

REVISTA



ENTRE  
CAÑEROS



NÚMERO 18 • DICIEMBRE 2020 • 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

Saludamos a nuestros lectores con el gran gusto que nos da cerrar este complicado año 2020 con nuestro número 18 de Entre Cañeros.

Ha sido una época complicada en muchos aspectos y agradecemos que nos sigan aceptando en sus bibliotecas. Esperamos que para el siguiente año 2021 nos abran sus puertas para continuar compartiendo información sobre nuestro quehacer en el sector azucarero.

Les deseamos muy felices fiestas celebrando con la prudencia y responsabilidad que la pandemia del COVID 19 exige, y un Año Nuevo lleno de bendiciones, voluntad y fortaleza para cumplir sus proyectos, sueños y anhelos.

Ing. Erick Chavarría Soto  
Coordinador comité editorial  
Revista Entre Cañeros  
Correo-e: [echavarrria@laica.co.cr](mailto:echavarrria@laica.co.cr)

## CONTENIDO

02

Presentación

05

Progenitores de caña de azúcar de las principales variedades sembradas comercialmente en Costa Rica: revisión histórica periodo 1530-2020.

75

Evaluación de tres densidades de semilla en cuatro variedades comerciales de caña de azúcar en la Región Sur de Costa Rica.

93

Comparación de las técnicas DAS-ELISA, RT-PCR y RT-qPCR para la detección del virus de la hoja amarilla de la caña de azúcar (SCYL) en tejido foliar de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y cuantificación de la carga viral por RT-qPCR

**Revista Entre Cañeros**  
Número 18, Diciembre del 2020. 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](http://www.laica.co.cr)

**Comité Editorial**  
Ing. Agr. Erick Chavarría Soto, coordinador.  
Ing. Agr. Marco A. Chaves Solera.  
Ing. Agr. José Daniel Salazar Blanco.  
Ing. Agr. Julio César Barrantes Mora.

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



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.”*

## PROGENITORES DE CAÑA DE AZÚCAR DE LAS PRINCIPALES VARIEDADES SEMBRADAS COMERCIALMENTE EN COSTA RICA: REVISIÓN HISTÓRICA PERIODO 1530-2020.

Marco A. Chaves Solera<sup>1</sup>

### Resumen

El documento expone de manera sucinta el desarrollo sistemático de la agroindustria azucarera costarricense valorado desde una perspectiva genética, con enfoque a las variedades de caña de azúcar que han sido sembradas comercialmente, han alcanzado al grado de promisorias o en su caso han sido empleadas como progenitores por los programas de mejora genética nacional e internacional. Procura con ello ubicar las variedades por su origen geográfico, identificar su año de ingreso o fabricación, como también su sigla descriptiva. La valoración cubrió el periodo 1530-2020 para 490 años.

Se consultaron fuentes primarias y secundarias confiables. Se logró ubicar un total de 249 variedades representadas por 181 clones importados y 68 nacionales reconocidos por la sigla LAICA. Un 17,1% (31) de los clones sembrados que destacaron comercialmente se importaron antes de 1950, un 40,3% (73) entre 1951 y 1980 y el 38,1% (69) restante luego de 1981; hubo 8 (4,4%) clones de ingreso desconocido. Los 68 clones LAICA fueron obtenidos luego de 1982, para un 30,9% (21) antes del año 2000 y el 69,1% (47) luego. Los clones importados correspondieron por origen a las siglas B (17,7%), H (11,0%), Q (7,7%), CP (6,6%), SP (5,5%), POJ (5%), Co (5%), PR (4,4%), RB (3,9%) y Mex (3,3%), entre otras 60

procedencias. En este caso los progenitores más utilizados en su obtención correspondieron a las siglas B, Co, CP, H, POJ, Q y las especies *Saccharum officinarum*, *S. sinense* y *S. barberi*. En el caso de las nacionales fueron SP, H, B, CTC, TCP, Q y RB. Un 64,1% de las variedades externas se obtuvieron preferentemente por cruces biparentales y un 23,8% a partir de cruces abiertos, múltiples o policruzas; en el caso de los nacionales fue del 48,5% y 50%, respectivamente.

Al integrar e interpretar los 249 clones se encontró una relación de 59,8% y 30,9% para esos mismos conceptos, con un 4,8% de origen de especies silvestres, un 4,5% de clones cuyo origen no se pudo ubicar o era desconocido. El resultado evidencia que el cruce biparental ofrece mejores resultados agroindustriales. Los clones nacionales sigla LAICA vienen incrementando su área de siembra, representando en el año 2019 un 11,38% (6.563,6 ha) de toda la caña sembrada en Costa Rica. Tanto la vía de mejoramiento genético asexual como sexual ofrecen buenos resultados al país, debiendo por ello fortalecer mucho la segunda sin abandonar la primera.



<sup>1</sup>Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Gerente. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA), Costa Rica. E-mail: mchavez@laica.co.cr

## SECCIÓN EDITORIAL

### Introducción

El tema de las variedades es posiblemente el de mayor comentario, valoración y análisis en el campo cañero a nivel mundial, siendo por lo general de muy amplio manejo por parte de los diferentes participantes, lo cual viene motivado por varias circunstancias, como son:



a) por la experiencia adquirida con los años de cultivo,



b) lo importante y trascendente del tópico y su vinculación con relación al manejo agronómico y los rendimientos agroindustriales,



c) la incidencia directa del clon sobre la rentabilidad y éxito del emprendimiento empresarial desarrollado y



d) lo conocido por algunos técnicos y profesionales en torno a la genética de la planta y su estrecha relación y determinación sobre toda la actividad primaria de la cadena agroindustrial. Difícilmente se puede hablar de caña de azúcar sin referirse a sus variedades.

En consideración de esa incuestionable importancia y focalización que la mayoría de productores de la caña prestan al tema de las variedades, es que el mejoramiento genético de la planta mantiene especial relevancia entre los diversos asuntos y acciones que maneja una actividad tan amplia, diversa y compleja, integrada y articulada a todo el encadenamiento agroindustrial y agroproductivo que viene asociado al cultivo. Es en la planta y el campo donde se deposita y capitaliza en buena parte el beneficio final del

esfuerzo realizado por el empresario productor; como bien señalara de forma contundente Chaves (2020h) al asegurar, que **“el azúcar se hace en el campo. extrae y fabrica en el Ingenio”**, motivo por el cual y de manera consecuente **“Un ingenio no puede extraer más del azúcar que la caña lleve contenida en sus tallos procedentes del campo”**.

Acontece sin embargo, que como resultado de la naturaleza extensiva y explotación intensiva propia del cultivo, el área sembrada y

las exigencias a que está sometida la planta de caña son máximas en todos los sentidos, algunas de ellas extremas; siendo por ello razonable concebir una cantidad y diversidad de factores que se tornan necesarios reconocer, atender, controlar y optimizar para ser eficiente.

Entre esas diferencias las hay, como muestra el Cuadro 1, de naturaleza climática, edáfica, fitosanitaria, de relieve y antropogénica vinculada al manejo que el productor le preste a

la plantación; las cuales operan en magnitud, intensidad y frecuencia variable, bajo el principio de los sinergismos y los antagonismos. La amplitud, dispersión territorial y heterogeneidad de condiciones agro productivas de las localidades donde se cultiva la caña de azúcar en Costa Rica es máxima, lo cual implica y obliga desarrollar planes de manejo muy diferenciados, entre los cuales está el prototipo de variedad que se debe sembrar (Chaves 2008, 2017c, 2019h; Chaves *et al* 2018).



**Cuadro 1.**

Principales limitantes prevalecientes en las zonas y regiones sembradas con caña de azúcar en Costa Rica. Año 2020.

Indicador*	Regiones y zonas productoras						
	Guanacaste		Pacífico Central	Valle Central		Zona Norte	
	Zona Este	Zona Oeste		Zona Este	Zona Oeste	San Carlos	Los Chiles
Altitud (m.s.n.m)	5 - 150	13 - 145	4 - 350	630 -1.300	1.000-1.250	60 - 680	30 - 70
Grado de pendiente	0,3 - 3%	1 - 5%	1 - 6%	3 - 15%	5 - 25%	2 - 15%	3 - 5%
Suelos ácidos			X	X	X	X	X
Física limitante de suelos	X	X	X			X	
Condiciones salinas			X				
Bajo contenido de M.Org	X	X	X				X
Nitrógeno limitante	X	X	X	X	X	X	X
Alta Fijación de Fósforo				X	X	X	X
Potasio bajo	X	X	X	X	X	X	X
Desbalances nutricionales	X	X	X	X	X	X	X
Altas temperaturas	X	X	X				X
Bajas temperaturas				X	X		
Lluvia limitada	X	X	X				X
Riesgo de sequía	Alto	Alto	Alto	X	Medio-bajo	Medio-alto	Medio-alto
Riesgo de inundación	Moderado	Moderado	Severo	Nulo	Nulo	Moderado	Leve
Potencial de erosión	X	X	X	X	X	X	X
Evapotranspiración alta	X	X	X				X
Requerimiento de riego	Alto	Alto	Medio	Alto	Bajo	Nulo	Medio
Humedad en el campo	Alta	Alta	Alta	Media	Muy alta	Muy alta	Media
Drenaje	Moderada-mente Lento	Moderada-mente Lento	Moderada-mente Lento	Bueno	Bueno	Bueno	Moderada-mente excesivo
Viento fuerte	X	X	X				
Luminosidad limitada					X	X	
Húmedad alta del aire					X	X	
Alta floración	X	X	X				X
Ciclo vegetativo largo					X		
Maduración	Buena	Buena	Limitada	Muy buena	Buena	Deficiente	Limitada
Problemas con plagas	X	X	X	X	X	X	X
Problemas enfermedades	X	X	X	X	X	X	X
Problemas con malezas	X	X	X	X	X	X	X
Limitaciones de cosecha	X	X	X	X	X	X	X
Pérdida de calidad de la materia prima	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Chaves (2019a; 2020a). Elaborado por el autor.

X= Indica solo presencia, no así magnitud o intensidad.

\* Los valores y su interpretación no son absolutos, pues prevalecen en todos los casos excepciones y grados intermedios. La interpretación debe ser prudente.

Guanacaste: ZONA ESTE: Abangares, Bagaces, Cañas. ZONA OESTE: Carrillo, Liberia, Nicoya, Santa Cruz.

Valle Central: ZONA ESTE: Alajuela, Atenas, Grecia, Naranjo, Poas, Sarchí, Santa Bárbara. ZONA OESTE: San Ramón.

Indicador*	Regiones y zonas productoras			
	Turrialba		Zona Sur	Nacional
	Zona Media	Juan Viñas		
Altitud (m.s.n.m)	480 - 1.000	1.000 - 1.550	180 - 870	4 - 1.550
Grado de pendiente	3 - 30%	5 - 35%	5 - 20%	0,3 - 35%
Suelos ácidos	X	X	X	X
Física limitante de suelos				
Condiciones salinas				
Bajo contenido de M.Org			X	X
Nitrógeno limitante	X	X	X	X
Alta Fijación de Fósforo	X	X	X	X
Potasio bajo	X	X	X	X
Desbalances nutricionales	X	X	X	X
Altas temperaturas			X	X
Bajas temperaturas		X		X
Lluvia limitada				X
Riesgo de sequía	Bajo	Bajo	Medio-bajo	Bajo - alto
Riesgo de inundación	Leve	Nulo	Nulo	Nulo-Severo
Potencial de erosión	X	X	X	X
Evapotranspiración alta			X	X
Requerimiento de riego	Bajo	Bajo	Medio	Bajo - alto
Humedad en el campo	Alta	Alta	Media	Media - alta
Drenaje	Bueno	Moderada-mente excesivo	Moderadamente excesivo	Moderadamente lento a excesivo
Viento fuerte		X		X
Luminosidad limitada		X		X
Húmedad alta del aire	X	X		X
Alta floración			X	X
Ciclo vegetativo largo		X		
Maduración	Muy buena	Buena	Excelente	Buena
Problemas con plagas	X	X	X	X
Problemas enfermedades	X	X	X	X
Problemas con malezas	X	X	X	X
Limitaciones de cosecha	X	X	X	X
Pérdida de calidad de la materia prima	X	X	X	X

Fuente: Chaves (2019a; 2020a). Elaborado por el autor.

X= Indica solo presencia, no así magnitud o intensidad.

\* Los valores y su interpretación no son absolutos, pues prevalecen en todos los casos excepciones y grados intermedios. La interpretación debe ser prudente.

Guanacaste: ZONA ESTE: Abangares, Bagaces, Cañas. ZONA OESTE: Carrillo, Liberia, Nicoya, Santa Cruz.

Valle Central: ZONA ESTE: Alajuela, Atenas, Grecia, Naranjo, Poas, Sarchí, Santa Bárbara. ZONA OESTE: San Ramón.



Cabe en este punto retomar y validar lo expresado por Chaves (2019j) al manifestar, que *“Sin tener que ir territorialmente lejos, pueden encontrarse y localizarse en Costa Rica condiciones muy disimiles y opuestas en prácticamente todos los elementos que participan directa o indirectamente en la producción de caña, donde destacan y marcan diferencias significativas los elementos clima, edáficos, relieve, fitosanidad, manejo agronómico de plantaciones, potencial mecanizable, ciclos vegetativos (12-24 meses), variedades cultivadas, estructura de tenencia de la tierra, potencial de riesgo climático (sequía, inundación, tormenta, huracán, etc.), ciclo de maduración, inversión tecnológica, capacidad y eficiencia fabril, entre muchos otros que pueden identificarse y nombrarse. Esas diferencias, expresa Chaves (2019h), introducen y favorecen variaciones determinantes y muy significativas en la calidad de la materia prima producida y procesada en el país. Puede asegurarse, sin temor a equivocarse ni faltar a la verdad que, Costa Rica posee pese a su pequeña área sembrada con caña de azúcar, una de las condiciones y ambientes de cultivo más heterogéneas de la región y del mundo; esto visto y valorado dentro de la relatividad y proporcionalidad debida y correcta en que debe ser juzgado e interpretado, lo cual incuestionablemente participa, explica y determina en alto grado la productividad y la producción agroindustrial del sector.”*

Es por esta circunstancia que con razón plenamente justificada todas las agroindustrias azucareras del mundo en cuenta la nacional, pro-

curan por medio del mejoramiento genético resolver las dificultades que presentan los diferentes y heterogéneos entornos agro productivos existentes donde se ubican y desarrollan las plantaciones comerciales de caña de azúcar. La meta principal del esfuerzo tecnológico y financiero implementado es incrementar la producción y la calidad de la materia prima agrícola producida y cosechada por unidad de superficie, obtenida en el menor tiempo permisible, con el mínimo esfuerzo y al menor costo posible. En la actualidad surgen otros objetivos obligados asociados que dificultan y comprometen aún más la ecuación productiva, como son en este caso los de no contaminar, conservar y optimizar el empleo de los recursos naturales, no degradar el suelo, operar bajo principios alineados con la ecoeficiencia y cumplir además con toda la normativa que el marco legal imponga en cuanto a relaciones laborales, sociales, culturales, económicas y ambientales. No hay duda que producir caña hoy es más difícil que antaño.

Estas metas técnico-empresariales es viable alcanzarlas mediante la disponibilidad y empleo de nuevas variedades o híbridos de alto potencial agronómico, que produzcan más tonelaje de caña, concentren más sacarosa en sus tallos, dispongan de una mejor fitosanidad y capacidad de adaptación a las condiciones del medio y las necesidades del agricultor y también del industrial.

### A.- Mejora genética de la caña de azúcar

Es comprensible y fácil entender que por medio del mejoramiento genético de la planta de caña se espere y pretenda lograr un mayor incremento sostenible en los índices de productividad y calidad agroindustrial; sin embargo, esta aspiración conlleva e implica considerar necesariamente y tener que superar varios factores y elementos que coadyuvan, determinan y conducen a materializar esa pretensión agro empresarial. Por lo general, cuando se habla de variedades de caña todo se dice y concibe fácil y muy sencillo de realizar, aunque en la realidad del campo sabemos que no es así. Algunas personas, inclusive muy avezadas en la materia conocedoras de la actividad cañero-azucarera, de manera equivocada creen que el problema se resuelve identificando y trayendo variedades reconocidas del exterior, procedentes de países, agroindustrias y centros de investigación de renombre y potencial comprobado que gozan de un antecedente productivo e investigativo excepcional. La realidad histórica ha demostrado que no basta con traer, evaluar, adaptar y reproducir clones comerciales del exterior para ubicarse en una posición competitiva. En la agricultura lamentablemente esas relaciones no operan de esa forma.

Lo cierto del caso es ¿Qué equivocados están? Pues el tema genético-productivo no es tan simple de abordar, sino, que fácil sería resolver problemas difíciles por esa vía tan expedita. Pese a todo, el ejercicio de importar e incorporar variedades de amplio reconocimiento por sus virtudes y antecedentes productivos en otros países al sistema nacional, siempre se ha hecho, como lo demuestra Chaves (2015).

La planta de caña mantiene el trabajo de mejora como una de sus labores más importantes, como lo expresara León (2000) al manifestar, que *“La caña de azúcar es probablemente la planta que ha sido sometida al mejoramiento más intenso, solo comparable al mejoramiento del maíz.”*

Como está suficientemente comprobado y ampliamente demostrado, el desarrollo agroin-

dustrial en el campo cañero-azucarero es muy complejo y responde a un encadenamiento y articulación de fases sucesivas, continuas y sistemáticas de evaluación que deben necesariamente cumplirse, y que por facilidad se ubican en los ámbitos a) agrícola y b) industrial, las cuales están estrechamente vinculadas e interrelacionadas. Es así como una variedad puede ser muy satisfactoria y prometedora en la etapa agronómica de producción primaria (a), pero no cumplir con los estándares que establece la fase de fabricación (b) o viceversa. Un ejemplo de ello es lo relativo al contenido de fibra de una caña, como acontece con la variedad comercial B 77-95, la cual es agronómicamente muy buena pero fabrilmente limitada al contener fibra baja; lo contrario también sucede, satisfaciendo el área energética pero no la de producción y fabricación de azúcar.

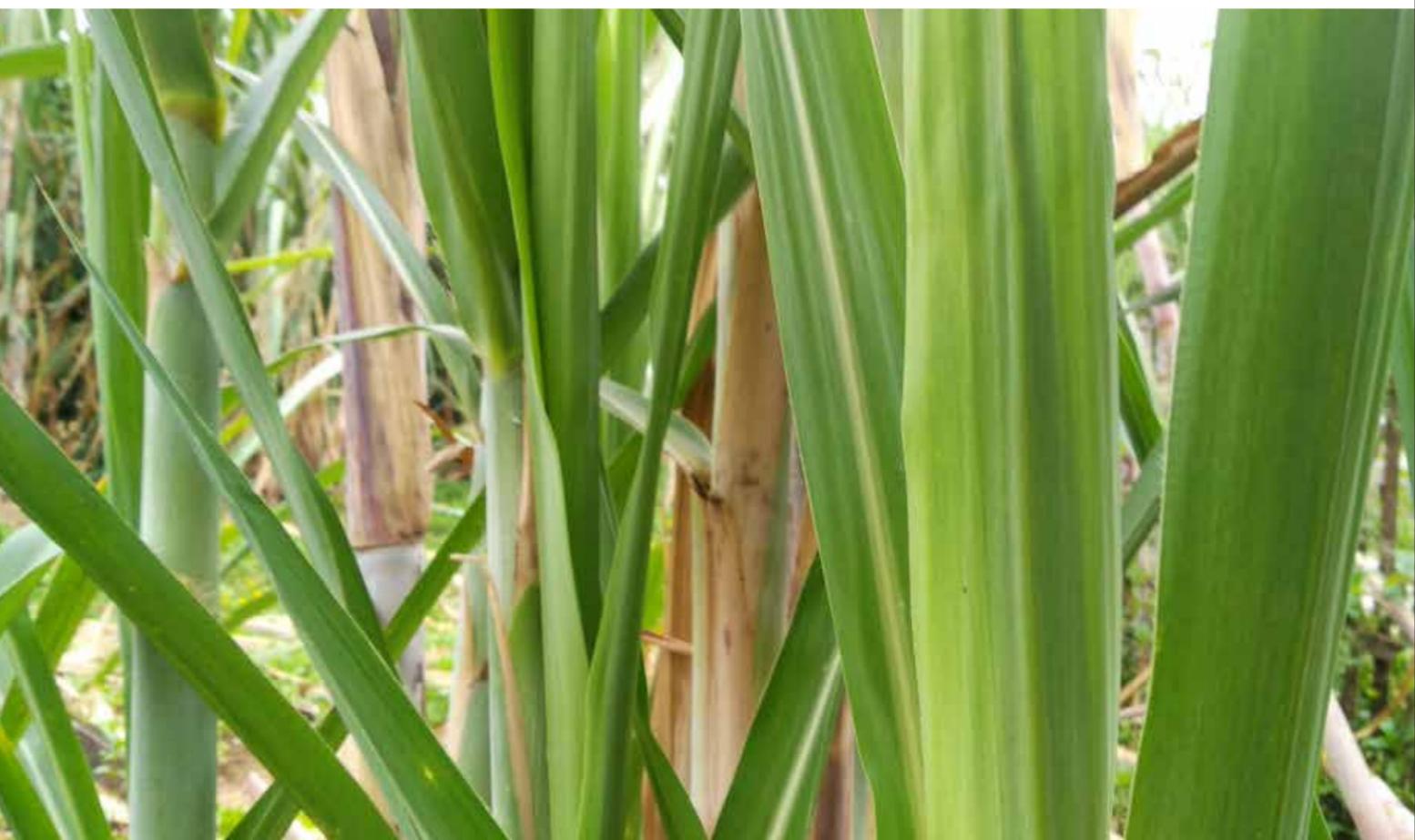
Definitivamente el potencial genético que posean las variedades es determinante como punto de partida en la búsqueda de la deseada “variedad ideal” adaptable a un determinado sistema agro productivo; sin embargo, no es suficiente, pues dicha capacidad intrínseca debe ser comprobada y validada en las condiciones particulares de los diferentes entornos donde se siembra caña. **En la práctica comercial no se siembran potenciales, se cultivan y cosechan expresiones y manifestaciones positivas de ese potencial genético.**



En este prolongado y sensible proceso de selección se busca obtener variedades que establezcan su producción durante su ciclo vegetativo por medio de una alta adaptación al medio, evidenciado en la tolerancia a la competencia por malezas, a los daños ocasionados por las plagas y las enfermedades, a los impactos provocados por los elementos del clima como sequía, luz, calor, frío, viento, también a la acidez, infertilidad y degradación de los suelos, como a otros factores nocivos. Esas variedades deben poseer una mayor eficiencia eco fisiológica en la absorción y asimilación de nutrientes; deben ser capaces de aprovechar mejor el agua, los fertilizantes y, en general, ser tolerantes a los dinámicos cambios observados en el componente ambiental, características que conforman parte del requerimiento para intervenir favorablemente los rendimientos

agroindustriales expresados en un buen tonelaje de caña (t/ha) y concentración de sacarosa (kg/t caña) recuperable.

