha presentado variaciones importantes en el país. El rendimiento promedio nacional de caña, mostrando grandes fluctuaciones, se redujo por diversas causas en ese periodo en -7,4% (-6,05 t/ha) en ese periodo, al pasar de 80,8 a 74,8 t/ha. La concentración promedio de sacarosa en los tallos por el contrario, se incrementó en un leve +0,85% (+0,89 kg/t) al pasar de 104,41 a 105,30 kg/t de caña procesada. La conjunción de esas dos variables como indicador de eficiencia productiva agroindustrial generó consecuentemente una disminución de -0,57 t/ha de azúcar, correspondiente a un -6,75%, al pasar de una productividad promedio de azúcar fabricado de 8,44 a 7,87 t/ha. Esos indicadores permiten inferir que la cantidad de caña requerida para fabricar una tonelada de azúcar en el Ingenio se incrementó en un 4% en el mismo periodo, encareciendo con ello la actividad al involucrar más materia prima (más costos por corta, carga, transporte, procesamiento y fabricación); esto al pasar de 9,58 a 9,96 toneladas de caña/ha (+0,38 t).

Son muchos los factores de naturaleza climática manifestados y expresados en prolongados e intensos periodos secos o por el contrario con exceso de lluvia, variación de las temperaturas mostrando sobre todo un incremento de las mínimas, alta floración por alteración del patrón lumínico, presencia de plagas y enfermedades, altos costos de producción, baja utilidad por bajos precios de liquidación final que poco incentivan y motivan a invertir en nueva tecnología, son solo algunos de los factores atribuidos a esa pérdida sistemática de productividad agroindustrial (CHAVES 2012b). Esa preocupante tendencia reductora debe ser revertida y superada en el corto-mediano plazo; para lo cual resulta estimulante y alentador el mejoramiento logrado en el país en materia de concentración de

sacarosa, lo que demuestra que disponer de buenas variedades y tecnología de manejo apropiada para cada condición permitirían alcanzar y concretar esa incuestionable meta, obviamente en un patrón de rentabilidad motivador y compensatorio del esfuerzo empresarial realizado (CHAVES 2011, 2016b).

Objetivo

Exponer y comentar genéricamente los criterios, procedimientos, metodologías y orientaciones básicas por las que transita actualmente el Programa Nacional de Mejoramiento Genético de Variedades de Caña de Azúcar desarrollado en Costa Rica por DIECA.

Caracterización de la Caña de Azúcar

La planta de caña de azúcar posee particularidades y propiedades muy exclusivas y especiales que la ubican en un biotipo diferente al de otros cultivos, como expresaran MONTENEGRO y CHAVES (2009, 2011), al asegurar que la caña es *“...una planta excepcional entre las plantas de uso comercial en consideración de poseer varias ventajas y atributos de índole anatómico y fisiológico que la tipifican y caracterizan, entre las cuales pueden citarse como sobresalientes las siguientes:*

- 1) *Dispone de un elevado Índice de Área Foliar ($IAF \approx 4-12 \text{ m}^2/\text{m}^2$) asimilador de luz que favorece y hace más eficiente la absorción de radiación solar (BARBIERI 1993).*
- 2) *Produce una gran cantidad de Materia Orgánica la cual reside en su alta Tasa de Fotosíntesis por unidad de superficie de terreno, que es influenciada a su vez por su alto IAF. Su producción máxima teórica de Materia Seca se reporta en 280 TM/ha/año.*
- 3) *La disposición vertical de sus hojas durante gran parte de su periodo de crecimiento, contribuye significativamente con los puntos anteriores.*
- 4) *Fotosintéticamente es una planta altamente eficiente que pertenece al grupo privilegiado de las Ciclo C4 (Vía Ácido Dicarboxílico).*

- 5) *Posee estructuralmente dos juegos de cloroplastos (Células del Mesófilo y Células de la Vaina Vascular) que promueven su alta eficiencia fotosintética en la captura y uso del CO₂, la cual se da por dos vías: a) Vía Normal C3 de Calvim y, b) Vía alternativa C4.*
- 6) *Es capaz de incrementar su Tasa Fotosintética por aumento de la luminosidad, por lo que califica como una planta típicamente de sol y de luz.*
- 7) *Posee un alto Punto de Saturación de Luz estimado en 6,5 a 150 Klux (≈ 65 a 1.500 Wm⁻²).*
- 8) *Posee un alto Punto de Compensación lo que le permite alcanzar altos valores de fijación de CO₂, lo que corresponde a eficiencias del 5-6% de conversión de energía solar.*
- 9) *Su velocidad de Fotosíntesis es cerca de 2-3 veces superior al de las gramíneas del tipo C3, presentando una capacidad fotosintética estimada en 100 mg de CO₂/dm²/hr.*
- 10) *Tolera condiciones extremas (altas y bajas) de temperatura. Se reporta alta tolerancia a temperaturas extremas de hasta 47°C y capacidad productiva, siempre que se utilice riego eficiente. Se estima que los 27°C constituyen la óptima para absorción de nutrimentos, por cuanto temperaturas debajo de 21°C retardan el crecimiento de las raíces, el cual se paraliza a los 10°C.*
- 11) *Tolera como está demostrado una condición hídrica extrema por varios días consecutivos (sequía, inundación).*
- 12) *Tiene capacidad y ventaja de poder fotosintetizar con los Estomas prácticamente cerrados, lo que duplica su eficiencia en el uso del agua y su transpiración relativa, en comparación con otras gramíneas del tipo C3.*
- 13) *No posee Respiración Aparente por lo que no “desperdicia energía metabólica potencial”.*

14) *Dispone de una enorme y reconocida capacidad para producir masa verde (Biomasa) compuesta fundamentalmente por almidones, azúcares (Reductores y No Reductores), compuestos lignocelulósicos y agua.*

15) *Dispone de un poderoso sistema radicular compuesto de tres tipos de raíces diferentes: a) Superficiales-ramificadas y absorbentes, b) de Fijación más profundas y c) Cordones que profundizan hasta 6 m. que le dan una enorme capacidad de exploración (vertical, horizontal) en el suelo y con ello absorción nutricional y de agua.*

16) *Posee una rusticidad y capacidad de adaptación (climática, edáfica y de manejo) a toda prueba, tal como está suficientemente demostrado a nivel de uso comercial.*

17) *Sus elevados requerimientos nutricionales son satisfechos en alto grado virtud de sus ventajas (puntos N° 13 y 14) anotadas anteriormente. Este atributo resulta sin embargo contraproducente virtud de que “agota los suelos” cuando no son complementariamente convenientemente fertilizados.*

18) *Posee la capacidad demostrada de Fijar Nitrógeno Atmosférico, con aportes importantes a su nutrición.*

19) *Para uso pecuario la caña posee y mantiene en periodos secos valores nutritivos y energéticos importantes que le proveen una interesante potencial de uso forrajero.*

20) *Su condición de planta Perenne le permite generar materia prima por retoñamiento luego de cada corte, por lo que no requiere inversiones y siembras sucesivas, sólo mantenimiento.*

Los parámetros ambientales que afectan de manera más marcada e incidente la Bioconversión de Energía en la caña de azúcar, son: 1) Luz (intensidad y calidad); 2) Concentración de CO₂; 3) Disponibilidad de agua; 4) Disponibilidad de nutrimentos, y 5) Temperatura, entre otras.”