**La importancia de la investigación en el campo de la genética aplicada, consiste en procurar corregir todas aquellas características o propiedades agronómicas e industriales consideradas indeseables, e introducir otras deseables para lograr el objetivo agroindustrial y comercial pretendido satisfacer.** Esta acción tecnológica se da por medio de cruzamientos o métodos específicos de mejoramiento, procurando incrementar la adaptabilidad a entornos difíciles o agrestes, elevar los rendimientos, la fitosanidad, la calidad y cualquier otra característica que se quiera mejorar con el objeto de aumentar la eficiencia concebida integralmente.



### A.1.- Atributos anatómicos, genéticos y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar

Sobre este importante tópico resulta apropiado reescribir lo señalado por Chaves (2020b) en torno a las características, propiedades y atributos de carácter anatómico, genético y eco fisiológico que posee la planta de caña de azúcar y que la convierten incuestionablemente en “especial y sobresaliente” entre las especies vegetales de uso comercial. Apunta Chaves al respecto, que “No hay duda en reconocer y aceptar, como está suficientemente demostrado y comprobado a nivel mundial (Alexander, 1973; Castro, 2016; SUGARCANE, 2014), que la caña de azúcar es una planta considerada como excepcional entre las plantas de uso comercial. Chaves (1988, 2018a) y Montenegro y Chaves (2009), fundamentan esta aseveración en 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  $m^2/m^2$ ) 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 Vasculare) que promueven su alta

eficiencia fotosintética en la captura y uso del  $CO_2$ , la cual se da por dos vías: a) Vía Normal  $C_3$  de Calvin y, b) Vía alternativa  $C_4$ .

- 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 ( $\approx$  65 a 1.500  $Wm^{-2}$ ).
- 8) Posee un alto Punto de Compensación lo que le permite alcanzar altos valores de fijación de  $CO_2$ , 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  $C_3$ , presentando una capacidad fotosintética estimada en 100 mg de  $CO_2$  /dm<sup>2</sup>/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 nutrientes, 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  $C_3$ .



- 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.
- 21) 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 CO<sub>2</sub>; 3) Disponibilidad de agua; 4) Disponibilidad de nutrimentos y 5) Temperatura, entre otras.”

A lo anterior puede agregarse otro atributo muy importante y aplicado a nuestras condiciones, como es:

22) La caña posee la capacidad de formar aerenquima, tejido especializado que le permite el transporte de oxígeno atmosférico a las raíces y órganos sumergidos en condiciones de exceso de agua, lo que admite tolerar estrés provocado por hipoxia o falta de oxígeno y con ello la supervivencia de la planta en zonas de alta humedad. No se encuentran diferencias entre variedades (Unigarro et al, 2013).

Vistos los alcances de los anteriores atributos, no cabe la menor duda que la planta de caña posee condiciones y estructuras naturales excepcionales que potencian y hacen posible su adaptación, desarrollo y evolución en condiciones muy adversas, lo que debe ser sin embargo identificado, aprovechado y maximizado.”

## A.2.- Genética de la planta

Lo concerniente al tema de la genética de la planta de caña de azúcar resulta esencial de revisar para dimensionar y contextualizar las capacidades y potenciales de la misma. El Género *Saccharum* al que pertenece la caña está constituido por seis Especies, de las cuales cuatro califican como Domesticadas y dos se juzgan como Silvestres, cuyo origen y componente cromosómico se anota con detalle en el Cuadro 2.

La caña es una planta hermafrodita cuya flor es una panícula (flor de flores) que genéticamente corresponde a un Poliploide (2n = 40-140) cuya capacidad combinatoria es alta, habilitando y elevando con ello la probabilidad de obtener biotipos muy diferentes (Stevenson 1965; Chaves 2018a). Los clones de uso comercial se ubican dentro de un ámbito cromosómico amplio que va de 100 a 130 cromosomas, siendo de acuerdo con Chaves (2020b), híbridos compuestos por la combinación de al menos dos de esas seis especies del género y grupo genético.

Estudios recientes revelan que los híbridos comerciales de caña se componen entre 80-85%

de *S. officinarum*, entre 10-15% de *S. spontaneum* y el 5% restante corresponde a cromosomas recombinantes de esas dos especies. Se dice que el genoma de la caña es complejo por su poliploidia y aneuploidia, estando compuesto por cerca de 10 mil millones de pares de bases. Puede asegurarse sin reparos, que el mayor atributo que posee la planta caña para enfrentar el dinámico cambio climático y satisfacer los nuevos requerimientos impuestos por los exigentes y competitivos mercados de destino del azúcar y sus derivados, es su excepcional componente genético; el cual le aporta la posibilidad y capacidad de identificar clones rústicos con alto potencial de adaptación, fitosanidad y productividad agroindustrial.

De igual manera, la capacidad de reproducir la planta en forma clonal y no por semilla sexual asegura el mantenimiento y estabilidad de las características y atributos comerciales deseados, lo que conserva las mismas. Como apuntara Chaves (2020b) al integrar elementos, “La suma de todos esos atributos y propiedades especiales hacen de la caña de azúcar una planta verdaderamente excepcional y muy especial, lo que potencia y viabiliza su empleo agrícola, industrial, energético y pecuario.”

## Cuadro 2.

Caracterización de origen y genética de las especies de caña de azúcar del género *Saccharum* spp.

Especie	Origen	Cromosomas	Contenido fibra (%)	Contenido sacarosa (%)
<i>S. spontaneum</i> L. *	Diverso	2n = 40-128	Muy alta 25-40	Muy baja 1-4
<i>S. robustum</i> Brandes & Jesé ex Grassl *	Papua-Nueva Guinea, Indonesia	2n = 60-194, usual 80	Muy alta 20-35	Baja 3-7
<i>S. barberi</i> Jeswiet	Norte de La India	2n = 81-124	Alta 10-15	Media 13-17
<i>S. sinense</i> Roxb.	China	2n = 110-120	Alta 10-15	Media 12-15
<i>S. edule</i> Hassk.	Papua-Nueva Guinea	2n = 60,80 hasta 122	Baja ?	Baja 3-8
<i>S. officinarum</i> L.	La India (?)	2n = 80	Baja 5-15	Alta 18-25
Variedades comerciales: Híbridos de: <i>S. officinarum</i> x <i>S. spontaneum</i>	Diversa	2n = 100 -140	Alta	Alta

\* Especies silvestres.

Fuente: Chaves (2018a); Moore et al (2014)

### A.3.- Entorno agro productivo nacional

La agroindustria azucarera costarricense es muy especial y particular en su contexto pues es pequeña en extensión pero muy diferente y variable en lo concerniente a características y condiciones para la producción eficiente, rentable y competitiva, lo cual se proyecta y manifiesta en los resultados agroindustriales finales (Chaves 2008, 2019hijkl, 2020a).

La cantidad, calidad y diversidad de condiciones que presenta y tipifica al área sembrada con caña destinada a la fabricación de azúcar en Costa Rica, es muy amplia y diversa, muchas de las cuales se tornan en problemas y verdaderas limitantes para la productividad del campo y el ingenio; motivo por el cual las mismas definen y enmarcan los retos y desafíos por resolver para acceder al desarrollo integral del sector.

En el Cuadro 1 se anotan los elementos e indicadores que se consideran más relevantes, y que podrían calificarse como limitantes y/o ventajas cuya interpretación y contextualización en cada entorno debe ser justa, razonable, prudente y muy sensata, evitando caer en valoraciones extremas e inconvenientes; esto porcuanto en todos los casos hay situaciones distantes de la condición, intensidad y magnitud anotada en este caso como mayoritaria y dominante. Las condiciones extremas y limitantes, aún las más difíciles, pueden ser en grado variable mitigadas, atenuadas y hasta resueltas por diferentes medios, muy especialmente el genético, lo que introduce sin embargo elementos de factibilidad y viabilidad tecnológica y financiera. Como demostraran Chaves *et al* (2018) y Chaves (2008, 2017abc, 2019ghijkl, 2020acdefgi), esa divergencia y heterogeneidad de factores se proyecta al campo y la fábrica y expresa en los indicadores de calidad agroindustrial reportados en cada región y localidad geográfica donde se produce caña.

### A.4.- Biotipo ideal de caña para producir azúcar

En la realidad del campo procurar y pretender obtener por cualquier vía, aún la más sofisticada

como es la transgénica, el biotipo o variedad ideal de caña de azúcar resulta realmente utópico y temerario por no decir imposible, pues son muchos los factores y atributos que vienen asociados a esa categoría de excepcionalidad; algunos de los cuales son en su expresión de carácter poligenica y no operados por un solo gen. Siendo sin embargo optimistas y proyectistas, hay que señalar que lo “ideal” va inexorablemente ligado a propiedades relacionadas con rusticidad, adaptabilidad, fitosanidad, características agronómicas deseables, maduración homogénea y consistente, rendimientos agroindustriales altos y sostenibles, entre otras

Experimentalmente se ha demostrado que la base genética que poseen los híbridos comerciales actuales de caña de azúcar es muy limitada, incurriendo inclusive en algún grado indeseable de “endogamia”, lo que ha obligado en buscar ampliarla y aumentarla acudiendo a materiales silvestres existentes en los centros de origen, logrando con ello incorporar una mayor variabilidad en las progenies resultantes de los cruzamientos (Chaves y Bermúdez 2020j). No cabe duda que una gestión tecnológica en el área de la genética orientada en esa dirección lograría incorporar nuevos y significativos avances en la mejora del cultivo.

En relación a este ejercicio un tanto platónico, virtual y entusiasta, cabe retomar lo que planteara Chaves (2018a) al manifestar con gran detalle, que “En un intento teórico por procurar identificar y tipificar el biotipo ideal y deseable de la caña de azúcar que todo productor anhela tener sembrada en el campo, Chaves (1995a), definió un total de 38 asuntos anatómicos, fisiológicos, metabólicos y productivos que deberían estar contenidos, integrados y ser expresados por dicho clon, entre los que cita de manera sucinta y genérica los siguientes:

- 1) *Poseer gran capacidad de adaptación (rusticidad).*
- 2) *Estar dotado de un sistema radicular con gran capacidad exploratoria en el suelo.*
- 3) *Tener un ángulo de inserción de las hojas en el tallo de 45° que optimice la captación de luz.*

- 4) *Tamaño de yema vegetativa pequeña para evitar daño físico y pérdida de poder germinativo.*
- 5) *Disponer de una buena capacidad de germinación (superior al 90%).*
- 6) *Excelente capacidad de retoñamiento en ciclos (socas) sucesivos.*
- 7) *Ahijamiento óptimo que permita obviar el efecto de competencia y que asegure altas poblaciones de tallos.*
- 8) *Poseer tasa de crecimiento rápida que reduzca efectos competitivos por malezas.*
- 9) *Alta vigorosidad en el ritmo general de desarrollo de la plantación.*
- 10) *Cepa vigorosa y estructuralmente bien conformada.*
- 11) *Tolerante a la mecanización en todas las fases de cultivo.*
- 12) *Población de tallos persistente y estable hasta cosecha, siendo ideal una población superior a 100 mil tallos industrializables por hectárea (15 tallos/metro a 1,5 m).*
- 13) *Evitar producción de hijos (mamones) en etapa próxima a cosecha.*
- 14) *Tallos industrializables largos mayores a 1,80 metros, con entrenudos de aproximadamente 16 cm.*
- 15) *Tallos de grosor adecuado no excesivo con diámetros entre 3,0 y 3,5 cm.*
- 16) *Tipo de crecimiento (erecto, reclinado y/o postrado) adaptado a la localidad de cultivo (alta-media-baja en msnm), y condición particular de producción y cosecha utilizada (manual-mecánico).*
- 17) *Sección del cogollo (palmito) corta y poco voluminosa.*
- 18) *Tallos flexibles que eviten volcamiento “acame” y problemas con quebraduras.*
- 19) *Ausencia total de características negativas para la calidad, como son: rajaduras, ahuecamiento, tallos deformes, raíces adventicias, yemas laterales (lalas) germinadas, entre otras.*
- 20) *Poseer un alto despaje.*
- 21) *Preferiblemente con ausencia de floración.*
- 22) *Vainas sin presencia de pelos urticantes.*
- 23) *Planta sea por naturaleza de bajos requerimientos nutricionales.*
- 24) *Tolerante y selectiva al efecto de los plaguicidas, principalmente herbicidas.*
- 25) *Planta de porte alto y hojas verticales para reducir el distanciamiento entre surcos.*
- 26) *Población de tallos adaptable a manejo tecnológico, aceptando prácticas asociadas a paso de maquinaria, uso de agroquímicos, etc.*
- 27) *Ideal que muestre capacidad de fijación simbiótica de Nitrógeno.*



- 28) Apariencia general del cultivo, dado por varios atributos, agradable a la vista.
- 29) Tallos de fácil corta, acomodo, carga y transporte al Ingenio.
- 30) Fitosanidad debe ser total, sin decoraciones ni afecciones de ningún tipo.
- 31) De ciclo vegetativo preferiblemente corto, no superior a 13 meses.
- 32) De maduración natural homogénea (uniforme), de duración temprana e intermedia según condición y características del lugar. Concentración de sacarosa se mantenga alta y estable el mayor tiempo posible durante la zafra.
- 33) Calidad de los jugos mantenga estabilidad ante influencia de lluvias significativas de alta intensidad y persistentes.
- 34) Tonelaje de caña elevado con productividades no inferiores a 90 toneladas/ ha.
- 35) Mantener sostenibilidad productiva en cosechas sucesivas y una vida y uso comercial prolongado, no menor a siete cosechas consecutivas rentables.
- 36) Bajo grado de deterioro (inversión) de los jugos luego de realizada la cosecha. Estable entre el periodo cosecha-molienda.
- 37) Tener buena cantidad de jugos clarificables (refractarios), contenido de fibra aceptable (13,5-14,5%), alta sacarosa en caña (+13%), purezas elevadas (+87%) y baja producción de miel final (< 30 kg/t).
- 38) Alta producción de azúcar por unidad de área que no debe ser inferior a 12 toneladas/ ha.

En el documento original Chaves (1995a) amplía en aportar razones y justificar juicios de valor en torno a esos atributos, expresando con objetividad como corolario, que "Como se comprenderá es bastante difícil por no decir imposible, identificar una variedad para uso comercial que reúna todas

las características y propiedades anotadas, razón por la cual el Programa Nacional de Mejoramiento Genético y los técnicos que lo desarrollan, se esmeran y proyectan a tratar de optimizar muchas de ellas que tipifiquen entonces lo que conocemos como una buena variedad."

### A.5.- ¿Por qué variedades diferentes?

En el argot cañero-azucarero es común apreciar el cambio permanente que se hace de las variedades sembradas con el tiempo, lo cual para quien no está inmerso en la agroindustria resulta a veces cuestionable y poco entendible y hasta lo catalogan, califican y asocian a una condición de "inestabilidad".

Por el contrario, para quienes estamos inmersos en la actividad sabemos que el cambio es debido a cuatro razones fundamentales ampliamente conocidas: a) el control fitosanitario de plagas y enfermedades se hace predominantemente por medios genéticos y no químicos como acontece en otros cultivos, lo cual obliga y justifica el cambio de materiales de siembra ante cualquier evidencia de susceptibilidad, 2) mantener el cultivo una dispersión geográfica tan amplia y heterogénea como la cañera, obliga necesariamente tener que adaptarse a condiciones edafoclimáticas, fitosanitarias y de manejo muy diferentes entre los entornos agro productivos existentes en el país, 3) lo cambiante de las condiciones ambientales y de manejo (mecanización, riego, etc.) imponen nuevas restricciones que obligan al cambio de los materiales de siembra y 4) la búsqueda permanente de identificar mejores variedades que se adapten a los nuevos retos y demandas que el comercio y la legislación agropecuaria imponen, son factores motivadores y promotores para inducir el cambio. Importante señalar que la dinámica genética observada en Costa Rica es similar a la que ocurre en todo el mundo cañero, bueno, al menos en los países y agroindustrias que poseen programas de mejora genética, pues tampoco son muchos.





#### A.6.- ¿Qué se busca con el trabajo de mejora genética?

En lo esencial se busca en primera instancia mejorar la calidad de las variedades utilizadas comercialmente en cada una de las regiones, zonas y localidades productoras de caña, incrementando sus rendimientos agroindustriales expresados en un mayor tonelaje de materia prima y concentración de sacarosa en la misma, y con ello elevar la rentabilidad económica de la gestión empresarial. También se busca muchas veces con carácter mediático y emergente, resolver problemas muy específicos que atentan y ponen en riesgo la estabilidad de una plantación, lo cual surge por afectación provocada por causa de enfermedades y plagas graves, floración o problemas que se considere necesario superar por calificar como un riesgo, pese a que la variedad podría tener capacidad productiva aceptable.

Es conocido que el mayor rendimiento al que puede aspirar la caña de azúcar depende en alto grado de su potencial genético y de su capacidad para poder aprovechar de la mejor manera los factores del ambiente y entorno que la incitan e intervienen, como son el agua, la temperatura, la

energía solar, las sustancias nutritivas, entre otras. El rendimiento valorado por cualquier indicador que se desee y aplique, corresponde necesariamente a una expresión de carácter fenotípico, donde:

**Fenotipo = genotipo + ambiente + interacción entre genotipo y ambiente**

Siendo el ambiente un factor complejo y multivariado en el cual las condiciones cambiantes y volátiles de los elementos que lo conforman, hacen que varíe significativamente para diferentes años en un mismo lugar y para diferentes lugares en un mismo año. Por este motivo, es necesario realizar pruebas permanentes de adaptación con el fin de conocer las reacciones que muestren las diferentes opciones genéticas en cada momento, condición y entorno productivo.

En materia de mejoramiento de plantas, se considera que uno de los factores más importantes para incrementar la producción de campo es contar con plantaciones resistentes o

tolerantes a plagas y enfermedades, por cuanto la mayoría de las mismas son atacadas severamente por patógenos e insectos que afectan y deprimen las cosechas. En el caso de la caña de azúcar el combate por métodos químicos no resulta ser una práctica viable ni recomendable, por lo que predomina el control biológico con algunas limitantes. Esta por tanto demostrado que el mejor método de control sobre todo de enfermedades es el genético, mediante el cambio y cultivo de variedades resistentes o tolerantes a patógenos e insectos. La solución tecnológica que la agricultura mundial de la caña ha dado al serio problema provocado por las enfermedades, consiste en identificar fuentes de resistencia genética dentro de la variabilidad disponible en el país, o en su caso, recurrir a los Centros de Origen de las plantas, ya que la manera más segura de combatir las enfermedades es mediante el desarrollo de variedades tolerantes, como lo señalaran ampliamente León (2000) y Chaves y Bermúdez (2020j).