En materia genética la planta de caña mantiene también excepcionabilidad al estar el Género **Saccharum** conformado por seis especies tropicales perennes asociadas, que le proveen una alta capacidad y potencial de recombinación al ser cruzadas entre si, generando una compleja descendencia. El Cuadro 1 presenta y caracteriza el Género en cada una de las seis especies identificadas por su componente cromosómico y su presunto origen.

Cuadro 1. Caracterización de las especies del género Saccharum.

Especie	Origen	Cromosomas
<i>S. spontaneum</i> L. *	Diverso	$2n = 40-120$
<i>S. robustum</i> Brandes & Jesw.ex Grassl *	Papua-Nueva Guinea, Indonesia	$2n = 60, 80$
<i>S. barberi</i> Jesw.	Norte de La India	$2n = 111-120$
<i>S. sinense</i> Roxb.	China	$2n = 81-124$
<i>S. edule</i> Hassk.	Papua-Nueva Guinea	$2n = 60-80$
<i>S. officinarum</i> L.	La India (?)	$2n = 80$
Variedades comerciales: Híbridos de: <i>S. officinarum</i> x <i>S. spontaneum</i>	Diversa	$2n = 100 e140$

* Especies Silvestres.

Dependiendo del cultivar, las plantas de caña pueden florecer con fotoperiodos próximos a 12,5 horas y temperaturas de 20 a 25°C; en inflorescencias tipo panícula con flores hermafroditas. La semilla de la caña debido a su baja viabilidad se utiliza solo en los programas de mejora genética. En costa Rica se estima que la diferenciación floral (paso de apical a floral) puede darse durante el mes de junio-julio y la emisión de la flor aparece en octubre-noviembre, lo cual depende de factores climáticos en particular la luz. La planta para uso comercial se reproduce en forma clonal, lo que provee gran estabilidad a sus características y atributos de interés comercial, perpetuando las mismas.

Antecedentes

El mejoramiento genético de caña de azúcar en Costa Rica se ha realizado tradicionalmente desde hace muchas décadas por la Vía Asexual mediante la clásica importación e introducción de clones promisorios y comerciales procedentes del exterior. Desde el año 2000 esa labor se complementa con trabajo nacional direccionado, mediante la denominada Vía Sexual (DURÁN y ALFARO 2013, OVIEDO y DURÁN 2015). Por antecedente los trabajos de selección desarrollados en los últimos 86 años (1930-2016) han permitido que muchas variedades del exterior se hayan introducido, evaluado, adaptado y seleccionado, llegando a dominar la superficie sembrada del país; así como más recientemente que materiales nacionales adquieran relevancia virtud de sus atributos agroproductivos sobresalientes (CHAVES 2006ab, 2010, 2012a, 2016d; CHAVES y BERMÚDEZ 2012).

Una revisión sinóptica de antecedentes demuestra la ardua labor de selección y el empleo de variedades sobresalientes en diferentes momentos históricos de nuestra agroindustria azucarera, como lo anotaran y detallaran CHAVES y BERMÚDEZ (2012), al señalar con base en información posterior al año 1930, que *“de acuerdo con información de la época, mayor presencia tuvieron en los campos de caña costarricenses, sobresaliendo los procedentes de Java, Australia, Barbados, La India, Hawái, Puerto Rico y Sudáfrica, entre otros. Fue sobresaliente al igual que aconteció en muchos países, el cultivo de las bien ponderadas variedades POJ36, POJ2714, POJ2725, POJ2878, Co213, Co281, CH1421, BH 10/12, que en complemento con las recordadas “cañas nobles” y otras con nombre propio, marcaron época. En Costa Rica las destacables POJ2714 y POJ2878 ingresaron en el año 1927.*

Es a partir de la década del año 50 cuando se inicia la introducción técnicamente direccionada de clones, ingresando al país materiales genéticos que marcarían historia, como aconteció con B43-62, B47-44, NCo310, Co419, Co421, Co617, H32-8560, H44-3098, H49-5, PINDAR y TROJAN, algunas de las cuales aún se siembran. En las décadas siguientes el ingreso de variedades de diverso origen y

características se incentiva fuertemente, impulsado por el auge que cobró la industria azucarera desde inicios de la década de los 60, debido a la reasignación de la Cuota Azucarera Norteamericana producto del rompimiento de relaciones EUA - Cuba, lo que favoreció la economía del país y promovió políticas específicas de fomento al cultivo de la caña. Esa situación coyuntural hizo que se incorporaran nuevas zonas productivas a las tradicionales. Inicialmente los clones provenientes de Barbados (B), Hawái (H) y Luisiana (L), sumados a los ya existentes, adquirieron especial relevancia por su buena adaptabilidad y comportamiento productivo. En los años 60 los productores disponían de pocas alternativas clonales para siembra. Posteriormente en las décadas 70 y 80 se incorporaron nuevos clones procedentes de Canal Point-USA (CP), Queensland-Australia (Q), São Paulo-Brasil (SP) y México (Mex), principalmente, que vinieron a introducir nuevo germoplasma con lo cual se amplió la capacidad de adaptación, fitosanidad y productividad”.