#### B.- Procedencia de las variedades

El origen y procedencia de los materiales genéticos existentes en Costa Rica, tanto los de uso comercial como investigativo es muy amplio y diverso, lo cual va en coherencia y relación

directa con los entornos tan diferentes y disímiles que dominan la agroindustria nacional, la cual puede tipificarse y asociarse como lo señalara Chaves (2019hjl), con variaciones en prácticamente todos los órdenes: altitud de las plantaciones (0-1550 m.s.n.m), tipo de suelos y relieve, potencial mecanizable, fertilidad natural, clima, fitosanidad (plagas y enfermedades), disponibilidad de agua (riego/drenaje), floración, duración del ciclo vegetativo (12-24 meses), tipo de cosecha (manual, semimecanizada, mecanizada), manejo agronómico incorporado, estructura de tenencia de la tierra, distancia (km) de las plantaciones a la fábrica, servicios logísticos disponibles, inversión tecnológica incorporada, entre otros.

Como es obvio admitir, no todas las variedades utilizadas comercialmente mantienen igual comportamiento en los diferentes ambientes del país, lo que obliga necesariamente tener que ubicarlas de acuerdo con su origen y antecedentes agroindustriales buscando maximizar la expresión de todo su potencial genético intrínseco. Esas diferencias obligan ubicar las variedades de acuerdo con su potencial y capacidad de adaptación, lo cual se hace siguiendo un procedimiento protocolario de carácter sistemático de investigación indicado en la Figura 1.



**Figura 1.**

Sistemática de introducción, evaluación y selección de fases continuas de investigación de clones introducidos al país.

## SECCIÓN EDITORIAL

Como se comprobaba más adelante, el origen geográfico y genético de los clones disponibles en el país es muy diverso, procediendo de lugares como: Canal Point (EUA), Hawái (EUA), Louisiana (EUA), México, Guatemala, Barbados, Cuba, Jamaica, República Dominicana, Trinidad & Tobago, Puerto Rico, Colombia, Brasil, Argentina, Australia, India, Sudáfrica, Java, Mauricio, entre otros (Chaves 1995b, 2018c).

Una revisión detallada del Banco de Germoplasma perteneciente a DIECA realizada por Chaves (2013), revela que *“al integrar y categorizar los clones por su país de origen, se identifican un total de 28 naciones de cuatro diferentes Continentes, exceptuando el Europeo. Los países con más Siglas involucradas son en su orden: Australia con 12 para un 16,0%; USA 10 (13,3%); Brasil y Cuba 5 (6,7%) cada uno y los siguientes países con 4 Siglas para un 5,5% c/u: Argentina, Guatemala y República Dominicana, respectivamente.*

*Al relacionar la cantidad de híbridos aportada por país se notan grandes diferencias, siendo por amplia diferencia los USA los que más clones incorporan al Banco con un total de 399 materiales que representan el 37,57% del total, seguida por Brasil 148 (13,94%); Barbados 122 (11,49%); México 63 (5,93%) y Puerto Rico 48 (4,52%), para sumar integralmente 780 biotipos y tener una representatividad del 73,45%.”*

La búsqueda e incorporación de variabilidad a los nuevos híbridos que se espera liberar a futuro en el país para uso comercial, agregando al proceso de selección y fabricación de los mismos “sangre” de materiales en principio por origen y antecedente apropiados a nuestras condiciones particulares de producción; constituye una prioridad en la gestión institucional que en esta materia se desarrolla. Por ello, DIECA mantiene un estrecho vínculo y acercamiento con centros y estaciones de reconocido prestigio internacional, que le proveen por intercambio o donación, clones comerciales y promisorios procedentes de fases avanzadas para ser evaluados en el país (Chaves 2017d).

### B.1.- Manejo protocolario de clones importados

Como medida protocolaria y prudencial todos los clones que ingresan del exterior al país, sin importar su origen y procedencia, sea nación,

centro de investigación, ingenio, etc., deben seguir obligatoriamente y sin reserva alguna, un proceso continuo y sistemático de cuarentena e investigación organizado en fases sucesivas de prueba y selección hasta alcanzar su posible uso comercial, si sus condiciones de adaptación, fitosanitarias, agronómicas, productivas y agroindustriales son satisfactorias; o en su caso, ser desechados y discontinuados. En la Figura 1 se expone un detalle de la sistemática seguida, la cual tiene una duración entre 10 y 12 años desde el momento en que el clon (3-4 esquejes de 3 yemas) ingresa al país y se libera como variedad para uso comercial. Los clones llegan en primera instancia procedentes del exterior como simples materiales dotados con un potencial genético intrínseco que debe ser necesariamente evaluado en los ambientes, entornos y condiciones agro productivas más idóneas de acuerdo con sus atributos y propiedades, basados en sus antecedentes y los progenitores que le dieron origen.

Una vez que ingresan al país cumpliendo con todos los protocolos y requerimientos aduaneros y fitosanitarios, son sometidos a una fase inicial obligada de **cuarentena fitosanitaria cerrada**, la cual se da en los invernaderos ubicados en la Estación Experimental que DIECA posee en la localidad de Santa Gertrudis Sur de Grecia (999 m.s.n.m), provincia de Alajuela. Luego de superar esa importante y estricta etapa inicial (3-4 meses) de germinación y valoración preventiva de posible presencia de plagas y patógenos; procede luego continuar con la fase de **cuarentena abierta** y reproducción vegetativa de los materiales (1,5-2 años), lo cual DIECA realiza en la Estación Experimental “Los Diamantes”, situada en el cantón de Pococí (268 m.s.n.m), Limón, donde por no existir cultivos comerciales de caña en la zona, la misma se torna adecuada para continuar con la observación fitosanitaria.

De observarse alguna patología exótica o simplemente preocupante, se procede entonces con la inmediata eliminación y quema del material vegetal, pues no caben los riesgos de afectar la integridad y estabilidad fitosanitaria del país. Como recurso cabe mencionar que se cuenta también con un **Banco de Germoplasma** ubicado en el cantón de Cañas (10 m.s.n.m), Guanacaste, donde se concentran y acumulan 1.049 materiales de interés genético.

Superadas satisfactoriamente esas dos fases obligadas de “seguridad fitosanitaria” y contando con suficiente cantidad de biomasa de cada clon, sigue el envío de los mismos a las regiones y entornos agro productivos donde pueden tener virtud de sus condiciones potencial real de adaptación.

Esta acción conlleva todo un ejercicio técnico de valoración de “condiciones localidad-clon” que aseguren el posible alcance y cumplimiento del objetivo procurado. Aquí inicia el éxito que pueda obtenerse de toda la intensa y prolongada gestión de investigación que posteriormente se realice por más de 10 años; pues una mala decisión conlleva a generar un trabajo infructuoso e improductivo. Se tiene por ejemplo claro, que clones o progenitores de origen hawaiano (sigla H), poseen mayor potencial de adaptación a zonas medias-altas (>900 m.s.n.m); mientras que los de origen Canal Point (sigla CP) se adaptan a zonas bajas (<400 m.s.n.m) y los creados en Barbados (sigla B) poseen un rango de adaptación más amplio (<900 m.s.n.m).

Lo cierto es que el estudio, valoración y ponderación de características, propiedades, atributos, potenciales y antecedentes debe ser máxima en esta trascendente fase inicial del proceso de mejora genética.

Con los clones potencialmente idóneos dispuestos en cada localidad agrícola procede su siembra inicial en “Viveros Primarios” y luego sucesivamente en las fases que el protocolo establecido por el Programa de Mejoramiento Genético mantiene vigente y en operación, donde la cantidad de material vegetativo es cada vez mayor lo que posibilita realizar evaluaciones más estrictas sobre indicadores en principio fitosanitarios, a los cuales se suman luego las agronómicas y las agroindustriales de productividad, culminando con la fase 6 donde se realizan curvas de madurez, aplican diseños y conclusiones basados en elementos y criterios estadísticos (Durán 2018; Chaves 2012; Chaves y Bermúdez 2012). El proceso de investigación y validación como se infiere es sucesorio, basado en fases continuas y sistemáticas de evaluación, selección y descarte.

En este momento los materiales genéticos que avancen de fase 6 califican apenas como promisorios, lo cual con el tiempo de acondicionar, comprobar y consolidar sus atributos y buen comportamiento agroindustrial en pruebas de campo semi comerciales pasan a ser entonces de uso comercial local, regional o nacional; en este momento la variedad es liberada para uso masivo y reproducción de semilla.



### C.- Importancia de los progenitores

“Lo mejor tiene que partir siempre de lo mejor” dicta un principio genético importante pero vale reconocer, no absoluto, que revela y posiciona la trascendencia de ubicar muy bien la calidad de los progenitores que se utilizarán para dar origen a un determinado clon como referencia legítima de su potencial agroindustrial. Conocer el antecedente de procedencia y uso comercial o investigativo de un clon empleado como progenitor, es un indicativo muy válido para inferir posibles comportamientos futuros, en particular referentes a adaptabilidad (acidez, salinidad, fertilidad y tipo de suelo, humedad, temperatura), fitosanidad (plagas y enfermedades), arquitectura y biotipo de la planta (tipo de crecimiento), comportamiento agronómico (raíz, germinación, retoñamiento, despaje, cierre, volcamiento, floración, tolerancia a herbicidas), potencial productivo, cosecha (potencial mecanizable, facilidad corte y carga), entre otras.

La selección de los padres utilizados en la hibridación adquiere mucha relevancia cuando el cruce es biparental (uno a uno), pues las relaciones entre los dos padres es directa lo que trasciende también a los factores de interés por introducir o en su caso desconocer. También es importante en el caso de los cruces múltiples, abiertos o multiparental (una madre y varios padres), aunque en este particular resulta más difícil direccionar los factores que se desean incorporar en el nuevo híbrido, los cuales quedan más abiertos a la “probabilidad” de que se exprese. No cabe la menor duda que sea si se va a importar un clon o en su caso este se va a emplear como precursor en labores de cruzamiento genético, el origen y la identidad de los progenitores por utilizar resulta de trascendental importancia, motivo por el cual debe ser previamente revisada, estudiada y ponderada objetivamente en términos de antecedentes y potenciales. Este ejercicio no se puede obviar ni tampoco operar sin rigor alguno.

#### C.1.- Criterios empleados en la selección de progenitores

Los criterios a emplear para seleccionar un determinado clon para cualquier objetivo genético que visualice, suponga o pretenda (im-



portación o cruzamiento) un uso comercial posterior, sigue un protocolo muy claro donde se consideran los elementos que tipifican y configuran el biotipo deseado obtener bajo una genética mendeliana tradicional, como la practicada en estos casos, al menos en DIECA, la cual viene fundamentada en criterios probabilísticos y de dominancia de factores (homocigosis). Mucho del biotipo deseado pasa por los gustos y preferencias del propio agricultor quien la sembrara, pese a lo cual hay tópicos que son por excelencia obligados de buscar y aceptar como término de seguridad productiva y financiera.

Los elementos básicos deseables identificar o incorporar en la nueva progenie, son entre otros los siguientes: características y altitud (m.s.n.m) del lugar donde será empleado el clon (zona baja, media, alta); tipo de suelos (francos, arenosos, arcillosos, alta o baja fertilidad); relieve (plano, ondulado, quebrado); humedad (uso de riego o seco); inducción a la floración (alta, baja); una fitosanidad excelente; apto para cosecha manual o mecánica; ciclo vegetativo corto (12 meses); maduración variable (temprana, media, tardía) con preferencia a la primera; alta producción de caña industrializable (t/ha); alta concentración de sacarosa sostenida en el tiempo; contenido apropiado de fibra (%), entre otras.

### D.- Cruzamiento e hibridación de clones nacionales

En relación a este importante tema, manifiesta de forma sumaria Chaves (2018a), que “...el programa de mejora genética siguiendo la vía sexual y no la asexual mediante introducción de clones del exterior, inicio formalmente a partir de 1982 con la creación de la Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), lo que operó por varios años mediante la adquisición de semilla verdadera (fuzz) por donación de países amigos. Señala Chaves (2017e) al respecto, que “Luego de 1983 se procede con la importación de semilla sexual o verdadera (fuzz) procedente de México, Barbados y dos Estaciones de Brasil. Se importaban 10 g de semilla por cruce y de 10 a 20 cruces de cada estación por año.”

Fue sin embargo en el año 1998, cuando se rea-

lizaron las primeras pruebas formales de hibridación en el país, los cuales culminaron con los cruzamientos dirigidos de clones de interés agroindustrial con fundamento en su antecedente productivo, lo que se fortaleció luego del año 2000 (Durán y Alfaro 2015). Los clones nacionales fueron nombrados y reconocidos tanto nacional como internacionalmente por medio de la sigla LAICA, en reconocimiento a la institución que los generó como fue la Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar. No se utilizó la sigla CR (Costa Rica) como se pudiera pensar, en consideración de que ya aplicaba en República Dominicana.”

El Programa de Mejora Genética costarricense mantiene hoy día vigentes y muy activas las dos vías de búsqueda de nuevas y mejores opciones de siembra, tanto la **Vía Asexual** mediante importación de clones promisorios del exterior, con la cual DIECA ha introducido al país desde 1982 un total de 2.205 clones de muy diferente origen y naturaleza genética, dominando los de sigla CP (42,7%), RB (8,3%), B (6,4%), CPCI (4,5%), H (3,8%), Mex (3,7%) y SP con el 3,4% para un 73,14% conjunto correspondiente a 1.611 clones (DIECA 2020). La **Vía Sexual** cada vez se fortalece más al punto de representar de acuerdo con el Censo Cañero realizado en el año 2019 un área total de 6.563,6 hectáreas sembradas con variedades de la sigla LAICA, lo que representó un 11,38% de toda la caña sembrada en el país.

Las variedades nacionales más sembradas actualmente, son: LAICA 00-301 con 1.927 ha para un 29,3%, LAICA 04-825 con 811,9 ha (12,3%), LAICA 05-805 con un área de 731,2 ha (11,1%) y LAICA 04-809 con 690,8 ha para un 10,5%; las cuales integralmente significaron el 63,3% correspondiente a 4.160,9 ha (Chaves et al 2020).

### E.- OBJETIVOS

#### General:

Ubicar e identificar los progenitores que dieron origen a las principales variedades de caña de azúcar cultivadas comercialmente en Costa Rica durante su historia, correspondiente al periodo 1530-2020 (490 años).

### Específicos:

- 1) Conocer cuáles han sido las variedades de caña de azúcar que más incidencia e importancia comercial han tenido en Costa Rica durante los últimos 490 años, periodo 1530-2020.
- 2) Determinar la procedencia y el origen genético de las principales variedades sembradas comercialmente en el país.
- 3) Ubicar el posible año de introducción de los clones importados.
- 4) Trazar una línea de tiempo entre variedades y progenitores.
- 5) Contextualizar los progenitores en relación al año de introducción o hibridación de la variedad en particular.
- 6) Identificar progenitores de uso preferencial y dominante por su sigla de origen.
- 7) Ubicar los progenitores que actuaron en calidad de hembra o macho en cada cruzamiento.
- 8) Evaluar y ponderar discrecionalmente los cruces por su naturaleza biparental o policruza.
- 9) Juzgar la eficiencia de los cruces biparental o policruza en el uso comercial de sus progenies.
- 10) Ubicar los parentales empleados en los cruces aplicados en la creación de las variedades nacionales sigla LAICA.

### F.- METODOLOGÍA

Para procurar alcanzar y satisfacer los objetivos planteados fue necesario realizar un arduo y laborioso trabajo de revisión y consulta en tres orientaciones principales:

- 1) Identificar por su sigla y trazar la línea histórica de ingreso y cultivo comercial preferencial de las variedades en el país.
- 2) Identificar los progenitores y tipo de cruzamiento que dio origen a las mismas.

- 3) Consultar, verificar y comprobar en fuentes bibliográficas nacionales y realizar consultas internacionales de fuentes primarias especializadas, la identidad de los progenitores de algunos clones particulares.

Toda la información recabada fue organizada, ordenada y expuesta siguiendo la línea de tiempo y el origen de los parentales originales, a partir de donde se establecieron las conclusiones fundamentales.

#### F.1.- Cobertura de la información

La cobertura referida en términos de tiempo fue muy amplia, pues cubrió desde los periodos coloniales hasta la actualidad, lo que generó información referente y documentada a partir del año 1530 cuando se informa sobre el presunto ingreso de la primera caña al territorio nacional procedente de Nicaragua y hasta el presente año 2020, para un total de 490 años consecutivos.

#### F.2.- Abordaje de la información

Muy importante indicar y considerar que todas las valoraciones realizadas en el presente estudio aplicaron de forma similar y homogénea pero de manera independiente para clones introducidos del exterior (vía asexual); como también para los nacionales obtenidos por la vía sexual de cruzamiento, nombrados y reconocidos mundialmente por la sigla descriptiva LAICA.

#### F.3.- Origen de la información consultada

Las consultas bibliográficas realizadas debieron ser por la magnitud del periodo involucrado (490 años) muy amplias, examinando lo que se estima representa buena parte de las mejores y más confiables fuentes de referencia escrita disponibles en el país sobre el tema. Algunas de las referencias utilizadas están contenidas en los textos nombrados seguidamente COSTA RICA (1949, 1963, 1974, 1982, 1983, 1991), Van der Laet (1911), Warner (1953), Ramírez (1952, 1953, 1954, 1969, 1979, 1980ab), Sáenz (1970), Machado y Burnquist (1986), Rodríguez (1987), Machado y Walker (1991), Aguilar (1994), Esquivel (1982), Barboza *et al.* (1982), León (2000), Flores (2001), Machado (2001), Chaves (1995b, 1995c, 1995d, 1997, 2001, 2012, 2017d, 2017e, 2018a -2018s, 2019a - 2019f), Chaves y Bermúdez (2012), DIECA (1990,

1992, 1994, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020), León y Arroyo (2012), entre muchas otras. Con la creación de DIECA en el año 1982 el trabajo se tornó más sencillo por contar con 10 Censos Cañeros que fueron de gran valor por su gran nivel de detalle (Chaves 1995b; Chaves *et al.* 1998, 2001, 2004, 2008, 2011, 2015, 2020; Vargas 1986), ubicando con mucha exactitud los materiales genéticos sembrados regionalmente. A los anteriores se agregan adicionalmente otros Censos realizados en el país (1950, 1955, 1963) conteniendo alguna información sobre la misma materia. En su estudio "*Siembra comercial de variedades de caña de azúcar: dinámica histórica de su cultivo en Costa Rica*", Chaves (2018b) realiza una amplia y detallada revisión histórica del recorrido seguido por las variedades de caña en el país, que permite ubicar y contextualizar el tema de la evolución genética por periodos de tiempo.

#### F.4.- Indicadores evaluados

Para satisfacer los objetivos planteados fueron establecidos varios indicadores referenciales, como son: a) variedad sembrada, b) año de introducción u obtención (fabricación), c) naturaleza del clon según fuera especie, cruce biparental o multiparental (policruza), d) sigla descriptiva de origen genético, e) identificación de los progenitores, f) grado de empleo de variedades en calidad de progenitores y g) país o centro de origen donde fue creada y liberada. El criterio seguido en la interpretación de la sigla de origen fue el aceptado a nivel mundial como lo detallara Chaves (2013, 2018a, 2019i).

### G.- RESULTADOS

Cumpliendo con la meta primordial de satisfacer los objetivos planteados originalmente, a continuación se exponen los resultados logrados de manera ordenada, desglosada y específica según corresponda a cada clon y condición particular, fueran estos importados o en su caso fabricados en el país.

#### H.- Variedades sembradas

Los criterios empleados para ubicar, calificar y catalogar una determinada variedad de caña como comercialmente importante, pueden ser

diversos y hasta controversiales en cuanto a su certeza para definir los indicadores más apropiados, los cuales en el presente caso estuvieron asociados a la calidad agroindustrial, extensión del área (ha) cultivada, características y propiedades biológicas, anatómicas, fitosanitarias, agronómicas, productivas, genéticas y hasta fisiológicas; el resultado financiero de sembrarla fue también importante, entre otras. Este ejercicio conlleva muchas veces inclusive tener que considerar sensibilidades y sentimientos personales, o en su caso, regionalismos y elementos territoriales, geográficos o productivos. Esta realidad del campo involucra factores de alguna manera subjetivos en algunos casos muy particulares. El área cultivada (hectáreas), la frecuencia de uso y siembra, los reportes históricos y la presencia de manera preferencial en algunas localidades geográficas, fueron al final los criterios que más influyeron para definir la condición y categoría de "variedad comercialmente importante". En total se identificaron 249 variedades en esa condición, como se comentara seguidamente de manera específica para cada circunstancia.