Fue a partir de los años 50 cuando la investigación adquiere en el país una visión más relevante, formal y restringida, pese a lo cual durante muchos años se trabajó en la validación y adaptación de materiales genéticos, que según los mismos autores anteriores *“El mecanismo era introducir masivamente y probar clones sin mayor rigor científico, bajo el principio de “prueba-error”, donde lo que servía destacaba por sus atributos y era reproducido, y lo que no se descartaba. La selección de las variedades se daba con fundamento más en experimentar que en investigar.”*

Con la reactivación de la Sección de Caña en el MAG en el año 1980 y la creación de DIECA en mayo de 1982, se impulsa, dinamiza y fortalece de manera significativa la gestión investigativa y de capacitación tecnológica. Antes de la creación de DIECA toda la labor de mejora genética en el país se concentraba en el MAG, con el apoyo de algunos Ingenios y Cámara de Productores de Caña, la cual permitió seleccionar y disponer para uso comercial variedades importantes que constituyeron la base de nuestra estructura productiva, como fueron: B 37-61, B 41-227, B 43-62, B 47-44, B 49-119, B 50-135, B 50-377, B 51-129, B 54-142, B 55-227, B 57-150, B 60-125, B 60-267, B 61-208, B 74-132, B 76-259, Co210, Co213,

Co281, Co419, Co421, Co617, CP 50-28, CP 57-603, CP 72-1210, CP 72-1312, CR 61-01, H 50-7209, H 32-8560, H 37-1933, H 44-3098, H 49-5, H 49-104, H 57-5174, H 59-3775, H 60-8521, L 60-14, L 60-125, M 336, Mex 57-473, Mex 58-1230, NCo 310, NCo 376, PR 980, PINDAR, Q 68, Q 76, Q 88, Q 96, SP 70-1143 y SP 70-1284, entre otras.

La Vía Sexual de creación y consolidación más reciente, realiza cruzamientos con progenitores conocidos generalmente obtenidos del Banco Nacional de Germoplasma, procurando transmitir a sus progenies descendientes las bondades y propiedades favorables de los mismos, lo cual no siempre se logra pese al esfuerzo técnico realizado. Los cruces son direccionados y predeterminados con base en los atributos y antecedentes productivos conocidos de los progenitores utilizados (OVIEDO y DURÁN 2013, 2015, DURÁN y OVIEDO 2013, 2015). De acuerdo con CHAVES y BERMÚDEZ (2012) *“el programa vía sexual inició formalmente a partir de 1982 mediante la adquisición de semilla verdadera (fuzz) proveniente del Brasil y México. En 1998 se realizaron las primeras pruebas de hibridación en el país que culminaron con los cruzamientos dirigidos, lo que se fortaleció luego del año 2000.”* En la actualidad el programa de hibridación luego de 16 años de labor formal, continua y sistemática define los progenitores, realiza los cruzamientos y produce la semilla sexual que luego de germinada se utiliza en las diferentes fases de selección sucesiva implementada en todas las regiones.

Conceptualización Programática

Los principios filosóficos y la orientación técnica institucional de la gestión desarrollada por DIECA en materia de variedades, es simple y fácil de comprender, pues parte de la imperiosa y obligada necesidad de identificar materiales genéticos que puedan acondicionarse y adaptarse satisfactoriamente a las notables diferencias y heterogeneidad que presentan los entornos productivos de nuestra agroindustria azucarera; esto para satisfacer las exigentes condiciones de calidad y competitividad impuestas por el comercio actual.

Las divergentes y contrastantes condiciones agroclimáticas, de suelos y de manejo tecnológico, las cuales imponen serías restricciones, limitan por razones

estratégicas disponer de pocos materiales homogéneos y adaptables a las mismas, lo cual obliga a ampliar y diversificar la oferta varietal para procurar ser efectivos. Una revisión detallada en lo concerniente a: altitud de plantaciones (msnm), lluvia (mm), temperaturas (°C), luminosidad (hr), viento (km/h), humedad (%), topografía (pendiente), potencial mecanizable, periodo seco, caracterización físico-química y microbiológica de los suelos, profundidad de los mismos, fertilidad potencial y actual, disponibilidad y potencial de riego y/o drenaje, actualidad fitosanitaria, maduración natural, duración del ciclo vegetativo, floración, distancia de las plantaciones a los ingenios, condición de las vías de comunicación, costos involucrados, potencial productivo agroindustrial, disponibilidad de mano de obra, entre otros, ratifican esa imperiosa necesidad tecnológica y comercial.

Lo anterior aunado al hecho de que los problemas de índole fitosanitaria, principalmente los vinculados con enfermedades, son resueltos por la agroindustria mediante sustitución de las variedades susceptibles por otras de mayor tolerancia, lo que obliga a mantener continuidad y sistemática en las acciones tecnológicas orientadas a identificar clones para uso comercial. La labor de mejora genética no se detiene.

Acciones Operativas

Como se anotó anteriormente, el Programa de Mejora Genética desarrollado por el sector azucarero costarricense por medio de DIECA, ha operado de forma organizada, sistemática y efectiva durante los últimos 34 años, realizando la labor por dos vías estratégicas: a) Asexual, mediante la tradicional importación de clones del exterior procedentes de otros programas afines amigos, para lo cual se tienen suscritos Convenios Cooperativos, y b) Sexual, siguiendo el estricto protocolo de cruzamiento e hibridación direccionado en función de los intereses nacionales virtud de nuestras necesidades, demandas y condiciones particulares de producción. El programa sexual emplea como progenitores en los cruzamientos realizados anualmente, muchos de los clones de cultivo comercial existentes en el país y también los adquiridos del exterior, virtud de sus características y atributos positivos; la mayoría demostrados en su comportamiento comercial.

Lo anterior sugiere que el programa nacional de mejoramiento requiere ampliar y diversificar permanentemente su base genética, buscando introducir heterogeneidad en los materiales empleados como potenciales progenitores, haciendo menos vulnerable el sistema productivo a los embates de naturaleza tanto biótica como abiótica. Para ello, se cuenta como instrumentos operativos institucionales con una Estación de Cuarentena Abierta (\approx 268 msnm) ubicada en Guápiles, Limón; propiamente en la Estación Experimental “*Los Diamantes*” perteneciente al MAG. La etapa previa de Cuarentena Cerrada con los clones recién importados, se realiza en la Estación de DIECA en Grecia (999 msnm). Adicionalmente DIECA dispone de un amplio Banco de Germoplasma (CHAVES 2013), situado en terrenos de la Universidad Técnica Nacional (10 msnm) en Cañas, Guanacaste, donde se encuentran cultivados actualmente 1.049 materiales genéticos de diferente origen, naturaleza y características que son empleados en el trabajo genético. Esos clones proceden de 4 continentes, 28 países y pertenecen a 75 siglas descriptivas diferentes como muestra de su diversidad.