#### H.1.- Variedades importadas

Siguiendo los principios pregonados y luego de realizar una amplia y profunda revisión de fuentes bibliográficas y de información primaria y secundaria, fue posible identificar y calificar como "variedades comerciales importantes" un total de **181 clones** que han sido sembrados en el territorio nacional a través de la historia patria de los últimos 490 años, transcurridos en el periodo 1530 y 2020. Los mismos se anotan y citan de manera ordenada por sigla descriptiva de origen genético en el Cuadro 3. Adicionalmente, para cada clon específico se indica el año en que presuntamente fue ingresado a Costa Rica; así como también los progenitores que le dieron origen a cada uno de ellos, fuera por cruce biparental o cruce abierto, múltiple o policruza.

**Cuadro 3.**

Principales Variedades (181) sembradas comercialmente en Costa Rica durante su historia, con indicación de sus Progenitores de origen y año de introducción al país.

No.	Variedad	Año de Ingreso	Progenitor		No.	Variedad	Año de Ingreso	Progenitor	
			Femenino	Masculino				Femenino	Masculino
1	Azul del Perú	1955	CO 281	POJ 2878	31	B 80-689	1988	B 76-78	?
2	B 37-161	1951	B 33-65	B 603	32	B 82-333	1992	B 76-78	?
3	B 37-172	1954	POJ 2878	B 29-35	33	B 89-1351	1999	B 83-1057	?
4	B 40-98	1951	B 34-39	Co 290	34	BJ 75-04	1989	B 62-163	HJ 57-41
5	B 41-227	1951	B 35-207	POJ 2878	35	BJ 82-119	1992	B 62-138	B 70-574
6	B 43-62	1951	B 37-161	POJ 2878	36	BH 10/12	≈1930	B 6835	?
7	B 45-151	1959	B 39-254	B 34-104	37	BT 65-152	1983	ND	ND
8	B 47-44	1959	Co 421	B 40-98	38	Bamboo	<1900	S. oficinarum	
9	B 47-258	1960	B 39-254	B 34-104		Morada			
10	B 49-119	1959	B 35-218	B 40-98	39	Black	<1900	S. oficinarum	
11	B 50-135	1960	B 38-212	B 40-98		Cheribon			
12	B 50-377	1960	Co 421	B 43-375	40	Cato	1983	Badila	Q 813
13	B 52-405	1961	Co 421	B 41-227	41	Caledonia	<1900	S. oficinarum	
14	B 51-129	1971	B 45-170	B 41-227		Amarilla			
15	B 51-410	1962	B 35-207	POJ 2878	42	Caña Blanca	<1900	S. oficinarum	
16	B 52-405	1965	Co 421	B 41-227	43	Cinta	<1900	S. oficinarum	
17	B 54-142	1960	B 44-182	B 45-151	44	Criolla	1530	S. oficinarum	
18	B 54-277	1960	B 44-341	B 33-37	45	Criolla Morada	<1900	S. oficinarum	
19	B 57-150	1961	B 51-131	B 40-98	46	Cristalina	<1900	S. oficinarum	
20	B 58-1230	1963	TROJAN	B 40-98	47	Cubano	<1900	S. oficinarum	
21	B 59-92	1998	B 41-45	NCo 310	48	C 120-78	1996	Co 421	C 87-51
22	B 59-162	1964	B 45-154	B 46-364	49	C 266-70	1966	Co 281	POJ 2878
23	B 59-233	1964	POJ 2878	B 41-227	50	CC 93-4418	2012	Mex 64-1487	MZC 74-275
24	B 60-125	1965	B 47-155	B 49-119	51	CC 97-7170	2012	MZC 74-275	?
25	B 60-191	1965	H 32-8560	B 41-211	52	CC 01-1940	2012	CCSP 89-1997	?
26	B 60-267	1965	B 41-45	B 45-151	53	CF 916	1943	POJ 2725	SC 12
27	B 74-132	1975	B 63-118	?	54	CL 41-223	1964	F 31-436	F 31-452
28	B 76-259	1977	B 65-15	B 59-162	55	Co 210	≈1930	POJ 213	?
29	B 76-385	1998	B 62-165	B 61-60	56	Co 213	≈1930	POJ 213	Kansar
30	B 77-95	1978	ND	ND	57	Co 281	≈1930	POJ 213	Co 206

ND = No fue posible obtener los progenitores pese a procurarlos.  
DESC = Progenitores desconocidos

No.	Variedad	Año de Ingreso	Progenitor		No.	Variedad	Año de Ingreso	Progenitor	
			Femenino	Masculino				Femenino	Masculino
58	Co 290	1943	Co 221	D 74	92	H 61-1721	1987	H 49-3533	?
59	Co 419	1954	POJ 2878	Co 290	93	H 62-4671	1982	H 53-0263	?
60	Co 421	1953	POJ 2878	Co 285	94	H 68-1158	1982	H 53-3989	?
61	Co 453	1954	Cheribon Zw	Co 285	95	H 70-0144	1987	H 50-0723	?
62	Co 617	1954	POJ 2878	Co 285	96	H 71-4441	1982	ND	ND
63	Co 997	1973	Co 683	P 163/32	97	H 73-6110	1991	H 50-7209	?
64	CP 50-28	1964	CP 43-64	CP 33-372	98	H 74-1715	1993	H 61-1820	?
65	CP 52-43	1964	CP 43-64	CP 38-34	99	H 77-2545	1994	H 65-2209	?
66	CP 57-603	1964	CL 47-143	?	100	H 77-4643	1991	H 60-3862	?
67	CP 70-1133	1986	67 P 6	CP 56-63	101	H 82-7318	1994	ND	ND
68	CP 72-1210	1987	CP 65-357	CP 56-63	102	HJ 57-41	1967	H 40-1184	?
69	CP 72-1312	1987	CP 65-357	CP 56-63	103	Japonesa	1943	S. sinense	
70	CP 72-2086	1975	CP 62-374	CP 63-588	104	Ja 60-5	1980	Ja 55-663	B 42-231
71	CP 80-1743	1988	CP 72-2083	CP 68-1067	105	Ja 64-11	?	POJ 2878	Co 356
72	CP 87-1248	1994	CP 78-1610	CP 72-1210	106	L 60-14	1969	CP 52-1	CP 48-103
73	CP 88-1165	1994	CL 61-620	CP 81-1302	107	M 28	1943	POJ 2725	SC 12
74	CP 88-1696	1998	CP 79-318	CP 80-1743	108	M 42	1943	SC 12	POJ 2725
75	CP 00-2150	2003	L 91-113	TCP 84-3263	109	MC 666	1943	Baragua 517	EK 28
76	CR 61-01	?	Co 290	B 41-227	110	Mex 57-473	1966	CB 40-77	CP 43-47
77	CR 74-250	1988	CP 52-68	B 45-181	111	Mex 58-1230	1966	POJ 2878	Co 331
78	D 1135	<1958	D 103	?	112	Mex 64-1487	1987	POJ 2878	?
79	D 136/56	1967	Co 360	NCo 310	113	Mex 68-P-23	1987	Mex 59-89	?
80	Eros	1955	POJ 2878	M Q 31-228	114	Mex 70-485	1987	H 32-8560	Mex 57-473
81	FT 2000	>2000	Desconocida	Desconocida	115	Mex 79-431	1995	Co 421	Mex 57-473
82	H 32-8560	1955	POJ 2878	H 28-4399	116	My 54-65	1999	B 42-231	Co 421
83	H 37-1933	1951	H 32-8560	H 34-1874	117	My 56-19	?	B 42-231	CP 29-116
84	H 44-3098	1962	H 32-8560	?	118	NA 85-1602	2000	?	?
85	H 49-5	1962	H 41-3340	H 37-1933	119	NA 56-42	≈1980?	Desconocido	Desconocido
86	H 49-104	1962	H 41-1181	?	120	NCo 310	1959	Co 421	Co 312
87	H 50-7209	1964	H 44-3098	?	121	NCo 376	1974	Co 421	Co 312
88	H 54-775	1976	H 51-3101	?	122	Otaheite	<1900	S. oficinarum	
89	H 57-5174	1969	H 49-5	?	123	Pindar	1953	Co 270	MQ 33-157
90	H 59-3775	1971	H 50-7209	H 49-5	124	POJ 36	≈1930	Striped	Chunnee
91	H 60-8521	1982	H 51-8194	?				Preanger	

ND = No fue posible obtener los progenitores pese a procurarlos.  
DESC = Progenitores desconocidos

No.	Variedad	Año de Ingreso	Progenitor	
			Femenino	Masculino
	POJ 213	≈1930	Black Cheribon	Chunnee
	POJ 979	≈1930	Black Cheribon	Chunnee
	POJ 2714	1927	POJ 2364	EK 28
	POJ 2725	1927	POJ 2364	EK 28
	POJ 2878	1927	POJ 2364	EK 28
	POJ 2940	<1950	POJ 2722	EK 28
	POJ 2961	1943	POJ 2878	POJ 2940
	POJ 3016	1951	POJ 2878	POJ 2940
	PR 803	1943	POJ 2725	SC 12
	PR 900	1955	POJ 2364	SC 12/4
	PR 980	<1958	Co 281	POJ 2878
	PR 1000	<1958	Co 281	POJ 2878
	PR 11-41	1987	Co 281	POJ 2878
	PR 61-632	1987	Co 421	POJ 2878
	PR 67-1355	1998	PR 980	?
	PR 80-2038	1998	ND	ND
	Q 63	1969	Trojan	CP 29-116
	Q 67	1969	Trojan	Q 27
	Q 68	1969	POJ 2878	Co 290
	Q 75	1969	Co 475	POJ 2878
	Q 77	1969	H 35-198	H 39-3633
	Q 88	?	Co 270	?
	Q 96	1979	Q 63	Q 68
	Q 99	1983	Trojan	Co 475
	Q 102	1979	Q 63	H 35-198
	Q 117	1995	Q 77	58 N 829
	Q 124	1995	NCo 310	54 N 70-96
	Q 132	1995	Q 79	H 49-104
153	Q 135	1995	NCo 310	54 N 70-96
154	Q 138	1995	58 N 829	66 N 2008
155	Ragnar	1988	Co 270	M Q 33-371
156	RB 72-1012	1983	Co 331	?
157	RB 73-9735	1983	CB 52-179	?
158	RB 78-5148	1985	IAC 47-31	?
159	RB 83-594	2001	RB 72-454	B 33-37
160	RB 86-7515	2000	RB 72-454	?
161	RB 98-710	2009	SP 81-3250	RB 93-509
162	RB 99-381	2009	CR 64-215	RB 86-7515
163	RD 75-10	1988	CB 38-22	CP 57-603
164	RD 75-11	1988	B 38-22	CP 57-603
165	Saboriana	?	Desconocida	Desconocida
166	SC 12/4	≈1930	B 68-35	B 45-78
167	SP 70-1143	1983	IAC 48-65	?
168	SP 70-1284	?	CB 41-76	?
169	SP 71-1406	1983	NA 56-79	?
170	SP 71-3149	1983	NA 56-79	?
171	SP 71-5574	1983	CB 49-260	CP 65-588
172	SP 71-6180	1983	NA 56-79	?
173	SP 78-4764	2000	H 66-6254	?
174	SP 79-2233	1993	H 56-2954	?
175	SP 81-3250	1994	CP 70-1547	SP 71-1279
176	SP 82-1176	1994	SP 71-5368	SP 70-1143
177	Trojan	1953	Co 270	M Q 27-1124
178	TW 85-10	?	CR 87-205	?
179	Uba	<1900	S. sinense	
180	UCW 54-65	?	B 42-231	Co 421
181	Vesta	1955	POJ 2878	31 M Q 228

ND = No fue posible obtener los progenitores pese a procurarlos.

DESC = Progenitores desconocidos



Como es obvio señalar en este acápite tan amplio, son muchos los clones que las referencias bibliográficas consultadas mencionan como importantes, algunos de los cuales no lo fueron, razón por la cual se consideraron en su selección, básica y discrecionalmente los que cumplieron a cabalidad con los indicadores establecidos y se estimaron por ello, más importantes y trascendentes agrónomicamente, marcando pauta en la historia nacional y regional. Esta labor resultó más difícil de realizar en periodos antiguos anteriores al año 1950, cuando el control técnico y la documentación referente a esos criterios era muy limitada por carecer de instrumentos institucionales bien estructurados y referenciales mejor organizados.

De acuerdo con las referencias históricas, se considera que el primer material genético introducido al territorio nacional procedente del norte fue la caña denominada “criolla” que correspondía a una selección natural de la especie domesticada *Saccharum officinarum*. En periodos posteriores pero antepuestos al año

1900 surgieron otros clones conseguidos de la misma forma y la misma especie, a partir de selección masal en el campo, como fueron la Bamboo Morada, Black Cheribon, Caledonia Amarilla, Caña Blanca, Cinta, Otaheite, Cristalina y Cubana. Adicionalmente hubo clones de la especie *Saccharum sinense* como la Japonesa y la Uba que también marcaron relevancia (Sáenz 1970; Chaves 1997, 2018a, 2018b; Flores 2001; León y Arroyo 2012). Hay que entender y tener claro para interpretar correctamente el tema y contextualizar bien los tiempos, que la primera estación experimental con programa de mejora genética en caña conocido en el mundo, operó en Java a partir de 1882, seguido por los de Barbados y Guyana en 1889, lo cual permite asegurar que previo a esos años no hubo labor de cruzamiento, solo de selección natural (Chaves 2018a).

El ingreso de las POJ 2714, POJ 2725 y POJ 2878 procedentes de Cuba en el año 1927 marcaron la agroindustria nacional, lo que fue seguido de otras variedades como Co 281, Co 290, BH 10-12, MC 666, M 28, POJ 114, CF 916, PR

676 y PR 803. Luego de 1950 cuando el país contó con un programa específico de variedades en su nueva Sección de Caña en el MAI, es cuando aparecen clones muy importantes como B 37-161, B 41-227, B 43-62, B 45-151, B 47-44, B 49-119, NCo 310, PINDAR, TROJAN, EROS, VESTA, AZUL DEL PERÚ, Co 419, Co 421, Co 617, H 32-8560 y H 37-1933, PR 980, entre muchas otras, las cuales fueron precedidas en su selección de una labor más técnica. El periodo 1960-1970 marcó el ingreso de variedades igualmente muy conocidas en la región Norte, Centroamericana y El Caribe como B 50-135, B 50-377, B 54-142, B 57-150, B 60-125, B 60-267, BJ 59-24, Co 997, CP 50-28, CP 52-43, CP 57-603, H 44-3098, H 49-5, H 49-104, H 50-7209, H 57-5174, HJ 57-41, L 60-14, Mex 57-473, Mex 57-1285, Mex 58-1230, y la serie de clones australianos sigla Q como fueron Q 63, Q 67, Q 68, Q 75 y Q 78. Para la década 70-80 ingresaron y se cultivaron en nuestros campos materiales como B 51-129, B 63-118, B 74-132, B 77-259, B 77-95, BJ 63-132, BJ 68-02, CP 7-2-2086, Co 997, H 59-3775, H 54-775, NCo 376, Q 96 y Q 102, algunos de los cuales se mantienen vigentes aún hoy día.

Con el reforzamiento y apoyo que El Estado brindó a la Sección de Caña del MAG en 1980 y la creación de DIECA en mayo de 1982 el giro de la investigación en materia genética adquirió una nueva fisonomía, donde el orden y el rigor científico definieron los lineamientos del trabajo realizado (Chaves 2017d, 2017e, 2018b; Chaves y Bermúdez 2020k). Esto hizo que el periodo 1980-90 cuando las plantaciones comerciales de caña se vieron fuertemente impactadas por enfermedades graves como la roya café (*Puccinia melanocephala*), el carbón (*Sporisorium scitamineum*) y la escaldadura foliar (*Xanthomonas albilineans*), entre otras; se acudiera al ingreso masivo de clones del exterior y la adquisición de “semilla sexual o fuzz” donada por prestigiosos centros experimentales de México, Barbados y Brasil, lo que dio inicio al programa nacional que origino los clones sigla LAICA. En este periodo ingresaron variedades como B 80-689, BJ 75-04, BT 65-152, CP 70-1133, CP 72-1210, CP 72-1312, CR 74-250, Ja 60-5, H 60-8521, H 61-1721, H 62-4671, H 68-1158, Mex 68-p-23, Mex 70-485, My 54-65, NA 56-42, Q 99, RAGNAR, RB 72-1012, RB 73-9735, RD 75-10, RD 75-11, SP 70-1143, SP 71-5574 y SP 71-

6180. Entre los años 1990 y 2000 se continuo con la importación e incorporación de clones importantes del exterior, entre los que destacan B 76-385, B 82-333, BJ 82-119, CP 87-1248, H 74-1715, H 77-2545, H 77-4643, Mex 79-431, My 54-65, PR 80-2038, Q 117, Q 124, Q 132, Q 135, Q 138, SP 79-2233, SP 81-3250 y SP 82-1176. Los últimos 20 años (2000-2020) no han sido excepción, pues muchos de los clones introducidos han tenido relevancia en el campo, como sucede con CC 93-4418, CC 01-1940, CP 00-2150, NA 85-1602, RB 83-594, RB 86-7515, RB 98-710, RB 99-381 y SP 78-4764, entre otros actualmente en fase de crecimiento en área sembrada. Un mayor detalle de esta información puede ser consultada en Chaves (1995b, 2018b).

No cabe la menor duda que la gestión técnico-institucional público-privada realizada históricamente en el país en torno a la importación de materiales genéticos, precedidos de antecedentes conocidos y positivos, ha sido importante y muy fructífera aunque también circunstancial y hasta coyuntural, pues ha permitido satisfacer las diferentes y exigentes necesidades de siembra que los agricultores de las diferentes regiones productoras de caña han requerido.

**H.2.- Variedades nacionales**

En torno a esta condición especial de materiales genéticos se identificó un total de **68 variedades** sigla LAICA citadas entre promisorias y comerciales desde que inició el programa desarrollado por DIECA en el año 1982, como lo muestra el Cuadro 4. Se anotan complementariamente los clones que específicamente actuaron como progenitores en la labor de cruzamiento e hibridación realizados para su obtención en la Estación Experimental de DIECA, ubicada en Santa Gertrudis Sur de Grecia, Alajuela. Adicionalmente y como argumento técnico para contextualizar la situación nacional actual con este grupo selecto de variedades, se expone en el Cuadro 5 el detalle por región agrícola de los 18 clones nacionales que se encuentran actualmente en fase avanzada de selección y con muy altas posibilidades de pasar pronto a uso comercial en esas localidades; el tiempo lo dirá.