La labor de cruzamiento es operada en la unidad de hibridación ubicada en la Estación Experimental de DIECA en Santa Gertrudis Sur de Grecia (999 msnm); sin embargo, desde el año 2015 se hacen pruebas de eficiencia (floración, viabilidad de polen, efectividad de cruzamientos) en una nueva unidad actualmente en prueba y evaluación, situada en las instalaciones de LAICA ubicadas en Barranca, Puntarenas (\approx 10 msnm), las cuales de ser favorables permitirían realizar a futuro cruzamientos exclusivos para la región cañera del Pacífico Seco (Guanacaste + Puntarenas). La exclusividad de la experiencia se fundamenta en la pretensión técnica de realizar hibridación con criterios propios aplicables para esa importante región productora.

El programa de mejora varietal opera por Fases (1,3, 4 y 6) continuas y sucesivas que inicia a partir de las plántulas germinadas, sean estas originadas a partir de esquejes introducidos o de la semilla sexual (“*fuzz*”) producto de los cruzamientos. Dichas plántulas luego de sembradas en el campo en las localidades de interés y conocidos como “*Viveros Primarios*”, siguen un proceso de evaluación y selección

sistemática y continua identificando y seleccionando los clones más promisorios virtud de sus características y propiedades agroindustriales y fitosanitarias. Dichas Fases incrementan sucesiva y selectivamente la cantidad de material vegetativo utilizado, lo que incorpora mayor representatividad a las inferencias generadas. El proceso de selección finaliza en la Fase 6, la cual consiste por lo general de parcelas de 5 surcos de 10 m de largo por clon, las cuales son replicadas 3 o 4 veces y evaluadas al menos durante cuatro cosechas consecutivas; aquí aplica el análisis estadístico y la medición de variables de calidad de jugos (Brix (%), Pol (%), Pureza (%), Fibra (%)) y de producción agroindustrial de caña, azúcar (t/ha) y rendimiento industrial (kg/t caña).

Fitosanidad: un indicador determinante y decisivo de selección

Como se anotó, la tolerancia a patógenos importantes que afectan e impactan severamente el cultivo, provocando pérdidas productivas y económicas de grado variable según la susceptibilidad e intensidad del ataque, constituye un factor prioritario y determinante en la selección de un clon promisorio para posible uso comercial. Las enfermedades más importantes que afectan las plantaciones de caña son numerosas, provocadas por varios agentes. Entre las mismas pueden citarse las siguientes: Fungosas: Roya Café (*Puccinia melanocephala* H. Sydow y P. Sydow), Roya Naranja (*Puccinia kuehnii* (Krüger Butler)), Carbón (*Sporisorium scitaminea* Sydow), Cogollo Retorcido o Pokkah Boeng (*Fusarium moniliforme*), Mancha de Anillo (*Leptosphacteria sacchari*), Mancha Parda (*Cercospora longipes* E. Butler) y Mancha Púrpura (*Dimeriella sacchari*); Bacteriales: Raya Roja (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*), Raquitismo de la Soca (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*) y Escaldadura Foliar o de la Hoja (*Xanthomonas albilineans*); Virales: Mosaico (SCMV) y Hoja Amarilla (SCYLV), entre otras. Con las plagas acontece algo similar pues está demostrada la mayor susceptibilidad y preferencia de algunas plagas hacia ciertas variedades.

Experiencia con Roya Naranja en el país

Un hecho trascendente acontecido en el año 2007 marcó un hito en el presente y futuro institucional del Programa de Mejora Genética de la caña desarrollado por

DIECA. Acontece que en julio de ese año apareció sorpresivamente en la región cañera sur (cantones de Pérez Zeledón y Buenos Aires), una afección foliar con lo que por antecedente presumía y sugería ser Roya Café, enfermedad provocada por un hongo del género *Puccinia melanocephala*, la cual era conocida desde inicios de la década de los años 80 en el lugar y el país (CHAVES 2008a). El problema rápidamente se tornó grave y ya para el 2008 impactaba numerosas plantaciones comerciales de caña del lugar con ataques de +37% de Área Foliar Afectada (AFA); también en otras zonas del país (San Carlos, Valle Central) el hongo se había diseminado, lo que resultó sorpresivo y muy preocupante por la severidad y agresividad que mostró la enfermedad. Esta situación indujo movilizar con carácter emergente los equipos técnicos de DIECA en procura de diagnosticar y tratar de atender y resolver el problema con la prioridad y agilidad que ameritaba.

Acontece que en junio del 2007 la presencia del patógeno se había reportado por primera vez en el Continente Americano, afectando plantaciones de caña del Estado de Florida, EUA, lo que era atribuido presumiblemente a la temible Roya Naranja, variación del género *Puccinia* perteneciente a la especie *kuehnii*. Dicho patógeno tenía como antecedente nefasto haber destruido durante la Zafra 2000-2001 plantaciones en varios países de Asia y Oceanía, muy especialmente impactando a la connotada y desarrollada agroindustria azucarera australiana, que cultivaba en este caso la reconocida variedad Q 124 la cual resultó altamente susceptible con pérdidas entre 40-50%. La enfermedad al no haber sido identificada aún en ese momento en el Continente Americano, constituía una preocupante novedad fitosanitaria. Cabe destacar que la especie *P. kuehnii* era conocida y reportada desde hacía muchas décadas atrás, sin antecedente destructivo que preocupara a la agroindustria azucarera mundial.

La rápida acción institucional de DIECA permitió corroborar mediante el envío de muestras evaluadas por marcadores moleculares a la Colección Nacional de Hongos, dependencia jurisdiccional del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA), la presencia de la Roya Naranja en el país, lo que

tornaba como grave la situación virtud de que la Región Sur cultivaba predominantemente (cerca del 98%) la variedad SP71-5574, altamente susceptible, en consideración de su excelencia agroindustrial, tal como razonara, explicara amplia y oportunamente CHAVES (2008a). Esta variedad por su excelente adaptación alcanzaba con facilidad altas concentraciones de sacarosa que permitían enfrentar con éxito parcial las difíciles condiciones del mercado nacional, impuestas por la distorsión comercial conocida como "extracuota" con afectación económica directa para el productor que imponía y justificaba sembrar lo mejor. Se determinó en el año 2008 una capacidad reductora de producción de la enfermedad de hasta el 47%.