**Cuadro 4.**

Progenitores de las principales Variedades (68) comerciales y promisorias. Sigla LAICA, sembradas en Costa Rica durante el periodo 1982-2020 (38 años)

No.	Clon	Progenitor		No.	Clon	Progenitor	
		Femenino	Masculino			Femenino	Masculino
1	LAICA 82-135	POJ 2878	?	35	LAICA 04-809	RD75-11	B 60-267
2	LAICA 82-1729	POJ 2878	?	36	LAICA 04-825	Desconocido	Desconocido
3	LAICA 82-2020	POJ 2878	?	37	LAICA 05-802	H 77-4643	?
4	LAICA 85-648	SP 71-4161	?	38	LAICA 05-805	H 77-4643	?
5	LAICA 85-653	SP 70-294	?	39	LAICA 06-308	Saboriana	TCP 87-3388
6	LAICA 85-662	IAC 51-205	?	40	LAICA 06-322	Saboriana	TCP 87-3388
7	LAICA 85-667	IAC 51-205	?	41	LAICA 06-328	TCP 87-3388	?
8	LAICA 85-675	IAC 51-205	?	42	LAICA 07-09	SP 86-042	?
9	LAICA 86-08	CB 52-54	?	43	LAICA 07-20	H 77-4643	B 76-259
10	LAICA 87-11	R 570	?	44	LAICA 07-26	H 77-4643	B 76-259
11	LAICA 87-17	R 570	?	45	LAICA 07-203	H 68-1158	?
12	LAICA 87-601	R 570	?	46	LAICA 07-309	H 77-4643	B 76-259
13	LAICA 88-50	NA 56-79	?	47	LAICA 07-801	SP 81-2068	?
14	LAICA 90-24	H 53-3989	?	48	LAICA 08-22	RD 75-11	RB 83-102
15	LAICA 94-316	SP 81-3250	SP 78-5495	49	LAICA 08-315	B 76-259	Mex 79-431
16	LAICA 94-813	SP 70-1143	?	50	LAICA 08-354	HoCP 91-555	?
17	LAICA 96-02	Q 93	?	51	LAICA 08-361	RD 75-11	RB 83-102
18	LAICA 96-09	SP 80-1520	?	52	LAICA 08-390	Mex 79-431	B 76-259
19	LAICA 00-03	CTC 93-823	?	53	LAICA 08-808	RD 75-11	RB 83-102
20	LAICA 00-301	CTC 93-811	?	54	LAICA 09-370	Saboriana	TCP 87-3388
21	LAICA 00-303	CTC 93-858	?	55	LAICA 09-374	Saboriana	TCP 87-3388
22	LAICA 01-213	RD 75-11	SP 71-5574	56	LAICA 09-375	Saboriana	TCP 87-3388
23	LAICA 01-604	Q 96	SP 70-1143	57	LAICA 09-866	Saboriana	TCP 87-3388
24	LAICA 03-805	Q 96	SP 70-1143	58	LAICA 10-30	RB 86-7515	TCP 87-3388
25	LAICA 04-10	SP 71-3149	?	59	LAICA 10-202	LAICA 03-06	TCP 87-3388
26	LAICA 04-44	SP 71-3149	?	60	LAICA 10-207	B 77-95	SP 82-1176
27	LAICA 04-46	SP 71-3149	?	61	LAICA 10-804	RB 86-7515	TCP 87-3388
28	LAICA 04-250	H 77-4643	?	62	LAICA 10-809	SP 86-042	TCP 87-3388
29	LAICA 04-261	H 78-2313	Q 96	63	LAICA 11-27	RD 75-11	?
30	LAICA 04-303	Co 421	Q 96	64	LAICA 11-37	RB 91-2525	SP 71-3149
31	LAICA 04-316	Q 96	SP 70-1284	65	LAICA 11-661	CP 01-1779	?
32	LAICA 04-321	Q 96	SP 70-1143	66	LAICA 12-339	Co 421	TCP 87-3388
33	LAICA 04-324	Q 96	SP 70-1143	67	LAICA 12-340	Co 421	TCP 87-3388
34	LAICA 04-341	SP 79-2233	CP 72-2086	68	LAICA 16-49	LAICA 03-805	?

Fuente: Chaves (1995b, 2018c, 2018i); DIECA (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

### Cuadro 5.

Principales clones (18) nacionales (Sigla LAICA) promisorios según región productora de caña de azúcar en Costa Rica. Año 2020.

Región Cañera*								
Guanacaste		Pacífico Central	Valle Central	Zona Norte		Turrialba-Juan Viñas		Zona Sur
Este	Oeste			San Carlos	Los Chiles	Zona Media	Zona Alta	
LAICA 08-361	LAICA 08-361	LAICA 08-361	LAICA 11-27	LAICA 07-26	LAICA 07-26	LAICA 07-26	LAICA 05-805	LAICA 07-801
LAICA 08-390	LAICA 08-390	LAICA 08-390	LAICA 11-37	LAICA 08-390	LAICA 08-390	LAICA 07-203	LAICA 07-26	LAICA 08-390
LAICA 09-370	LAICA 09-370	LAICA 09-370	LAICA 12-62	LAICA 10-207	LAICA 08-808	LAICA 08-390	LAICA 07-203	LAICA 10-202
LAICA 09-374	LAICA 09-374	LAICA 10-207	LAICA 12-340	LAICA 10-804	LAICA 10-207	LAICA 10-207		LAICA 11-661
LAICA 12-340	LAICA 12-340	LAICA 12-340	LAICA 16-49	LAICA 12-340	LAICA 12-340	LAICA 12-340		LAICA 16-49

Fuente: Durán Alfaro, Jose R. Setiembre 2020. DIECA (2019, 2020).

\* El orden de ubicación no corresponde a importancia.

Una revisión de las variedades nacionales que más han destacado, ubica los clones de mayor difusión y uso comercial en el país en la Región Sur, el Valle Central y la Zona Norte como las que mejor adaptación y acogida han tenido. La labor realizada en esta vía de búsqueda de mejores variedades ha sido seria, profesional, responsable y muy coherente con los criterios y protocolos de mejora seguidos en el mundo. La información disponible en torno al tema es muy amplia y profusa como lo demuestran las participaciones de Chaves (1995c, 1995d, 2012, 2018c, 2018i, 2018s.), 2019d, 2019e, Chaves y Bermúdez (2012), Durán (2018), Durán y Oviedo (2015), Oviedo y Durán (2013, 2015) y DIECA (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

Un detalle de las variedades más difundidas y de mejor adaptación ubica las siguientes como más destacadas: LAICA 82-135, LAICA 82-1729, LAICA 82-2020, LAICA 00-301, LAICA 01-604, LAICA 03-805, LAICA 04-250, LAICA 04-809, LAICA 04-825, LAICA 05-802, LAICA 05-805, LAICA 07-20 y LAICA 07-26, entre otras; las cuales se han distinguido en diferentes momentos.

#### I.- Distribución en el tiempo

La contextualización y ubicación de los materiales genéticos referenciados en torno al tiempo de introducción o hibridación en el país, resulta importante de valorar para proyectar la intensidad y efectividad de la gestión de generación y selección emprendida, realizada por las instituciones responsables de dicha labor en diferentes momentos históricos.

##### I.1.- Según año de ingreso al país

Se consideró interesante y valioso conocer la distribución de las 181 variedades importadas que fueron identificadas y seleccionadas como de importancia comercial, valoradas en este caso en relación al año de su presunto ingreso al país, por cuanto todos los clones deben seguir obligadamente un proceso continuo y sistemático de fases sucesivas de prueba y selección hasta alcanzar su posible uso comercial, como fue descrito anteriormente.

Luego de superar esa amplia y prologada etapa de valoración preventiva (cuarentenas cerrada-abierta), reproducción vegetativa de los materiales en zona no cañera, distribución y siembra regional e investigación y estudio en fases sucesivas de evaluación, los clones seleccionados pasan a convertirse en promisorios, lo cual mediante pruebas posteriores de validación semicomercial de campo y comprobación de su buen comportamiento agroindustrial pasan entonces a ser luego de 10-12 años de uso comercial local, regional o nacional.

En esta materia la presencia o en su caso ausencia de características y atributos como rusticidad, capacidad de adaptación a condicio-

nes limitantes de clima (humedad, temperatura, luz, viento), suelo (tipo, relieve, fertilidad, etc.), fitosanidad (plagas, enfermedades), características agronómicas (germinación, retoñamiento, ahijamiento, cierre, volcamiento, despaje, etc.), productividad de caña industrializable (t/ha), concentración de sacarosa en los tallos (kg/t caña), productividad de azúcar (t/ha), características industriales (brix, POL, fibra, pureza), duración del ciclo vegetativo (12-24 meses), grado de floración, comportamiento a la maduración (temprana, media, tardía) y duración del ciclo comercial expresado en cantidad de cosechas, entre otras, definen el posible avance de un material genético hasta su uso masivo regional y/o nacional.

### Cuadro 6.

Ubicación de las variedades según año de introducción a Costa Rica.

Periodo Años	Variedades	
	No.	%
1530	1	0,55
< 1900	10	5,52
1927 - 1950	20	11,05
1951 - 1960	30	16,57
1961 - 1970	30	16,57
1971 - 1980	13	7,18
1981 - 1990	31	17,13
1991 - 2000	31	17,13
2001 - 2010	4	2,21
2011 - 2020	3	1,66
Desconocido	8	4,42
<b>Total</b>	<b>181</b>	<b>100</b>

\* Corresponde al año en que los clones fueron ingresados al país.

## SECCIÓN EDITORIAL

La información y ubicación de las 181 variedades (Cuadro 3) en cuanto a tiempo de ingreso al país, se resume en el Cuadro 6, en el cual se establecen varios periodos de posible introducción fijados en décadas aplicados entre los años 1951 y 2020, que permiten conceptualizar con mejor criterio los años involucrados. Se anotan adicionalmente por comodidad otros cuatro periodos diferentes al de las décadas, entre los cuales se ubica el probable ingreso de la primera variedad de caña al país ocurrida presuntamente en el año 1530 procedente de Nicaragua, como lo mencionara Chaves (1997, 2001, 2018a, 2018b). Procurando de igual manera ser consecuente y coherente con la amplia referencia documental disponible, se fijaron por comodidad otros dos criterios de ubicación, uno referido a los clones sembrados antes del año 1900 y otro con cobertura de 23 años aplicado al periodo 1927 y 1950. Se adopta el año 1927 por corresponder con una fecha histórica importante que marcó pauta nacional, como fue la fundación de la Escuela Nacional de Agricultura como dependencia de la Secretaría de Fomento y Agricultura en 1926, la cual dio un giro importante a la labor de investigación y experimentación agropecuaria en el país, cuyo primer director fue el Ing. Agr. Bernardo R. Yglesias Rodríguez (Saenz 1970; Barboza *et al.* 1982; León y Arroyo 2012; Chaves 2001; Chaves y Bermúdez 2020k). También se menciona que hubo ocho variedades que no fue posible ubicar en el tiempo pese al esfuerzo realizado, el cual fue anotado e identificado en este caso como “Desconocido”.

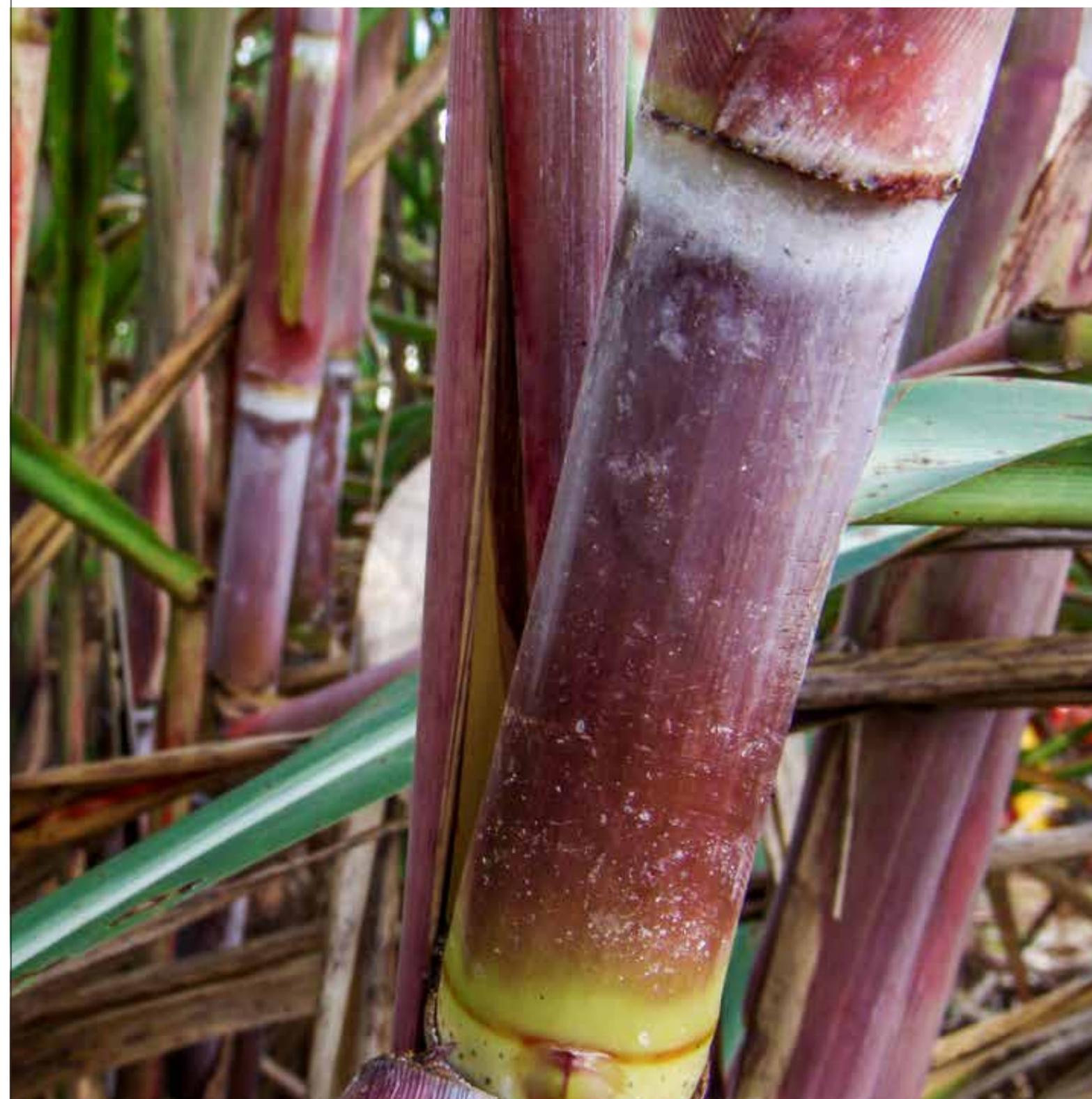
El Cuadro 6 revela que el ingreso de variedades procedentes del exterior y que por su calidad agroindustrial llegaron luego a ser comercialmente importantes en el país, no fue equilibrado cuando ponderado en el tiempo, pese a lo cual hubo cuatro décadas relativamente similares que van de 1951 a 1970 y de 1981 al año 2000 con promedios de 30 y 31 clones/década, respectivamente. Luego del año 2001 el mismo indicador es bajo y uniforme con una media de apenas 3,5 variedades. Durante la década 1971-1980 el aporte de lo que se importó y llegó a ser comercial (13 clones) fue relativamente poco. Los 10 clones anotados antes del año 1900 corresponde básicamente a especies del Grupo *Saccharum* mejor conocidas como Variedades “Nobles” (Stevenson 1965; Flores 2001). El 44,2% de todos los clones comerciales se importaron

entre los años 1927 y 1970 (43 años); complementados con un 34,3% entre 1981 y 2000 (19 años), para una representación conjunta del 78,4%. Como se infiere mucho se importa, estudia e investiga como sucedió en el periodo 2001-2020, pero poco puede llegar a ser al final de uso comercial, lo cual acontece por cinco posibles situaciones, como son: a) el aumento y cobertura complementaria y suplementaria acontecida en el cultivo de variedades nacionales, b) la satisfacción por lo que se dispone para uso comercial en el momento, c) no tener la necesidad, la disposición o la capacidad de cambiar de variedad, d) los criterios de selección son más exigentes y rigurosos y e) los clones evaluados no superaron ni fueron mejores que los existentes en el momento.

Señala Chaves (2018a) en torno al pródigo trabajo genético mundial de crear nuevas variedades mediante cruzamientos dirigidos, que “...las referencias indican que los primeros estudios se realizaron por Soltwedel en Semarang desde 1882; pasando luego en 1887 a la East Java Experiment Station, ubicada en Pasuruan mejor conocida como Proefstation Oost Java, donde a partir de los primeros cruces interespecíficos entre *S. officinarum* y *S. spontaneum* se dio lugar a los clones POJ 36 y POJ 213 en 1893”. Dicha labor fue luego seguida en 1889 por grupos de trabajo de Barbados y Guyana al crear sus propios programas de mejora y abrir sus Estaciones Experimentales. Puede inferirse por ello, que las plantas de caña de azúcar sembradas antes de 1882 correspondían a crecimientos y selecciones naturales (especies domesticadas) de biotipos sobresalientes de la planta y no a clones expresamente fabricados mediante cruzamientos dirigidos.

### 1.2.- Según año de hibridación en el país

Por su parte, la Figura 2 muestran la tendencia seguida por el mismo indicador de tiempo pero aplicado en esta oportunidad por quinquenios a las 68 variedades sigla LAICA identificadas como comerciales, promisorias y de interés genético. La distribución es muy heterogénea mostrando los mejores valores durante la década 2000-2010, propiamente en el periodo 2006-2010 cuando 24 clones que representaron el 35,3% calificaron como promisorios y comerciales.



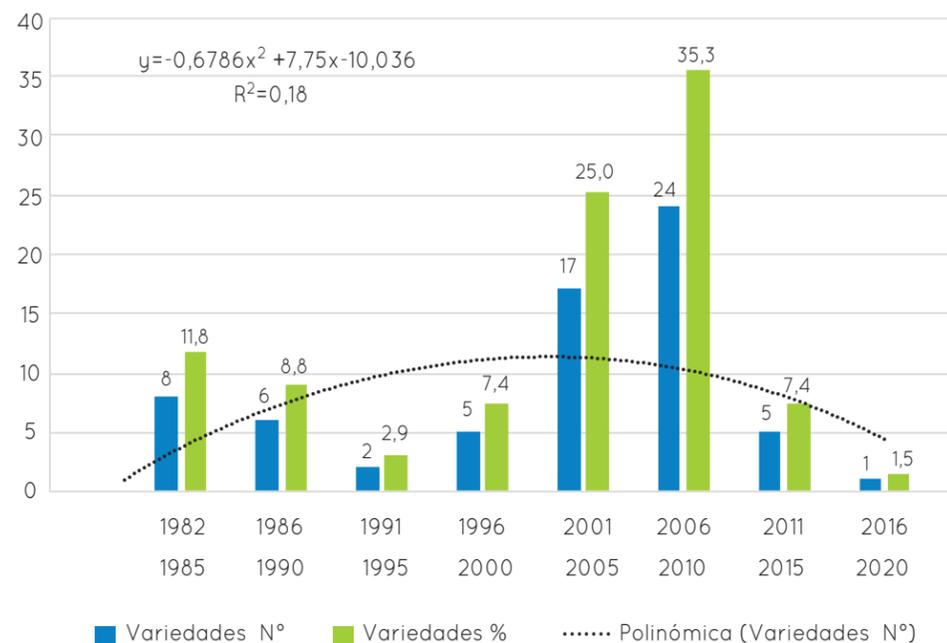


Figura 2.

Año de hibridación de las variedades LAICA en Costa Rica .

J.- Progenitores

Vistos y expuestos los dos importantes indicadores anteriores (variedades y año), corresponde identificar y ubicar ahora lo concerniente a los progenitores que dieron origen a las **249 variedades** citadas (181 importadas y 68 nacionales) y referidas por su uso comercial. La valoración se realiza de manera desagregada según sea la participación del clon como progenitor femenino o masculino, lo cual marca alguna diferencia en su aporte genético y heredabilidad a la nueva progenie

J.1.- Variedades importadas

En la creación de las 181 variedades de caña de azúcar identificadas y calificadas como importantes y mostradas en el Cuadro 3, se encontró que participaron **175 progenitores** diferentes actuando como parental femenino o en su caso masculino, lo que incluyó las especies

naturales *Saccharum officinarum* y *Saccharum sinense* (Cuadro 7). Se reportan además cinco variedades cuyos progenitores no fue posible identificar pese a existir siendo por ello referidos como **No Disponible** (ND), pese al esfuerzo de consulta nacional e internacional realizado; hubo adicionalmente otros cuatro parentales que fueron declarados como **Desconocidos** (DESC).

En este sentido el total de materiales genéticos que se calificó fue entonces de 181 clones. Es interesante mencionar que los 175 clones empleados en los cruces, solamente 11 (6,3%) actuaron como progenitores masculinos y femeninos, lo que denota su calidad, sumados a las 9 selecciones o biotipos naturales. Esos clones selectos fueron: B 42-231, Co 290, Co 331, Co 421, Co 475, H 35-198, H 49-5, MZC 74-275, 58N829, POJ 2725 y POJ 2878. Seguidamente se expone cada condición genética de manera particular según su participación para este origen.

Cuadro 7.

Progenitores (175) de las Variedades sembradas comercialmente en Costa Rica durante su historia, con indicación de su empleo como Femenino o Masculino.