Ante el serio problema fitosanitario, rápidamente se formuló y desarrollo en la región un ambicioso y completo Plan de Acción Institucional en el cual participaban organismos sectoriales y locales vinculados con la agroindustria azucarera; con un valioso y decidido apoyo del MAG (COMISIÓN 2008; BARRANTES y CHAVARRÍA 2008; CHAVES 2008bc). Se conforma así la Comisión para la Vigilancia de Plagas y Reactivación Cañera de la Región Sur, integrada por LAICA-DIECA, COOPEAGRI EL GENERAL R.L., la Cámara de Productores de Caña de la Zona Sur, el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), concentrando esfuerzos en el trabajo conjunto sobre el plan de acciones propuesto y avalado (COMISIÓN 2008). El Plan contenía y proponía acciones en varias áreas como la investigación, el financiamiento por medio del Sistema de Banca para el Desarrollo (SBD), la inmediata readecuación de deudas, el apoyo técnico e institucional al agricultor, la reproducción *in vitro* y la producción de semilla básica y comercial, entre otras, como lo apuntaran CHAVES (2009); BARRANTES (2009); BARRANTES y CHAVARRÍA (2009). En La Gaceta N° 201 del viernes 17 de octubre del 2008 se promulgó mediante Decreto Ejecutivo N° 34.791-MAG la Declaratoria de **“Emergencia Fitosanitaria en los cantones de Pérez Zeledón y Buenos Aires en la Zona Sur, y San Carlos y Los Chiles en la Zona Norte por la presencia de la plaga *Puccinia kuehnii* (Roya Naranja)”**.

En materia tecnológica las acciones tomaron dos rutas principales: 1) identificar medidas de reducción y erradicación del problema fitosanitario y productivo, lo que incluía soluciones químicas (fungicidas), orgánicas (abono), de manejo agronómico para bajar la presión de inóculo, y 2) encontrar rápidamente variedades tolerantes a la enfermedad que pudieran sustituir el clon SP 71-5574 sin perder capacidad productiva, lo cual representaba un difícil reto a sabiendas de que la selección y liberación de una variedad comercial implica entre 10 y 12 años de labor investigativa continua (BARRANTES y CHAVARRÍA 2009).

Lo preocupante de la situación prevaleciente era el poco tiempo disponible y la magnitud del problema existente. Durante la Zafra 2007-2008 la producción se redujo respecto a la Zafra anterior 2006-2007 en un -26,67% en la caña procesada y un -25,08% en el azúcar fabricada, correspondiente a -79.754 TM y -177.234 Bultos de azúcar (96° Pol) de 50 kg, respectivamente, lo que era económicamente muy significativo para la región y sus productores al perderse cerca de dos mil millones de colones. La productividad agrícola durante esa zafra (2007-2008) pasó de 59 t/ha a 44,8 t/ha para un significativo descenso del -24,07% (-14,2 TM/ha) afectando severamente la rentabilidad de la agroindustria (CHAVES 2008a).

La acción técnica rápida y muy efectiva de DIECA con el apoyo de las instancias locales hizo que en el término de dos años ya se contará con alternativas genéticas muy efectivas por su calidad, como fue la pronta liberación y rápida reproducción de las variedades: LAICA 03-805, LAICA 04-825, LAICA 05-802, LAICA 05-811, CP 87-1248, B 89-1351, PR 79-3009 y Q 96, que mostraban tolerancia a la enfermedad, las cuales permitieron recuperar rápidamente la capacidad productiva de la región. Para la Zafra 2015-2016 los índices de productividad agroindustrial revelan el importante mejoramiento alcanzado donde la caña procesada paso de 219.324 TM a 307.118 TM, para un incremento del +40,03% correspondiente a +87.794 TM. Complementariamente el azúcar fabricado creció de 528.582 Bultos a 776.773 Bultos para un incremento de +248.191 Bultos equivalentes a un significativo +46,95% (BARRANTES 2009; BARRANTES y CHAVARRÍA 2008, 2009).

El componente varietal de la región cambio radicalmente y se dinamizó al pasar de un 98% la siembra del clon SP 71-5574 en el año 2007, a un 96,2% en el 2000, 95,6% en 2003, 96,8% en 2007 y caer al 28,5% en el 2010 y apenas un 1,21% en el año 2013, según datos recabados de los Censos de Variedades realizados por DIECA. Hoy día la Región Sur cuenta con varias opciones genéticas de cultivo para condiciones diferentes, dominadas por las variedades: LAICA 04-825, Q 96, LAICA 05-805, LAICA 04-809 y CP 87-1248, entre otras; la recordada SP 71-5574 forma apenas parte de la historia (CHAVARRÍA *et al* 2016). Como se infiere, la capacidad investigativa y tecnológica nacional aunada a la conjunción e integración de esfuerzos locales y nacionales por objetivos comunes, le permitió a la Región Cañera Sur mantenerse como zona productora competitiva pues caso contrario, inobjetablemente hubiera desaparecido ante el severo impacto de la Roya Naranja. La gestión desarrollada y logros alcanzados en la Región Cañera Sur demuestran y exaltan la importancia del trabajo continuo y sistemático en mejora genética en caña de azúcar, pues el peligro de una enfermedad siempre está latente, sobre todo en un entorno productivo tan heterogéneo y sensible como el nacional.

Origen del material genético

Por las razones anteriores, el origen y la procedencia del material genético que ingresa al país para valorar su capacidad potencial de adaptación y ser a la vez empleado en el programa anual de cruzamientos, es muy variable, procurando con ello disponer de componentes genéticos heterogéneos validados y adaptados a condiciones similares a las prevalecientes en nuestras regiones, zonas y localidades productoras de caña de azúcar. Es en la variabilidad donde está la oportunidad y la posibilidad de encontrar clones diferentes con potencial comercial.

Según CHAVES (2016ae) *“La procedencia de los clones introducidos a Costa Rica es amplia muy diversa como lo anotara CHAVES (2016d), aunque por lo general proceden de los organismos con los cuales LAICA mantiene relación formal mediante acuerdos y convenios, como acontece con el U.S. Department of Agricultural Research Service-Canal Point (USDA-ARS-SAA); U.S. Department of*

Agricultural Research Service–Louisiana (USDA–ARS–SAA); la Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombes” de Tucumán, Argentina (EEAOAC); el Hawaii Agriculture Research Center (HARC); la Fundación para la Investigación Azucarera del Ecuador–Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CINCAE); el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA); la Compañía Azucarera “La Estrella S.A.” de Panamá; el Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar de México (CIDCA); el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba (INICA); la Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Sêtor Sucroalcooleiro (RIDESA); el Centro Tecnologia Canavieira (CTC) de Brasil y el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Actualmente se tienen muy adelantadas las negociaciones para traer próximamente clones del Sugar Research de Australia (SRA).”

Al mes de setiembre del 2016 DIECA ha importado desde su creación hace 35 años en el mes de mayo de 1982, un total de 2.047 clones, lo que revela un promedio de introducción de 58,5 clones por año. La procedencia de ese material es amplia como demuestra el hecho de provenir de 4 continentes, 29 países y pertenecer a 86 siglas descriptivas diferentes, lo que denota la variabilidad del componente genético introducido y evaluado en el país.

Según CHAVES (2016d) *“Fundamentalmente el mejoramiento genético de la caña de azúcar busca identificar variedades cada vez mejores que vengán a sustituir los clones de uso comercial del momento que han entrado en etapa de declinación productiva, o que por alguna razón bien fundamentada se estima necesario y prudente reponer.”*

¿Qué sembramos actualmente en Costa Rica?

Con relación a los materiales genéticos de caña de azúcar más empleados y sembrados comercialmente en Costa Rica durante el año 2013, según el Censo realizado en ese año (CHAVES 2014ab, 2015), 117 variedades ocuparon el 100% del área consultada, y 15 variedades (Cuadro 2) representaron el 77,7% de la superficie cultivada, siendo la CP 72-2086, NA 56-42 y B 82-333 las principales al

representar el 34,6% de la misma. Se ratifica con esto la heterogeneidad existente y el gran trabajo de mejora desarrollado. En el año 2016 los clones son los mismos variando solo en su representación porcentual.



Importante indicar que los clones nacionales sigla LAICA ya aparecen nombrados y van en franco crecimiento en su área de siembra, la cual se estima próxima a 3.900 hectáreas, como acontece con LAICA 01-604, LAICA 03-805, LAICA 04-809 y LAICA 04-825. Anteriormente se han utilizado otros materiales como LAICA 82-135, LAICA 82-1729, LAICA 85-653 y LAICA 87-601. Actualmente pueden citarse como promisorios por región con alto potencial de uso comercial futuro los siguientes: PACÍFICO SECO: LAICA 08-390, LAICA 09-370, LAICA 09-374, LAICA 12-340, LAICA 12-341 y LAICA 12-339; ZONA NORTE: LAICA 08-390, LAICA 12-340, LAICA 12-341, LAICA 05-805, LAICA 06-328 y LAICA 10-809; VALLE CENTRAL: LAICA 07-26, LAICA 07-20, LAICA 12-340, LAICA 13-76 y LAICA 13-67; ZONA SUR: LAICAA 07-801, LAICA 11-857 y LAICA 11-863; TURRIALBA: LAICA 10-207, LAICA 09-278 y LAICA 12-340 (OVIEDO y DURÁN 2013, 2015; DURÁN y OVIEDO 2013, 2015).

Cuadro 2. Variedades de caña de azúcar cultivadas comercialmente en Costa Rica, Año 2013.

N°	Variedad	% Parcial	% Acumulado
1	CP 72-2086	12,6	12,6
2	NA 56-42	12,0	24,5
3	B 82-333	10,0	34,6
4	CP 72-1210	8,2	42,8
5	Mex 79-431	6,5	49,3
6	SP 81-3250	4,3	53,6
7	Q 96	4,1	57,7
8	NA 85-1602	3,4	61,1
9	RB 86-7515	3,4	64,5
10	B 80-689	3,1	67,6
11	B 76-259	2,2	69,8
12	H 77-4643	2,2	72,0
13	SP 81-2068	1,9	73,9
14	PR 80-2038	1,9	75,8
15	SP 80-1284	1,9	77,7

Fuente: Censo Nacional de Variedades Sembradas (2013).

Retos y desafíos

Las necesidades y demandas tecnológicas traducidas y conceptualizadas como retos y desafíos son múltiples y muy variados, como se anota en el Cuadro 3, los cuales deberán ser obligadamente atendidos en procura de satisfacerlos.

Cuadro 3. Desafíos tecnológicos necesarios resolver y satisfacer en el cultivo.

Ambientales	Insumos y Recursos	Manejo Agronómico
Tolerancia a la sequía	Ahorro y uso eficiente del agua	Clones para abrir zafra
Tolerancia al exceso de humedad	Maximizar el potencial genético	Clones para media zafra
Tolerancia al choque térmico	Optimizar necesidades nutricionales	Clones para cerrar zafra
Tolerancia a la acidez del suelo	Maximizar la concentración de sacarosa en los tallos y el tonelaje de caña en el campo	Clones para suelos pesados
Tolerancia a plagas y enfermedades	Homogeneidad productiva	Clones de alto despaje para cosecha mecanizada en verde
Alta eficiencia fotosintética	Bajos requerimientos de insumos	Vida comercial prolongada

* El orden no implica prioridad.

Conclusiones

Las conclusiones más relevantes y trascendentes sobre el tema abordado son las siguientes:

- 1) La variedad constituye uno de los factores de mejora productiva más importantes y determinantes, que, además, no requiere incorporar inversiones extras para su implementación. El trabajo en variedades es un buen negocio virtud de su alto valor agregado y elevada tasa de retorno.
- 2) La bondad y el beneficio que aporta la siembra de una buena variedad se expresa y manifiesta en plantaciones comerciales dotadas de una alta rusticidad y capacidad de adaptación agroclimática, edáfica, fitosanitaria y en la alta calidad agroindustrial de la materia prima producida, la cual será empleada en la extracción y fabricación del azúcar en el ingenio.
- 3) Las condiciones agroproductivas de la caña prevalecientes en el país son muy variables y heterogéneas, como lo demuestra el hecho de cultivarse en un piso altitudinal amplio que va de 0 a aproximadamente 1.550 msnm, desarrollarse en pendientes planas y mecanizables como también en otras muy quebradas (+30%), sembrarse la planta en seis ordenes dominantes y versátiles de suelo (Inceptisol, Ultisol, Andisol, Vertisol, Mollisol y Entisol), con presencia de regímenes de lluvia (1.100 a 4.200 msnm) y temperatura (12-36°C) muy diferentes; además de otras variables igualmente

determinantes. La cosecha de plantaciones presenta también modelos comerciales de corta manual, mecánica, quemada y en verde que inducen variación. El nivel tecnológico resulta igualmente revelador por sus contrastantes variaciones. Esta variabilidad obliga al trabajo por ambientes y entornos productivos, lo que sugiere la necesidad de disponer de varias opciones varietales.