No.	Variedad	Progenitor		No.	Variedad	Progenitor	
		Femenino	Masculino			Femenino	Masculino
1	B 29-35		X	35	B 63-118	X	
2	B 33-37		X	36	B 65-15	X	
3	B 33-65	X		37	B 68-35	X	
4	B 34-39	X		38	B 70-574		X
5	B 34-104		X	39	B 76-78	X	
6	B 35-207	X		40	B 83-1057	X	
7	B 35-218	X		41	Badila	X	
8	B 37-161	X		42	Baragua	X	
9	B 38-22	X		43	Bamboo Morada	S. officinarum	
10	B 38-212	X		44	Black Cheribon	X	
11	B 39-254	X		45	Caledonia Amarilla	S. officinarum	
12	B 40-98		X	46	Caña Blanca	S. officinarum	
13	B 41-45	X		47	Chunnee		X
14	B 41-211		X	48	Cinta	S. officinarum	
15	B 41-227		X	49	Criolla	S. officinarum	
16	B 42-231	X	X	50	Criolla Morada	S. officinarum	
17	B 43-375		X	51	Cristalina	S. officinarum	
18	B 44-182	X		52	Cubana	S. officinarum	
19	B 44-341	X		53	C 87-51		X
20	B 45-78		X	54	CB 38-22	X	
21	B 45-151		X	55	CB 40-77	X	
22	B 45-154	X		56	CB 41-76	X	
23	B 45-170	X		57	CB 49-260	X	
24	B 45-181		X	58	CB 52-179	X	
25	B 46-364		X	59	CCSP 89-1997	X	
26	B 47-155	X		60	CL 47-143	X	
27	B 49-119		X	61	Co 206		X
28	B 51-131	X		62	Co 221	X	
29	B 59-162		X	63	Co 270	X	
30	B 60-3		X	64	Co 281	X	
31	B 61-60		X	65	Co 285		
32	B 62-138	X		66	Co 290	X	
33	B 62-163	X		67	Co 312		
34	B 62-165	X		68	Co 331	X	

\* El porcentaje se estima respecto a 183 variedades que operaron como parentales.

No.	Variedad	Progenitor		No.	Variedad	Progenitor	
		Femenino	Masculino			Femenino	Masculino
69	Co 356		X	106	H 34-1874		X
70	Co 360	X		107	H 35-198	X	X
71	Co 421	X	X	108	H 37-1933		X
72	Co 475	X	X	109	H 39-3633		X
73	Co 683	X		110	H 40-1184	X	
74	CP 29-116		X	111	H 41-1181	X	
75	CP 33-372		X	112	H 41-3340	X	
76	CP 38-34		X	113	H 44-3098	X	
77	CP 43-47		X	114	H 49-5	X	X
78	CP 43-64	X		115	H 49-104		X
79	CP 48-103		X	116	H 49-3533	X	
80	CP 52-1	X		117	H 50-0723	X	
81	CP 52-68	X		118	H 50-7209	X	
82	CP 56-63		X	119	H 51-3101	X	
83	CP 57-603		X	120	H 51-8194	X	
84	CP 61-620	X		121	H 53-0263	X	
85	CP 62-374	X		122	H 53-3989	X	
86	CP 63-588		X	123	H 56-2954	X	
87	CP 65-357	X		124	H 60-3862	X	
88	CP 65-588		X	125	H 61-1820	X	
89	CP 68-1067		X	126	H 65-2209	X	
90	CP 70-1547	X		127	H 66-6254	X	
91	CP 72-1210		X	128	HJ 57-41		X
92	CP 72-2083	X		129	IAC 47-31	X	
93	CP 78-1610	X		130	IAC 48-65	X	
94	CP 79-318	X		131	Ja 55-663	X	
95	CP 80-1743		X	132	Kansar		X
96	CP 81-1302		X	133	L 91-113	X	
97	CR 64-215	X		134	Mex 57-473		X
98	CR 87-205	X		135	Mex 59-89	X	
99	D 74		X	136	Mex 64-1487	X	
100	D 103	X		137	31 MQ 228		X
101	EK 28		X	138	MQ 27-1124		X
102	F 31-436	X		139	MQ 31-228		X
103	F 31-452		X	140	MQ 33-157		X
104	H 28-4399		X	141	MQ 33-371		X
105	H 32-8560	X		142	MZC 74-275	X	X

\* El porcentaje se estima respecto a 183 variedades que operaron como parentales.

No.	Variedad	Progenitor		No.	Variedad	Progenitor	
		Femenino	Masculino			Femenino	Masculino
143	54 N 70-96		X	163	RB 72-454	X	
144	58 N 829	X	X	164	RB 86-7515		X
145	66 N 2008		X	165	RB 93-509		X
146	NA 56-79	X		166	SC 12	X	X
147	NCo 310	X		167	SC 12/4		X
148	67-P-6	X		168	SP 70-1143		X
149	P 163/32		X	169	SP 71-1279		X
150	POJ 213	X		170	SP 71-5368	X	
151	POJ 2364	X		171	SP 71-6949	X	
152	POJ 2722	X		172	SP 81-3250	X	
153	POJ 2725	X	X	173	Striped Preanger	x	
154	POJ 2878	X	X	174	TCP 84-3263		X
155	POJ 2940		X	175	Uba	S. sinense	
156	PR 980	X			Parentales	102	76
157	Q 27		X		Especies	2	2
158	Q 63	X			ND	5	5
159	Q 68		X		DESCONOCIDO	4	4
160	Q 77	X			<b>TOTAL</b>	<b>113</b>	<b>87</b>
161	Q 79	X			<b>% *</b>	<b>61.74</b>	<b>47.54</b>
162	Q 813		X				

\* El porcentaje se estima respecto a 183 variedades que operaron como parentales.



### Cuadro 8.

Progenitores FEMENINOS (102) de las variedades de caña de azúcar de uso comercial histórico en Costa Rica.

No.	Variedad	No.	Variedad	No.	Variedad
1	B 33-65	35	Co 281	69	H 53-3989
2	B 34-39	36	Co 290	70	H 56-2954
3	B 35-207	37	Co 331	71	H 60-3862
4	B 35-218	38	Co 360	72	H 61-1820
5	B 37-161	39	Co 421	73	H 65-2209
6	B 38-22	40	Co 475	74	H 66-6254
7	B 38-212	41	Co 683	75	IAC 47-31
8	B 39-254	42	CP 43-64	76	IAC 48-65
9	B 41-45	43	CP 52-1	77	Ja 55-663
10	B 42-231	44	CP 52-68	78	L 91-113
11	B 44-182	45	CP 61-620	79	Mex 59-89
12	B 44-341	46	CP 62-374	80	Mex 64-1487
13	B 45-154	47	CP 65-357	81	MZC 74-275
14	B 45-170	48	CP 70-1547	82	58-N-829
15	B 47-155	49	CP 72-2083	83	NA 56-79
16	B 51-131	50	CP 78-1610	84	NCo 310
17	B 62-138	51	CP 79-318	85	67-P-6
18	B 62-163	52	CR 64-215	86	POJ 213
19	B 62-165	53	CR 87-205	87	POJ 2364
20	B 63-118	54	D 103	88	POJ 2722
21	B 65-15	55	F 31-436	89	POJ 2725
22	B 68-35	56	H 32-8560	90	POJ 2878
23	B 76-78	57	H 35-198	91	PR 980
24	B 83-1057	58	H 40-1184	92	Q 63
25	Baragua 517	59	H 41-1181	93	Q 77
26	CB 38-22	60	H 41-3340	94	Q 79
27	CB 40-77	61	H 44-3098	95	RB 72-454
28	CB 41-76	62	H 49-5	96	SC 12
29	CB 49-260	63	H 49-3533	97	SP 71-5368
30	CB 52-179	64	H 50-0723	98	SP 71-6949
31	CCSP 89-1997	65	H 50-7209	99	SP 81-3250
32	CL 47-143	66	H 51-3101	100	Badila
33	Co 221	67	H 51-8194	101	Saccharum officinarum
34	Co 270	68	H 53-0263	102	Saccharum sinense

Nota: Deben agregarse como parentales 5 ND y 4 DESC.

#### J.1.1.- Progenitor Femenino

De acuerdo con el contenido de los Cuadros 7 y 8 hubo 100 clones que actuaron como parentales femeninos a los cuales se sumaron las especies naturales *S. officinarum* y *S. sinense* para un total de **102 materiales genéticos** diferentes, los cuales se detallan e identifican por su sigla de origen en el Cuadro 8. Nótese que la diversidad genética prevaleciente es muy amplia en cuando a origen, destacando las siglas B (23,5%), H (18,6%), CP (9,8%), Co (8,8%), POJ (4,9%), CB (4,9%), Q (2,9%) y SP (2,9%), entre otras. Esas corresponden a las “sangres” de uso preferencial empleadas por los mejoradores genéticos en las variedades que mejor adaptación mostraron en el país, lo que marca una ruta de orientación importante para el trabajo a desarrollar en esa materia. A los mismos deben agregarse los cinco ND y cuatro DESC para un total de **111 Parentales Femeninos** que significaron el **61,33%** del total (181) de progenitores identificados.

Como puede notarse en el Cuadro 7, no todas las variedades de uso comercial fueron utilizadas como progenitores femeninos en los cruzamientos, o en su caso, no lograron transferir como era esperable sus atributos favorables a sus progenies; pese a lo cual se identificaron 25 (14,3%) clones que en algún momento se sembraron comercialmente en el país (Cuadro 3)

de manera relevante, como fue el caso de B 37-161, Co 281, Co 290, Co 421, H 32-8560, H 44-3098, H 49-5, H 50-7209, NCo 310, POJ 213, POJ 2725, POJ 2878, PR 980, Q 63, Q 77, SP 81-3250, BLACK CHERIBON, CALEDONIA AMARILLA, CAÑA BLANCA, CINTA, CRIOLLA, CRISTALINA, CUBANA y UBA. Esto demuestra una concentración en esos materiales genéticos.

#### J.1.2.- Progenitor Masculino

La cantidad de parentales que operaron en este caso como masculinos es inferior virtud de la cantidad de cruces abiertos o múltiples (policruza) que se realizaron en la obtención de las 181 variedades comerciales evaluadas. Pese a ello, se identificó como parte del proceso de mejora un total de 76 clones y 2 especies naturales (*S. officinarum* y *S. sinense*); además de cinco declarados ND y cuatro DESC para un total de **87 Parentales Masculinos** que significaron el **48,08%** de todos (181) los progenitores identificados, como se indica en los Cuadros 7 y 9. Las siglas B (21,8%), CP (16,7%), Co (10,3%), H (9,0%), MQ (6,4%), POJ (3,8%), Q(3,8%) y -N- (3,8%); además de la especie *S. officinarum* dominaron la mayor parte de los cruzamientos bajo este enfoque de mejora sexual.



**Cuadro 9.**

Progenitores MASCULINOS (78) de las variedades de caña de azúcar de uso comercial histórico en Costa Rica.

No.	Variedad	No.	Variedad	No.	Variedad
1	B 29-35	27	Co 475	53	Mex 57-473
2	B 33-37	28	CP 29-116	54	31 MQ 228
3	B 34-104	29	CP 33-372	55	MQ 27-1124
4	B 40-98	30	CP 38-34	56	MQ 31-228
5	B 41-211	31	CP 43-47	57	MQ 33-157
6	B 41-227	32	CP 48-103	58	MQ 33-371
7	B 42-231	33	CP 56-63	59	MZC 74-275
8	B 43-375	34	CP 57-603	60	54 N 70-96
9	B 45-78	35	CP 63-588	61	58 N 829
10	B 45-151	36	CP 65-588	62	66 N 2008
11	B 45-181	37	CP 68-1067	63	P 163/32
12	B 46-364	38	CP 72-1210	64	POJ 2725
13	B 49-119	39	CP 80-1743	65	POJ 2878
14	B 59-162	40	CP 81-1302	66	POJ 2940
15	B 60-3	41	D 74	67	Q 27
16	B 61-60	42	EK 28	68	Q 68
17	B 70-574	43	F 31-452	69	Q 813
18	C 87-51	44	H 28-4399	70	RB 86-7515
19	Chunnee	45	H 34-1874	71	RB 93-509
20	Co 206	46	H 35-198	72	SC 12
21	Co 285	47	H 37-1933	73	SC 12/4
22	Co 290	48	H 39-3633	74	SP 70-1143
23	Co 312	49	H 49-5	75	SP 71-1279
24	Co 331	50	H 49-104	76	TCP 84-3263
25	Co 356	51	HJ 57-41	77	<i>Saccharum officinarum</i>
26	Co 421	52	Kansar	78	<i>Saccharum sinense</i>

Nota: Deben agregarse como parentales 5 ND y 4 DESC.

De todos los clones que destacaron comercialmente hubo 30 (17,1%) que se emplearon como parental masculino en los cruzamientos realizados, como fue el caso de B 40-98, B 41-227, B 45-151, B 49-119, B 59-162, Co 290, Co 421, CP 57-603, CP 72-1210, CP 80-1743, H 37-1933, H 49-104, HJ 57-41, Mex 57-473, POJ 2725, POJ 2878, POJ 2940, Q 68, RB 86-7515, SC 12/4, SP 70-1143, BLACK CHERIBON, CALEDONIA

AMARILLA, CAÑA BLANCA, CINTA, CRIOLLA, CRISTALINA, CUBANA y UBA.

**J.2.- Variedades nacionales**

De manera complementaria e independiente se identificaron los progenitores (44) empleados por DIECA en la fabricación de sus propias edades (Cuadro 4), correspondiente a **68 mate-**

**riales genéticos** que alcanzaron el nivel de promisorios y/o comerciales, los cuales se detallan en el Cuadro 10. En dicho proceso no se utilizaron especies naturales y solo hubo una variedad (LAICA 04-825) que fue reportada con progenitores Desconocidos. El 50% (22) de los 44 padres empleados en los cruces correspondieron a variedades que en algún momento fueron co-

merciales en Costa Rica. De igual manera solo cinco (11,4%) variedades actuaron en doble vía como progenitores femeninos y masculinos, como fue el caso de: B 76-259, Mex 79-431, Q 96, SP 70-1143 y TCP 87-3388. Seguidamente se detallan los **44 progenitores** identificados según fuera su nivel de participación en la fase de cruzamiento.

**Cuadro 10.**

Progenitores (44) de Variedades LAICA sembradas comercialmente en Costa Rica durante su historia, con indicación de su empleo como Femenino o Masculino.

No.	Variedad	Progenitor		No.	Variedad	Progenitor	
		Femenino	Masculino			Femenino	Masculino
1	B 60-267		X	23	Q 96	X	X
2	B 76-259	X	X	24	R 570	X	
3	B77-95	X		25	RB 83-102		X
4	CB 52-54	X		26	RB 86-7515	X	
5	Co 421	X		27	RB 91-2525	X	
6	CP 72-2086		X	28	RD 75-11	X	
7	CP 01-1779	X		29	Saboriana	X	
8	CTC 93-811	X		30	SP 70-294	X	
9	CTC 93-823	X		31	SP 70-1143	X	X
10	CTC 93-858	X		32	SP 70-1284		X
11	H 53-3989	X		33	SP 71-3149	X	
12	H 68-1158	X		34	SP 71-4161	X	
13	H 77-4643	X		35	SP 71-5574		X
14	H 78-2313	X		36	SP 78-5495		X
15	HoCP 91-555	X		37	SP 79-2233	X	
16	IAC 51-205	X		38	SP 80-1520	X	
17	LAICA 03-06	X		39	SP 81-2068	X	
18	LAICA 03-805	X		40	SP 81-3250	X	
19	Mex 79-431	X	X	41	SP 82-1176		X
20	NA 56-79	X		42	SP 86-042	X	
21	POJ 2878	X		43	TCP 87-3388	X	X
22	Q 93	X		44	TCP 93-4245	X	
	<b>Total</b>					<b>38</b>	<b>13</b>
	<b>%</b>					<b>86.36</b>	<b>29.55</b>

Nota: Debe agregarse además como parental un clon DESCONOCIDO.

## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

### J.2.1.- Progenitor Femenino

Se identificó según el Cuadro 10 un total de **38 clones** actuando mayoritariamente como hembra lo que representó un **86,36%** del total (44) reportado y aplicado en la labor. Destacaron en este caso las siglas SP (29,5%), H (9,1%) y B, CTC y RB que aplicaron c/u en el 6,8% de los cruces, seguidas por Q, TCP y LAICA en el 4,5% de los cruces, entre otras. De acuerdo con este resultado de los mejores clones LAICA, el 38,6% tuvo como parentales femeninos materiales de las siglas SP y H.

### J.2.2.- Progenitor Masculino

En este particular fueron apenas **13** (Cuadro 10) los clones involucrados como machos para una representatividad del **29,55%**. Materiales genéticos de las siglas SP (38,5%) y B (15,4%) para un 53,8% conjunto fueron las más utilizadas. Las variedades empleadas como parentales fueron: B 60-267, B 76-259, CP 72-2086, Mex 79-431, Q 96, RB 83-102, SP 70-1143, SP 70-1284, SP 71-5574, SP 78-5495, SP 82-1176 y TCP 87-3388.



## Cuadro 11.

Sigla de los 70 Progenitores de las 181 variedades de caña de azúcar de uso comercial histórico en Costa Rica.

No.	Sigla	Variedades sembradas		Progenitor	
		No.	%	Femenino	Masculino
1	B	32	17.68	31	28
2	BH	1	0.55		
3	BJ	2	1.10		
4	BT	1	0.55		
5	C	2	1.10		1
6	CB			5	
7	CC	3	1.66		
8	CF	1	0.55		
9	CL	1	0.55	2	
10	Co	9	4.97	24	14
11	CP	12	6.63	11	17
12	CR	2	1.10	2	
13	CCSP			1	
14	D	2	1.10	1	1
15	EK				5
16	F			1	1
17	FT	1	0.55		
18	H	20	11.05	23	7
19	HJ	1	0.55		1
20	IAC			2	
21	Ja	2	1.10	1	
22	L	1	0.55	1	
23	M	2	1.10		
24	MC	1	0.55		
25	Mex	6	3.31	2	2
26	MQ				5
27	MZC			1	1
28	My	2	1.10		
29	N-			1	4
30	NA	2	1.10	3	
31	NCo	2	1.10	2	2
32	P			1	1
33	POJ	9	4.97	25	13
34	PR	8	4.42	1	

Nota: Variedades sembradas y progenitores van en referencia a lo indicado en el Cuadro 3.

\* Corresponden a su empleo como progenitores en la fabricación de las variedades sembradas indicadas en el Cuadro 3.

Algunas variedades fueron sembradas pero no actuaron como progenitores de otras.

## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

No.	Sigla	Variedades sembradas		Progenitor	
		No.	%	Femenino	Masculino
35	Q	14	7.73	4	3
36	RB	7	3.87	2	2
37	RD	2	1.10		
38	SC	1	0.55	1	4
39	SP	10	5.52	2	2
40	TCP				1
41	TW	1	0.55		
42	UCW	1	0.55		
43	Azul del Perú	1	0.55		
44	Bamboo	1	0.55		
45	Baragua			1	
46	Badila			1	
47	Caledonia Amarilla	1	0.55		
48	Caña Blanca	1	0.55		
49	Cato	1	0.55		
50	Cheribon	1	0.55	3	
51	Chunnee				3
52	Cinta	1	0.55		
53	Criolla	2	1.10		
54	Cristalina	1	0.55		
55	Cubana	1	0.55		
56	Eros	1	0.55		
57	Japonesa	1	0.55		
58	Kansar				1
59	Otaheite	1	0.55		
60	Pindar	1	0.55		
61	Ragnar	1	0.55		
62	Saboriana	1	0.55		
63	Trojan	1	0.55	4	
64	Uba	1	0.55		
65	Vesta	1	0.55		
66	Saccharum officinarum			10	10
67	Saccharum sinense			2	2
68	Striped Preanger			1	
69	Desconocido			4	45
70	No Disponible			5	5
	<b>Total</b>			<b>181</b>	<b>181</b>
	<b>%</b>	<b>181</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Nota: Variedades sembradas y progenitores van en referencia a lo indicado en el Cuadro 3.

\* Corresponden a su empleo como progenitores en la fabricación de las variedades sembradas indicadas en el Cuadro 3.

Algunas variedades fueron sembradas pero no actuaron como progenitores de otras.

## Cuadro 12.

Sigla de los 21 Progenitores de las 68 variedades de caña de azúcar sigla LAICA de uso comercial histórico en Costa Rica.

No.	Sigla	Clones		Progenitor	
		No.	%	Femenino	Masculino
1	B	3	6.67	2	2
3	CB	1	2.22	1	
4	Co	1	2.22	1	
5	CP	2	4.44	1	1
6	CTC	3	6.67	3	
7	H	4	8.89	4	
8	HoCP	1	2.22	1	
9	IAC	1	2.22	1	
10	LAICA	2	4.44	2	
11	Mex	1	2.22	1	1
12	NA	1	2.22	1	
13	POJ	1	2.22	1	
14	Q	2	4.44	2	1
15	R	1	2.22	1	
16	RB	3	6.67	2	1
17	RD	1	2.22	1	
18	Saboriana	1	2.22	1	
19	SP	13	28.89	9	5
20	TCP	2	4.44	2	1
21	Desconocido	1	2.22	1	1
	<b>Total</b>	<b>45</b>	<b>100</b>	<b>38</b>	<b>13</b>
	<b>%</b>			<b>84.44</b>	<b>28.89</b>

**K.- Sigla y origen genético**

La identificación del origen y la ubicación geográfica de procedencia de las 249 variedades seleccionadas como importantes comercialmente en Costa Rica, constituye una información de vital relevancia para ubicar e interpretar con buen criterio algunos elementos asociados al potencial productivo y de adaptación de las mismas. Esa relación es posible establecerla por medio de la sigla de origen del clon, indicador que asocia y vincula los materiales genéticos a factores relacionados con los entornos agro productivos y antecedentes de eficiencia agrícola e industrial. Con ese fin se presenta en los Cuadros 11 y 12 las siglas que describen la procedencia de las variedades importadas (181) y nacionales (68). Se demuestra con este resultado la significativa variabilidad genética que ha existido en la búsqueda de nuevas opciones apropiadas de cultivo, adaptables al múltiple y heterogéneo entorno agro productivo costarricense (Chaves 2019hj).

**Cuadro 13.**

Sigla genética de las principales variedades (249) sembradas en Costa Rica.

Sigla	Variedades	
	No.	%
LAICA	68	327.31
B	32	12.85
H	20	8.03
Q	14	5.62
CP	12	4.82
SP	10	4.02
POJ	9	3.61
Co	9	3.61
PR	8	3.21
RB	7	2.81
Mex	6	2.41
Otras	54	21.69
<b>Total</b>	<b>249</b>	<b>100</b>



Integrando y describiendo la totalidad de clones identificados (249) de acuerdo con su sigla, se encuentra según el Cuadro 13, que los 68 clones nacionales LAICA son en cantidad los más representativos al simbolizar el 27,3% del total sembrado en el país, seguido por los originarios de Barbados (B) con el 12,8%, Hawái (H) con un 8%, Queensland (Q) un 5,6%, Canal Point (CP) un 4,8% y São Paulo (SP) con el 4%, para una representación conjunta del 62,6% correspondiente a 156 materiales genéticos diferentes.

**K.1.- Sigla de origen de las variedades importadas**

El Cuadro 11 demuestra que las 181 variedades introducidas del exterior y que fueron sembradas comercialmente en el país durante el periodo de 490 años evaluado, procedían de 32 (62,7%) siglas descriptivas diferentes y 19 (37,3%) correspondieron a variedades reconocidas con nombres comunes, para un total conjunto de 51 formas de identificación diferentes. Un detalle por origen demuestra que la mayor cantidad de variedades correspondieron a la sigla B con 32 clones que representan un 17,7% del total (51), seguida por la sigla H (11%), Q (7,7%), CP (6,6%), SP (5,5%), Co (5%), POJ (5%), PR (4,4%), RB (3,9%), Mex (3,3%) y CC (1,7%), entre otras; donde cinco siglas representaron el 48,6% de lo sembrado que resulta muy sugestivo y revelador sobre lo actuado.

**K.2.- Sigla de origen de las variedades nacionales**

En el Cuadro 12 se expone con detalle las siglas de los progenitores que dieron origen a las 68 variedades nacionales sigla LAICA sembradas en el país, la cual se concentra en 20 siglas y una calificada como Desconocida. Se aprecia en ese cuadro una distribución muy equilibrada entre orígenes, predominando sin embargo los pertenecientes a las siglas SP (28,9%), H (8,9%), B (6,7%), RB (6,7%), CTC (6,7%); además de CP, Q, TCP y LAICA con un 4,4% c/u, entre otras. Se concluye que el 57,8% correspondiente a 26 clones fue representado por cinco siglas.

Resulta interesante recabar como antecedente los orígenes de los clones empleados en la obtención de las variedades nacionales LAICA

obtenidas al inicio del programa de mejora de DIECA, entre los cuales Chaves (1995d) cita para el periodo 1982-1995 los siguientes 196 materiales genéticos: B 35-187, B 41-227, B 42-231, B 43-62, B 47-258, B 59-136, B 63-118, B 68-05, B 70-607, B 71-383, B 71-482, B 72-64, B 73-85, B 74-173, B 73-405, B 74-109, B 74-612, B 77-210, B 78-368, B 80-29, B 98-12, BJ 70-33, BJ 74-54, BO 14, BO 17, C 87-51, CB 33-68, CB 36-24, CB 40-13, CB 40-69, CB 40-77, CB 41-76, CB 45-3, CB 49-260, CB 52-54, CB 56-34, CB 62-107, CB 65-4, CB 68-143, CC 83-16, CC 83-19, CC 83-20, CC 83-25, CC 83-29, CL 41-223, C 34-79, CL 52-39, Co 419, Co 421, Co 449, Co 453, Co 650, Co 775, C 798, Co 331, Co 980, Co 997, Co 1007, Co 1148, Co 6304, CP 27-35, CP 34-79, CP 36-24, CP 37-139, CP 38-34, CP 43-64, CP 52-48, CP 52-68, CP 55-30, CP 56-59, CP 59-43, CP 59-73, CP 60-16, CP 65-357, CP 67-412, CP 68-350, CP 69-1062, CP 70-401, CP 70-1143, CP 71-326, CP 71-382, CP 71-1038, CP 72-2086, CP 74-2005, CP 76-331, CP 81-1435, CR 64-215, CR 68-275, CRP 1-50, F 134, F 147, F 156, G 68-88, H 32-8560, H 33-3989, H 38-3633, H 39-3633, H 51-8194, H 53-3989, H 58-8255, H 59-52, H 60-5657, H 65-606, H 65-8055, IAC 47-31, IAC 48-65, IAC 51-205, IAC 52-179, IAC 53-202, IAC 68-12, Ja 60-5, LA 52-604, LCP 82-76, M 13/56, M 147/44, Mex 52-17, Mex 53-140, Mex 56-18, Mex 56-476, Mex 57-473, Mex 57-1285, Mex 58-1868, Mex 59-32, Mex 60-1459, Mex 64-1214, Mex 73-1406, Mex 73-1890, Mex 74-2405, My 54-63, N 51-168, NA 56-79, NCo 310, POJ 2221, POJ 2725, POJ 2876, POJ 2878, POJ 2883, PR 900, PR 61-632, Q 68, Q 93, Q 96, Q 123, Q 131, R 565, R 567, R 570, RB 72-5147, RB 73-5220, RB 79-5401, TCP 83-3217, TRITÓN, Tuc 705, Tuc 741, Tuc 7434, Tuc 7446, UCW 54-65, WL 76-90, US 78-18, WAYA, ZMex 55-32. En consideración de sus excelentes antecedentes de adaptación en el país, especial mención merecen los 35 (17,9%) clones brasileños aplicados como progenitores pertenecientes a la sigla São Paulo (SP), como fue el caso de: SP 69-3181, SP 70-307, SP 70-411, SP 70-447, SP 70-1005, SP 70-1006, SP 70-1143, SP 70-1284, SP 70-1177, SP 70-3337, SP 70-5191, SP 71-1074, SP 71-1406, SP 71-1680, SP 71-1763, SP 71-3087, SP 71-3149, SP 71-4161, SP 71-6180, SP 72-1597, SP 73-3087, SP 74-131, SP 74-1065, SP 74-3009, SP 78-1601, SP 78-5495, SP 79-1011, SP 79-6192, SP 80-1520, SP 81-1763, SP 81-3250, SP 81-3251, SP 84-9, SP 84-20 y SP 84-64.



Un detalle por sigla de origen revela la presencia de materiales genéticos pertenecientes a las siguientes 39 siglas: B, BJ, BO, C, CB, CC, CL, Co, CP, CR, CRP, F, G, H, IAC, Ja, LA, LCP, M, Mex, My, N, NA, NCo, PR, POJ, PR, Q, R, RB, SP, TCP, TRITÓN, Tuc, UCW, US, WAYA, WL y ZMex. Como se infiere, la búsqueda de variabilidad genética mediante el empleo de progenitores pertenecientes a materiales de características y propiedades diferentes, fue en ese periodo específico de 13 años de gestión muy ardua y profusa.

Incorporando una valoración más reciente de antecedentes en relación con los progenitores empleados por el Programa de Mejoramiento Genético desarrollado por DIECA, revela que durante la campaña de cruzamientos efectuada en los últimos seis años, transcurridos en el periodo 2014-2019 (DIECA 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020), se utilizaron los siguientes 130 progenitores como padre y madre para obtener las variedades nacionales: B 35-9, B 76-259, B 76-385, B 77-95, B 82-333, BT 65-152, BT 84-118, BBZ 80-240, CC 91-1599, CC 93-3826, CC 93-4181, CC 93-7513, CC 01-1940, CL 75-0853, Co 421, Co 976, CT 97-86, CT 98-44, CT 10-090, CT 10-468, CT 11-649, CT 11-689, CT 13-747, CT 13-759, CT 14-442, CT 14-456, CTC 76-72, CP 56-0059, CP 65-357, CP 72-2086, CP 80-1557, CP 80-1953, CP 84-1198, CP 87-1248, CP 89-2377, CP 91-1865, CP

92-1167, CP 93-1441, CP 93-4181, CP 94-1628, CP 94-1975, CP 00-2150, CP 01-2390, CP 03-1026, CP 03-1341, CP 04-1250, CP 04-1566, CP 04-1935, CP 05-1526, CP 05-1616, CP 06-2125, CP 06-2335, CP 06-2400, CP 06-2614, CP 06-2664, CP 06-2897, CP 07-1118, CP 07-1746, CP 07-1915, CP 07-2317, CP 07-2460, CP 07-2547, CP 07-2621, CP 08-1113, CP 08-1183, CP 08-1553, CP 08-1965, CP 08-2210, CP 08-2506, CP 09-1028, CP 09-1390, CP 09-1512, CP 09-1874, CP 09-1952, CP 09-2135, CP 10-1317, CP 10-1619, CP 10-1642, CP 10-1757, CP 10-1736, CP 10-2091, CP 10-2381, CP 10-2489, CP 12-1174, CP 12-1607, CPCL 97-2730, CPCL 99-2651, CPCL 02-8021, CPCL 06-3417, CPCL 06-3427, EROS, H 77-4643, H 93-4398, H 95-4655, H 98-3887, H 00-6394, HoCP 89-831, HoCP 93-754, HoCP 96-509, L 98-113, Mex 69-290, Mex 79-431, NA 85-1602, NCo 376, PINDAR, PR 80-2038, PR 86-2027, Q 96, Q 132, Q 138, RB 86-3129, RB 86-7515, RB 92-579, RB 93-509, RB 93-7570, RB 94-2898, RB 94-7520, RB 95-6911, RB 97-2616, RB 97-9524, RB 98-710, RB 98-8507, RB 00-2900, RB 01-2046, RD 75-11, SP 70-1143, SP 81-3250, SP 85-3877, TCP 87-3388 y TCP 93-4245.

Es interesante comprobar en la misma información referencial mencionada, como los clones nacionales participan también en forma importante en la obtención de las variedades LAICA, como lo ratifican los siguientes 40 (23,5%) clones utilizados como progenitores: LAICA

96-02, LAICA 01-604, LAICA 03-805, LAICA 04-10, LAICA 04-235, LAICA 04-244, LAICA 04-265, LAICA 05-805, LAICA 06-303, LAICA 06-311, LAICA 06-328, LAICA 07-09, LAICA 07-20, LAICA 07-26, LAICA 07-309, LAICA 08-22, LAICA 08-30, LAICA 08-361, LAICA 08-390, LAICA 09-370, LAICA 09-375, LAICA 10-10, LAICA 10-40, LAICA 10-207, LAICA 10-804, LAICA 10-1619, LAICA 11-37, LAICA 12-59, LAICA 12-92, LAICA 12-337, LAICA 12-340, LAICA 12-343, LAICA 12-344, LAICA 13-64, LAICA 13-77, LAICA 13-78, LAICA 15-2012, LAICA 15-216, LAICA 15-217 y LAICA 15-223.

Se ratifica nuevamente el enorme esfuerzo realizado por parte del Programa Nacional por buscar mediante el cruzamiento de clones diferentes, identificar progenies de alta calidad agroindustrial que se adapten y respondan a nuestras necesidades regionales y locales. En los últimos seis años se utilizaron como parentales 170 clones de las siguientes 25 siglas de origen: B, BT, BBZ, CC, CL, Co, CT, CTC, CP, CPCL, EROS, H, HoCP, L, LAICA, Mex, NA, NCo, PINDAR, PR, Q, RB, RD, SP, TCP y LAICA. Los clones de origen CP (34,1%)

y LAICA (23,5%) fueron los que dominaron los cruzamientos realizados en ese periodo.

### K.3.- Sigla y origen genético de los progenitores

Un resumen de los 231 clones utilizados en calidad de progenitores para la obtención de las 249 variedades seleccionadas se presenta en el Cuadro 14, donde destacan como prioritarias y dominantes las siglas clonales procedentes de Barbados (B) con un 18,6% para 43 clones, seguida por Hawái (H) con el 11,7%, Canal Point (CP) con un 10,8%, São Paulo (SP) con 6,9% y Coimbatore (Co) con el 5,6%. Esas cinco siglas representaron integralmente el 53,7% (124 clones) de todos los parentales empleados. Nuevamente se ratifica la excelente capacidad de adaptación y producción que han mostrado históricamente algunos orígenes genéticos, lo cual debe ser retomado, analizado y obviamente aprovechado en lo que a futuro se desarrolle en el campo del mejoramiento genético de variedades de caña de azúcar.

## Cuadro 14.

Sigla genética de las principales variedades (231) que han operado como Progenitores en Costa

Sigla	Variedades	
	No.	%
B	43	18.61
H	27	11.69
CP	25	10.82
SP	16	6.93
Co	13	5.63
Q	8	3.46
POJ	6	2.60
RB	6	2.60
CB	6	2.60
MQ	5	2.16
Mex	4	1.73
Otras	72	31.17
<b>Total</b>	<b>231</b>	<b>100</b>



**L.- Tipo de cruzamiento**

El tema de la genética de la caña de azúcar resulta muy importante de abordar desde la perspectiva del tipo de cruzamiento empleado en la obtención de las progenies, pues los criterios varían en torno a cuál es el mejor procedimiento a seguir. Algunos consideran que cruzar dos padres conocidos (biparental) asegura poder proyectar de alguna manera el biotipo y sus características en la progenie generada; otros estiman que incluir varios masculinos en un cruce abierto (policruza) introduce más variabilidad e incrementa la probabilidad de lograr diferenciación y con ello identificar clones comerciales sobresalientes. La revisión de lo actuado históricamente constituye un antecedente infalible y una lección orientadora sobre el tema en análisis.

**L.1.- Tipo en variedades importadas**

Se presenta en el Cuadro 11 un detalle de las 30 siglas de origen específico, siete clones reconocidos por su nombre común, dos biotipos de especies naturales y otros dos no ubicables (Desc., No Disp.) para un total de 41 orígenes diferentes, que integran los parentales masculinos y femeninos empleados en la creación de las 181 variedades comerciales identificadas en

el Cuadro 3. Hubo 17 (41,5%) siglas que actuaron tanto como progenitor femenino como masculino.

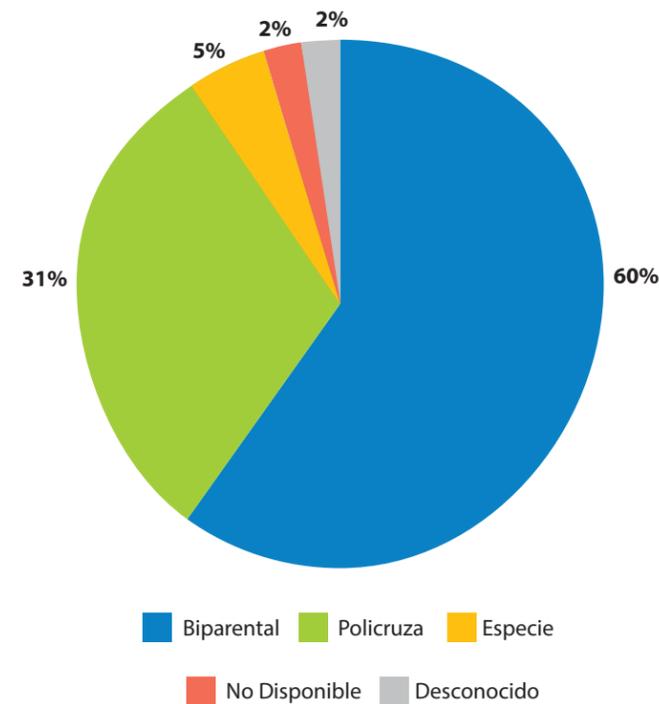
La Relación Parental/Variiedad Comercial estimada para las 181 variedades (Cuadro 3) fue de 0,64, lo que significa que no todos los clones fueron formados a partir de cruces biparentales cuya relación hubiese sido entonces de 1,0. El Cuadro 15 muestra la condición de origen, revelando que el 64,1% (116 clones) proceden de cruces biparentales, un 23,8% (43) de policruza, el 6,6% son biotipos de especies naturales, del 3,3% (6) no se conocen sus padres y el 2,2% (4 clones) son de origen desconocido. Esta relación resulta trascendente conocerla virtud de que demuestra la enorme importancia de hacer una buena selección de los clones que actuaran como progenitores; ratificando además que la mayor eficiencia en mejora genética la representan de acuerdo con esta vía de selección los cruzamientos direccionados entre dos parentales.

En el Cuadro 11 se expone de forma desagregada lo concerniente a los 41 progenitores de sigla diferente que actuaron en la formación de las 181 variedades sembradas en diferentes épocas en el país.

**Cuadro 15.**

Origen de las variedades comerciales nacionales (249) según Tipo de Cruzamiento.

Tipo	Importadas		Nacionales		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%
Biparental	116	64.09	33	48.52	149	59.84
Policruza	43	23.76	34	50.00	77	30.92
Especie	12	6.63			12	4.82
No Disponible	6	3.31			6	2.41
Desconocido	4	2.21	1	1.47	5	2.01
<b>Total</b>	<b>181</b>	<b>100</b>	<b>68</b>	<b>100</b>	<b>249</b>	<b>100</b>



**Figura 3.**

Distribución origen de Progenitores de las variedades

**L.2.- Tipo en variedades nacionales**

En el caso de las variedades fabricadas en el país la Relación Parental/Variiedad Comercial es de 0,48 pues solo el 48,53% (33 clones) se obtuvieron por cruce biparental, un 50% (34) se dio por policruzas y de uno (1,47%) no se conoce su origen (Cuadro 12). Fueron 20 las siglas de los 44 clones que operaron como progenitores en la obtención de esas 68 variedades LAICA, de las cuales 38 (84,44%) actuaron como Progenitor Femenino y 13 (28,89%) como progenitor Masculino, no conociendo uno de los casos.

Destaca el hecho de que pareciera haber mucha consistencia y rigidez en la designación de los progenitores masculinos empleados, pues la variabilidad genética observada es muy baja concentrándose en muy pocos clones, apenas 13, pertenecientes mayoritariamente a las siglas SP (38,5%) y B (15,4%).

**L.3.- Biparental o Policruza**

El Cuadro 15 detalla de manera independiente para variedades importadas y nacionales la situación de las progenies, demostrando que en el caso de los materiales introducidos el origen biparental es contundente y dominante con un 64,1% contra solo el 23,8% generado a partir de policruzas; existiendo además un 6,6% que correspondió a biotipos de especies domesticadas. Con los clones nacionales la situación es diferente y contraria, pues hay ligera prevalencia de la policruza con un 50% contra 48,5% de los biparentales, por lo que pareciera que la fórmula parital es la empleada. Al proyectar sobre todos los 249 clones (181 importados + 68 nacionales) se encuentra (Figura 3) una polarización en favor de los biparentales que representaron el 59,8% del total, seguido por los de cruzamiento múltiple con el 30,9%, un 4,8% corresponden a las dos especies naturales (*S. officinarum* y *S. sinense*), el 2,4% no estuvo disponible y el 2,0% restante fue calificado como desconocido.

Lo actuado en materia de cruzamientos nacionales durante el periodo 1982-1995 es muy revelador para juzgar e interpretar con buen criterio el tema en discusión, revelando que el 80,4% de la gestión de cruzamiento de esos 13 años continuos basada en 194 cruces, operó en un 80,4% sobre policruzas y apenas el 19,6% en cruzamientos biparentales (Chaves 1995d). Actualizando la información para los últimos seis años (2014-2019) se encontró que según el año, las obtenciones de clones a partir de cruces múltiples fueron como sigue: 2014 (48,57%), 2015 (69,15%), 2016 (41,98%), 2017 (66,29%), 2018 (58,89%) y 2019 (46,60%); el promedio del periodo para 527 cruces fue del 55,60% (293) para esa categoría lo que denota alguna predilección por este tipo de cruce. De acuerdo con esa información los valores varían aunque la tendencia es a mantener una relación equilibrada entre biparentales y múltiples (DIECA 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

**Cuadro 16.**

Caracterización según Sigla (77) de origen del material genético comercial sembrado históricamente en Costa Rica.