- 4) La base productiva de la caña de azúcar en Costa Rica está sustentada según el Censo Varietal del 2013 en la siembra de 11 variedades que ocupan cerca del 70% del área sembrada, reportada en aproximadamente 58.560 has; siendo que 7 de ellas ocupan el 57,7% (33.789 has) de la misma.
- 5) Las 7 variedades más cultivadas actualmente en Costa Rica son: CP 72-2086, NA 56-42, B 82-333, CP 72-1210, Mex 79-431, SP 81-3250 y Q 96, entre otras 110 identificadas; de las cuales 23 superan el 1% (585,60 has) de cultivo.
- 6) Actualmente se encuentran en crecimiento comercial activo, entre otros, los clones nacionales LAICA 01-604, LAICA 03-805, LAICA 04-809 y LAICA 04-825, principalmente. Tiempo atrás fueron sembradas con éxito relativo otros clones nacionales, como fueron LAICA 82-135, LAICA 82-1729, LAICA 85-653 y LAICA 87-601. De igual forma, pueden ubicarse como clones promisorios (2) y en fase avanzada de selección los siguientes según región: PACÍFICO SECO: LAICA 08-390 y LAICA 09-374; ZONA NORTE: LAICA 08-390 y LAICA 12-340; VALLE CENTRAL: LAICA 07-26 y LAICA 07-20, ZONA SUR: LAICA 07-801 y LAICA 10-804 y TURRIALBA: LAICA 10-207 y LAICA 09-278; los cuales podrían perfilarse en muy poco tiempo como las variedades comerciales del momento.
- 7) Actualmente se vienen incorporando con el objeto de hacer comercialmente más efectivo, rápido y pragmático el sistema de selección, mejoras de fondo al programa en varias áreas técnicas puntuales, como son: a) selección por ambiente de cultivo (suelos francos y pesados, sin riego y alta precipitación, zonas de altura, alta pendiente, alta acidez, baja fertilidad, en verde, etc.), b) incremento de la presión de selección (más clones evaluados), c)

optimización del periodo de madurez respecto al inicio, fase media y final de la zafra, d) estricta y selecta selección de progenitores empleados en la hibridación, e) producción de alto tonelaje de caña y azúcar, f) aptitud para la cosecha mecanizada (verde y quemada), entre otros.

- 8) Se espera en el corto-mediano plazo (2-3 años) estar trabajando intensamente, luego de establecer, aplicar y ajustar los protocolos respectivos, en el área de la biología molecular; de tal manera que permita conocer la identidad genética de los materiales reproducidos por el Programa de Variedades. Se espera desarrollar la selección de variedades asistida por medio de marcadores moleculares y con ello lograr la caracterización de variedades élite. Ya DIECA dispone del equipo requerido y se está actualmente en fase de implementación y estudio del sistema.
- 9) Se estima necesario transcurrir un periodo de investigación, validación y reproducción vegetativa de 10-12 años, al igual que acontece en otros centros mundiales, para identificar y liberar clones con potencial comercial demostrado. Se puede acortar tiempo aumentando riesgo, lo que dependerá de la contraparte. Para ello, se pueden reproducir, incrementar y validar clones promisorios de forma complementaria al proceso sistemático de investigación y ganar así tiempo valioso.
- 10) El tiempo transcurrido (16 años) de intenso trabajo en hibridación puede considerarse aún corto, motivo por el cual los logros alcanzados son razonablemente buenos pero aún insuficientes y no satisfactorios. El programa es aún joven. Hay que seguir trabajando con tecnicismo pero sobre todo de manera integrada y articulada. La responsabilidad no es solo de DIECA.

Literatura Citada

- 1) BARRANTES MORA, J.C.; CHAVARRÍA SOTO, E. 2008. **Informe. Acciones Estratégicas Realizadas y en Proceso como Respuesta para Enfrentar el Ataque de Roya en la Zona Sur.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio. 26 p.

- 2) BARRANTES MORA, J.C.; CHAVARRÍA SOTO, E. 2009. **ROYA NARANJA (*Puccinia kuehni*) EN CAÑA DE AZÚCAR: Caracterización y Estrategia de Control**. INFOAGRO COSTA RICA. Información Insumo para la Competitividad. Centro de Información ASA Pérez Zeledón. Boletín Informativo N° 6, noviembre. p: 1.
- 3) BARRANTES MORA, J.C. 2009. **CRISIS Y REACTIVACIÓN CAÑERA EN LA REGIÓN SUR (PÉREZ ZELEDÓN Y BUENOS AIRES)**. INFOAGRO COSTA RICA. Información Insumo para la Competitividad. Centro de Información ASA Pérez Zeledón. Boletín Informativo N°10, diciembre. 2 p.
- 4) CHAVARRÍA S., E.; BARRANTES M., J.C.; VILLALOBOS M., C.L.; VALVERDE A., W. 2016. **Actualización de la reacción a la roya naranja (*Puccinia kuehni*) de las principales variedades comerciales y promisorias de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en ciclo de caña planta en Costa Rica**. Revista "Entre Cañeros" N° 5, San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, agosto. p: 36-52.
- 5) CHAVES SOLERA, M. 2006a. **Importación de variedades de caña de azúcar a Costa Rica por parte de DIECA. Periodo 1982-2006**. 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: 566-574.
- 6) CHAVES SOLERA, M. 2006b. **Importancia de las variedades de caña de azúcar como factor de productividad y competitividad agroindustrial**. Revista de Agricultura y Ganadería de Centroamérica (Costa Rica), 1er Aniversario. San José. p: 58-60.
- 7) CHAVES SOLERA, M. 2008a. **¿Por qué se cultiva predominantemente una sola variedad de caña de azúcar en la zona sur de Costa Rica?** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. 24 p.
- 8) CHAVES SOLERA. 2008b. **Plan Estratégico y Plan de Acción previsto desarrollar para atender y contrarrestar la presencia de la roya naranja (*Puccinia kuehni*) en las plantaciones de caña de azúcar de Costa Rica**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, 31 marzo. 8 p.
- 9) CHAVES SOLERA, M. 2008c. **Estrategia general para contrarrestar la presencia de la roya naranja (*Puccinia kuehni*) en Costa Rica**. San José,

Costa Rica. LAICA-DIECA, abril. Presentación Electrónica en Power Point. 42 Láminas.

- 10) CHAVES SOLERA, M. 2009. **Informe técnico. Incidencia de la roya naranja (*puccinia kuehni*) en las plantaciones de caña de azúcar de Costa Rica. Medidas para su control.** San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, enero. Presentación Electrónica en Power Point. 61 Láminas.
- 11) CHAVES SOLERA, M. 2010. **Dinámica y evolución del cambio de variedades de caña de azúcar en Costa Rica.** Congreso Tecnológico DIECA 2010, 4, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 22, 23 y 24 de setiembre del 2010. Presentación Electrónica en Power Point. 115 Láminas.
- 12) CHAVES SOLERA, M. 2011. **Reactivación de la producción de caña: un desafío y una necesidad para la agroindustria azucarera nacional.** Boletín Informativo “*Conexión*”, Número 4, Enero-Agosto 2011, LAICA, San José, Costa Rica. p: 17-20.
- 13) CHAVES SOLERA, M. 2012a. **Dinámica de las variedades comerciales de caña de azúcar en Costa Rica: análisis por sigla de origen. Periodo 1986-2010.** Congreso Azucarero Nacional ATACORI “*Alex Soto Montenegro*”, 19, Condovac La Costa, Guanacaste, Costa Rica, 2011. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 4 y 5 de octubre del 2012. Presentación Electrónica en Power Point. 62 Láminas.
- 14) CHAVES SOLERA, M. 2012b. **Sector azucarero costarricense: una agroindustria dinámica en activa evolución y crecimiento.** Congreso Azucarero Nacional ATACORI “*Alex Soto Montenegro*”, 19, Condovac La Costa, Guanacaste, Costa Rica, 2011. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 4 y 5 de octubre del 2012. Presentación Electrónica en Power Point. 115 Láminas.
- 15) CHAVES SOLERA, M.; BERMÚDEZ LORIA, A.Z. 2012. **Dinámica de cultivo comercial de las variedades de caña de azúcar en Costa Rica: análisis histórico.** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe (ATALAC), 8, y Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA), 9, Santiago de Cali, Colombia, 2012. Memorias. Cali, Colombia, ATALAC/TECNICAÑA, setiembre 12 al 14, Centro de Eventos Valle del Pacífico. Tomo I Campo. p: 151-169.

- 16) CHAVES SOLERA, M.A. 2013. **Composición del banco de germoplasma de caña de azúcar de Costa Rica**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, enero. 28 p.
- 17) CHAVES SOLERA, M.; CHAVARRÍA SOTO, E. 2013. **¿Cómo se distribuye y dónde se cultiva territorialmente la caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica?** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 19, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 20, “MSc Marco A. Chaves Solera”. Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2013. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 11-13 de setiembre. Tomo I. p: 179-203.
- 18) CHAVES SOLERA, M.A. 2014a. **Dinámica de las variedades de caña de azúcar cultivadas comercialmente en la región de Guanacaste, Costa Rica**. 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: 59-68.
- 19) CHAVES SOLERA, M. 2014b. **Entorno comercial regional y competitividad azucarera costarricense**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 50 Láminas.
- 20) CHAVES SOLERA, M. 2015. **Principales variedades de caña cultivadas comercialmente en algunos países de tradición azucarera del continente americano**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 25 p.
- 21) CHAVES SOLERA, M.; BERMÚDEZ ACUÑA, L.; MENDEZ PÉREZ, D. 2015. **Análisis de resultados agroindustriales finales de la zafra 2014-2015**. Boletín Informativo “Conexión”, Número 9, Enero-Diciembre 2015, LAICA, San José, Costa Rica. 31 p.
- 22) CHAVES SOLERA, M. 2016a. **¿Con quiénes se vincula y relaciona institucionalmente DIECA en materia tecnológica?** Revista “Entre Cañeros” N° 4, San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, abril. p: 4-10.
- 23) CHAVES SOLERA, M.A. 2016b. **Competitividad: imperativo insoslayable para que el agro continúe vigente y crezca**. Revista Germinar, Órgano Informativo Oficial del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, Año 6, Edición N° 19, mayo. p: 6-7.

- 24) CHAVES SOLERA, M.A. 2016c. **Las agroindustrias de los países de ATALAC**. Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y El Caribe (ATALAC), 10, y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM), 38. Panel. Setiembre 2016, Veracruz, México. Presentación Electrónica en Power Point. Láminas.
- 25) CHAVES SOLERA, M.A. 2016d. **Origen y procedencia de los clones importados por LAICA para selección nacional**. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 37 p.
- 26) CHAVES SOLERA, M.A. 2016e. **Importación responsable de clones de caña de azúcar**. Revista "Entre Cañeros" N° 5, San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, agosto. p: 18-22.
- 27) COMISIÓN PARA LA VIGILANCIA DE PLAGAS Y REACTIVACIÓN DE LA ACTIVIDAD CAÑERA DE LA REGIÓN SUR. 2008. **INFORME. Resultados del Estudio de la Situación de la Roya Naranja (*Puccinia kuehni*) en el cultivo de la Caña de Azúcar en los Cantones de Pérez Zeledón y Buenos Aires**. San Isidro de El General, Costa Rica, setiembre. 21 p.
- 28) DURÁN ALFARO, J.R.; OVIEDO ALFARO, M. 2013. **Importancia y resultados del programa de producción de variedades nacionales (sigla LAICA) en Costa Rica**. Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 19, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 20, "MSc Marco A. Chaves Solera". Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2013. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 11-13 de setiembre. Tomo I. p: 233-239.
- 29) DURÁN ALFARO, J.; OVIEDO ALFARO, M. 2015. **La hibridación de la caña de azúcar en Costa Rica. ¿Qué se ha hecho?** Congreso Tecnológico DIECA 2015, 6, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 20 y 21 de agosto. 16 p.
- 30) MONTENEGRO BALLESTERO, J.; CHAVES SOLERA, M. 2009. **Emisión de gases por la caña de azúcar: propuesta metodológica para realizar un balance de carbono**. Congreso Azucarero ATACORI "Cooperativa Agrícola Industrial El General R.L.", 17, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José,

Costa Rica, 2009. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 2 y 3 de setiembre del 2009. 18 p.

- 31) MONTENEGRO BALLESTERO, J.; CHAVES SOLERA, M. 2011. **Contribución del sector cañero a la mitigación del cambio climático.** Congreso Azucarero Nacional ATACORI “*MSc. Teresita Rodríguez Salas (†)*”, 18, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2011. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 8 y 9 de setiembre del 2011. 14 p. Conferencia Electrónica en Power Point. 54 Láminas.
- 32) OVIEDO ALFARO M., DURAN ALFARO J.R. 2013. **Características de las variedades LAICA más importantes generadas por el Programa de variedades de DIECA en Costa Rica.** Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 19, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 20, “*MSc Marco A. Chaves Solera*”. Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2013. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 11-13 de setiembre. Tomo II. p: 319- 328.
- 33) OVIEDO ALFARO, M.; DURÁN ALFARO, J.R. 2015. **Impacto de las variedades LAICA en las diferentes regiones cañeras de Costa Rica.** Congreso Tecnológico DIECA 2015, 6, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 20 y 21 de agosto. 12 p.