Sigla	Sembrados		Progenitores		País de origen	Semilla proveniente de	Seleccionada en
	No.	%	No.	%			
B	32	12.85	43	18.61	Barbados	Barbados	Barbados
BH	1	0.40			Barbados	Barbados	Barbados
BJ	2	0.80			Jamaica	Barbados	Jamaica
BT	1	0.40			Trinidad-Tobago	Barbados	Trinidad
C	2	0.80	1	0.43	Cuba	Cuba	Cuba
CB			6	2.60	Brasil	Brasil	Brasil
CC	3	1.20			Colombia	CENICAÑA, Colombia	Colombia
CF	1	0.40					
CL	1	0.40	1	0.43	USA	Clewiston	Clewiston, Florida
Co	9	3.61	13	5.63	India	Coimbatore	Coimbatore/Tamil/Nadu
CP	12	4.82	25	10.82	USA, Florida	Canal Point	Canal Point, Florida
CR	2	0.80	2	0.87	República Dominicana	Central Romana	Central Romana
CCSP			1	0.43	Colombia	Brasil	Colombia
CTC			3	1.30	Brasil	São Paulo, Brasil	Brasil
CCSP					Colombia	Brasil, São Paulo	CENICAÑA, Colombia
D	2	0.80	2	0.87	Guyana	Demerara	Demerara
EK			1	0.43	Java	Karthaus	Java
F			2	0.87	Taiwan	Formosa (Taiwan)	Taiwan
FT	1	0.40			Costa Rica	Guanacaste, Costa Rica	Empresa Exporpack, Costa Rica
H	20	8.03	27	11.69	USA, Hawaii	Hawaii	Hawaii
HJ	1	0.40	1	0.43	USA, Hawaii	Jamaica	Hawaii
HoCP			1	0.43	USA, Louisiana	Canal Point	Houma, Louisiana
IAC			3	1.30	Brasil	Camamu/Bahía	São Paulo, Brasil
Ja	2	0.80	1	0.43	Cuba	Central Jaranú, Cuba	Cuba
L	1	0.40	1	0.43	USA, Louisiana	Louisiana	Louisiana State University
LAICA	68	27.31	2	0.87	Costa Rica	Brasil	Costa Rica
M	2	0.80	No.		Mauricio	Mauricio	Mauricio
M					Colombia	Central Mayagüez,	Colombia
MC	1	0.40			Colombia	Manuelita, Colombia	Colombia
Mex	6	2.41	4	1.73	México	Tapachula	México
MQ			5	2.16	Australia	Macknade, Queensland	Australia, Queensland
MZC			1	0.43	Colombia	Central Mayagüez	Colombia
My	2	0.80			Cuba	Mayarí, Cuba	Cuba
-N-			3	1.30	Sudáfrica, Natal	Mount Edgecombe	Sudáfrica, Natal
NA	2	0.80	1	0.43	Argentina	Chacra Santa Rosa	Norte Argentina

\* Reportados como sembrados comercialmente en el país en alguna época histórica.

\*\* Actuaron en calidad de Progenitores.

Sigla	Sembrados		Progenitores		País de origen	Semilla proveniente de	Seleccionada en
	No.	%	No.	%			
NCo	2	0.80	1	0.43	Sudáfrica, Natal	Coimbatore, India	Sudáfrica, Tamil Nadu
P			2	0.87	India	Coimbatore, India	Coimbatore, India
POJ	9	3.61	6	2.60	Java	Proef Station Oost Java	Java
PR	8	3.21	1	0.43	Puerto Rico	Gurabo, Mayagüez	Gurabo, Puerto Rico
Q	14	5.62	8	3.46	Australia	Meringa	Queensland, Australia
R			1	0.43	Francia, Reunión	Reunión	Reunión
RB	7	2.81	6	2.60	Brasil	Serra do Ouro, Brasil	Alagoas, Brasil Federal University
RD	2	0.80	1	0.43	República Dominicana	Ingenio Duquesa	República Dominicana
SC	1	0.40	2	0.87	Islas Virgenes, USA	Santa Cruz (Saint Croix)	Islas Virgenes, USA
SP	10	4.02	16	6.93	Brasil, São Paulo	Camamu, Bahía, Brasil	São Paulo, Brasil
TCP			3	1.30	USA, Texas	Canal Point, Florida	Weslaco, Texas, USA
TW	1	0.40			Costa Rica	West Indies, Barbados	Ingenio Taboga, Costa Rica
UCW	1	0.40			Cuba	United Fruit Co, American West Indies Co.	Cuba
Azul del Perú	1	0.40			Perú	Casa Grande, Perú	Perú
Badila			1	0.43	Nueva Guinea	Sinónimo NG 15	Nueva Guinea
Bamboo	1	0.40	1	0.43		Clon de <i>S. officinarum</i>	
Baragua		0.00	1	0.43	Cuba	Cuba	Cuba
Black Cheribon	1	0.40	1	0.43	Java	Variedad natural	Java
Caledonia Amarilla	1	0.40	1	0.43		Clon de <i>S. officinarum</i>	
Caña Blanca	1	0.40	1	0.43		Clon de <i>S. officinarum</i>	
Cato	1	0.40			Australia	CSRL LTD.	Australia
Cinta	1	0.40	1	0.43		Clon de <i>S. officinarum</i>	
Criolla	2	0.80	2	0.87		Clon de <i>S. officinarum</i>	
Cristalina	1	0.40	1	0.43		Clon de <i>S. officinarum</i>	
Cubana	1	0.40	1	0.43		Clon de <i>S. officinarum</i>	
Cheribon						Clon de <i>S. officinarum</i>	
Chunnee			1	0.43		Clon de <i>S. sinense</i>	
Eros	1	0.40			Australia	CSRL LTD.	Australia
Japonesa	1	0.40				Clon de <i>S. sinense</i>	
Kansar			1	0.43		Clon de <i>S. barberi</i>	
Otaheite	1	0.40				Clon de <i>S. officinarum</i>	
Pindar	1	0.40			Australia	CSRL LTD.	Australia

\* Reportados como sembrados comercialmente en el país en alguna época histórica.

\*\* Actuaron en calidad de Progenitores.

## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

Sigla	Sembrados		Progenitores		País de origen	Semilla proveniente de	Seleccionada en
	No.	%	No.	%			
Ragnar	1	0.40	1		Australia	CSRL LTD.	Australia
Saboriana	1	0.40	1	0.43	Costa Rica	Desconocido	Costa Rica
Trojan	1	0.40			Australia	CSRL LTD.	Australia
Uba	1	0.40	1	0.43		Clon de S. sinense	
Vesta	1	0.40			Australia	CSRL LTD.	Australia
<i>Saccharum officinarum</i>			8	3.46		Especie del Grupo <i>Saccharum</i>	
<i>Saccharum sinense</i>			1	0.43		Especie del Grupo <i>Saccharum</i>	
Striped Preanger			1	0.43		Clon de S. officinarum	
Desconocido			4	1.73	??	??	??
No disponible			5	2.16	??	??	??
<b>Total</b>	<b>249</b>	<b>100</b>	<b>231</b>	<b>100</b>			

\* Reportados como sembrados comercialmente en el país en alguna época histórica.

\*\* Actuaron en calidad de Progenitores.



### M.- Caracterización geográfica de procedencia de los materiales genéticos

Procurando integrar parte de la información analizada y utilizada anteriormente para caracterizar las 249 variedades identificadas como comerciales y promisorias, se presenta el Cuadro 16, donde se organiza y menciona por sigla genética de origen la cantidad de clones sembrados perteneciente a cada una de ellas; así como también, se anota la cantidad de los mismos que fueron empleados en calidad de progenitores. Adicionalmente, los materiales genéticos se sitúan de acuerdo con el país y Cen-

tro Experimental o Programa donde fueron originados, cuando fue posible hacerlo, lo que favorece poder realizar una contextualización y referenciación de índole geográfica.

Los resultados del ejercicio se resumen seguidamente en los Cuadros 16 y 17 destacando en dicho caso las siglas de origen más notorias que actuaron como variedades sembradas o en su caso como progenitores, lo que marca como puede inferirse un relativo paralelismo. Hay variedades que fueron sembradas comercialmente pero no utilizadas como parentales y viceversa.

### Cuadro 17.

Principales siglas de origen de las variedades comerciales y progenitores.

Sigla	Sembradas		Progenitores	
	No.	%	No.	%
LAICA	68	27,31	2	0,87
B	32	12,85	43	18,61
H	20	8,03	27	11,69
Q	14	5,62	8	3,46
CP	12	4,82	25	10,82
SP	10	4,02	16	6,93
Co	9	3,61	13	5,63
POJ	9	3,61	6	2,60
PR	8	3,21	1	0,43
RB	7	2,81	6	2,60
<i>S. officinarum</i>	-	-	8	3,46
<b>Total</b>	<b>188</b>	<b>75,89</b>	<b>155</b>	<b>67,10</b>

\* Basado en información del Cuadro 16.

## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

Como se aprecia fueron las variedades sigla LAICA las de mayor presencia en el campo (27,3%), seguidas por las de sigla B, H, Q, CP, SP, Co y POJ, entre otras. De igual manera, clones de las siglas B (18,6%), H (11,7%), CP (10,8%), SP (6,9%) y Co (5,6%), fueron los más utilizados como progenitores. Se reitera el vínculo que prevalece entre ambas orientaciones y destinos de los clones.

Al organizar los clones por país se encuentra que el origen primordial de las 249 variedades sembradas es el siguiente entre las 22 naciones diferentes que fueron identificadas: Costa Rica (28,5%), EUA (14,4%), Barbados (13,2%), Australia (8,0%), Brasil (6,8%), Desconocido (4,8%), Java (4,0%), India (3,6%), Puerto Rico (3,2%), Cuba (2,8%), México (2,4%), República Dominicana (2,4%) y Colombia (1,6%), entre otros siete orígenes (Cuadro 16). Al realizar el mismo ejercicio pero esta vez aplicado a los clones que actuaron como progenitores, se encuentra que la mayor cantidad procedió de: EUA (26,4%), Barbados (18,6%), Brasil (14,7%), *Saccharum officinarum* (7,3%), India (6,5%), Java (3,0%), No Disponible (2,2%), Sudáfrica (1,7%) y México (1,7%), entre otros 14 orígenes.

Es importante hacer notar que hay países en los cuales operan varios Centros de Investigación o Programas de Mejora que generan siglas de origen diferentes, como acontece con EUA que posee estaciones en Florida (CP, CI), Hawái (H, HJ), Louisiana (L, HoCP), Texas (TCP), Islas Vírgenes (SC). Lo mismo sucede con Australia (MQ, Q, Cato, Eros, Pindar, Ragnar, Trojan, Vesta), Brasil (CB, CTC, IAC, RB, SP), Cuba (C, Ja, My, UCW, Baragua), Colombia (CC, CCSP, M, MC, MZC), Java (EK, POJ, Black Cheribón), India (Co, P), Barbados (B, BH), Sudáfrica (NCo, -N-) y República Dominicana (CR, RD), entre otros. Como se infiere un total de 42 siglas correspondiente al 54,5% del total (77), se concentran en apenas 10 países (45,4%) de los 22 identificados.

### CONCLUSIONES

Con fundamento en lo analizado anteriormente es viable establecer algunas inferencias y conclusiones que se consideran relevantes y trascendentes, como son entre otras las siguientes:

- 1) La vía genética representa una de las alternativas tecnológicas más efectivas que existe para resolver problemas sin tener que incurrir en onerosas inversiones y gastos extraordinarios, la cual permite solventar inconvenientes de adaptabilidad, fitosanidad y productividad, motivo por el cual debe mantenerse activa y en mejora permanente.
- 2) El cambio de variedad es una constante en la ecuación productiva agroindustrial que debe ser atendida con capacidad, proveyendo alternativas de siembra de calidad que satisfagan las exigencias del agricultor ante un mercado y entorno comercial cada vez más exigente.
- 3) La cantidad de variedades identificada y calificada como importante en el país es alta, al ubicar un total de 249 clones sembrados durante el periodo de 490 años transcurrido entre los años 1530-2020, de los cuales 181 correspondieron a variedades importadas del exterior (vía asexual) y 68 nacionales obtenidos en el país (vía sexual) reconocidos por la sigla LAICA.
- 4) El primer material genético se presume fue introducido al territorio nacional procedente del norte (hoy Nicaragua), siendo la denominada "caña criolla", biotipo que correspondió a una selección natural de la especie domesticada *Saccharum officinarum*. Hubo luego otros ingresos como fueron la Bamboo Morada, Black Cheribon, Caledonia Amarilla, Caña Blanca, Cinta, Otaheite, Cristalina y Cubana; adicionalmente se cultivaron clones de la especie *Saccharum sinense* como la Japonesa y la Uba que también tuvieron relevancia.
- 5) La dinámica del cambio permanente de los materiales genéticos identificados (249) se justifica por el prolongado tiempo transcurrido y lo heterogéneo y disímil de las condiciones de cultivo prevalecientes en el país.
- 6) Antes del año 1900 los clones introducidos correspondieron a biotipos naturales seleccionados en el campo a partir de espe-

cies domesticadas y silvestres del Grupo *Saccharum*, particularmente de las especies *S. officinarum* y *S. sinense*. Fue luego de 1926 cuando se introdujo variedades originadas a partir de cruzamientos direccionados, obtenidos en las Estaciones Experimentales de Java, Barbados, Guyana, Australia, Hawái, Mauricio, Cuba, La India, Brasil y Puerto Rico, todas creadas entre los años 1882 y 1913.

- 7) Con la creación del programa de caña de azúcar en el MAI luego de 1950 el trabajo fitogenético adquiere carácter estratégico y científico. La importación de variedades se torna muy dinámica y efectiva virtud de su proyección comercial.
- 8) Por la extensión del área sembrada (ha) en forma acumulada, los 12 clones importados más relevantes en los últimos 35 años son: CP 72-2086, NA 56-42, SP 70-1284, CP 72-1210, Q 96, SP 71-5574, PINDAR, NCo 310, B 82-333, B 80-689, NCo 376 y Mex 79-431 (Chaves 2018c).
- 9) Por su parte, las variedades nacionales más difundidas y que mejor adaptación reportan son las siguientes: LAICA 82-135, LAICA 82-1729, LAICA 82-2020, LAICA 00-301, LAICA 01-604, LAICA 03-805, LAICA 04-250, LAICA 04-809, LAICA 04-825, LAICA 05-802, LAICA 05-805, LAICA 07-20 y LAICA 07-26, entre otras; las cuales se han distinguido en diferentes momentos y localidades luego de 1982.
- 10) En la creación de las 181 variedades de caña calificadas como importantes participaron 175 progenitores diferentes actuando como parental femenino o masculino, lo que incluyó las especies naturales *Saccharum officinarum* y *S. sinense*. De esos 175 clones solo 11 (6,3%) actuaron como progenitores masculinos y femeninos, lo que denota su calidad, sumados a 9 selecciones o biotipos naturales. Los clones selectos fueron B 42-231, Co 290, Co 331, Co 421, Co 475, H 35-198, H 49-5, MZC 74-275, 58N829, POJ 2725 y POJ 2878.
- 11) Un total de 100 clones actuaron como pa-

rentales femeninos que sumados a las especies naturales *S. officinarum* y *S. sinense* generaron 102 materiales genéticos diferentes. La diversidad genética fue muy amplia en origen, destacando las siglas B (23,5%), H (18,6%), CP (9,8%), Co (8,8%), POJ (4,9%), CB (4,9%), Q (2,9%) y SP (2,9%), que corresponden a las "sangres" de uso preferencial empleadas por los mejoradores genéticos. Destacaron clones como B 37-161, Co 281, Co 290, Co 421, H 32-8560, H 44-3098, H 49-5, H 50-7209, NCo 310, POJ 213, POJ 2725, POJ 2878, PR 980, Q 63, Q 77, SP 81-3250, BLACK CHERIBON, CALEDONIA AMARILLA, CAÑA BLANCA, CINTA, CRIOLLA, CRISTALINA, CUBANA y UBA.

- 12) En la obtención de las 181 variedades comerciales importadas se identificó un total de 87 parentales masculinos y dos especies naturales (*S. officinarum* y *S. sinense*) que significaron el 48,1% de todos los progenitores descritos. Las siglas B (21,8%), CP (16,7%), Co (10,3%), H (9,0%), MQ (6,4%), POJ (3,8%), Q (3,8%) y -N- (3,8%); además de la especie *S. officinarum* dominaron la mayoría de los cruzamientos bajo el enfoque sexual. Hubo 30 (17,1%) que se emplearon como parental masculino en los cruzamientos realizados, como fueron B 40-98, B 41-227, B 45-151, B 49-119, B 59-162, Co 290, Co 421, CP 57-603, CP 72-1210, CP 80-1743, H 37-1933, H 49-104, HJ 57-41, Mex 57-473, POJ 2725, POJ 2878, POJ 2940, Q 68, RB 86-7515, SC 12/4, SP 70-1143, BLACK CHERIBON, CALEDONIA AMARILLA, CAÑA BLANCA, CINTA, CRIOLLA, CRISTALINA, CUBANA y UBA.
- 13) Se identificó 44 progenitores en la fabricación de las 68 variedades nacionales sigla LAICA. Cinco (11,4%) variedades actuaron en doble vía como progenitores femeninos y masculinos, como fueron B 76-259, Mex 79-431, Q 96, SP 70-1143 y TCP 87-3388.
- 14) En los clones nacionales 38 variedades del total (44) actuaron como hembra (86,4%). Destacaron las siglas SP (29,5%), H (9,1%) y B, CTC y RB que aplicaron c/u en el 6,8% de los cruces, seguida por Q, TCP y LAICA. Asimismo, 13 clones actuaron como machos

## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

- (29,5%). Las siglas SP (38,5%) y B (15,4%) para un 53,8% conjunto fueron las más utilizadas como macho, siendo las más empleadas como parentales B 60-267, B 76-259, CP 72-2086, Mex 79-431, Q 96, RB 83-102, SP 70-1143, SP 70-1284, SP 71-5574, SP 78-5495, SP 82-1176 y TCP 87-3388.
- 15) De la totalidad de clones identificados (249) se tiene de acuerdo con su sigla, que los 68 LAICA son en cantidad los más representativos con el 27,3% del total sembrado en el país, seguido por los de Barbados (B) con el 12,8%, Hawái (H) con un 8%, Queensland (Q) un 5,6%, Canal Point (CP) un 4,8% y São Paulo (SP) con el 4%, para una representación conjunta del 62,6% correspondiente a 156 materiales genéticos diferentes.
- 16) Las 181 variedades introducidas del exterior procedieron de 32 (62,7%) siglas diferentes y 19 (37,3%) a variedades reconocidas con nombres comunes, para un total conjunto de 51 formas de identificación. La mayor cantidad de variedades fueron de sigla B con 32 clones que representan un 17,7% del total (51), seguida por H (11%), Q (7,7%), CP (6,6%), SP (5,5%), Co (5%), POJ (5%), PR (4,4%), RB (3,9%), Mex (3,3%) y CC (1,7%).
- 17) Los progenitores de las 68 variedades LAICA se concentra en 20 siglas y una calificada como Desconocida. La distribución fue equilibrada entre orígenes, predominando las siglas SP (28,9%), H (8,9%), B (6,7%), RB (6,7%), CTC (6,7%); además de CP, Q, TCP y LAICA con un 4,4% c/u, entre otras. El 57,8% correspondiente a 26 clones fue representado por 5 siglas.
- 18) De los 231 clones utilizados como progenitores para la obtención de las 249 variedades seleccionadas destacan como prioritarias y dominantes las siglas Barbados (B) con un 18,6% para 43 clones, Hawái (H) con el 11,7%, Canal Point (CP) con 10,8%, São Paulo (SP) con 6,9% y Coimbatore (Co) con el 5,6%. Esas cinco siglas representaron el 53,7% (124 clones) de todos los parentales empleados.
- 19) Las 68 variedades nacionales se obtuvieron de 20 siglas y 44 progenitores, de las cuales 38 (84,4%) actuaron como progenitor femenino y 13 (28,9%) como masculino.
- 20) En los 181 materiales introducidos el origen biparental es dominante con un 64,1% contra el 23,8% generado a partir de policruzas; existiendo un 6,6% que correspondió a biotipos de especies domesticadas. Con los clones nacionales la situación es diferente, pues hay ligera prevalencia de la policruza con un 50% contra 48,5% de biparentales, por lo que la fórmula parital es la empleada. Al proyectar sobre los 249 clones (181 importados + 68 nacionales) se nota una polarización en favor de los biparentales que representaron el 59,8% del total, seguido por los cruces múltiples con el 30,9%, un 4,8% corresponden a las dos especies naturales (*S. officinarum* y *S. sinense*), el 2,4% no estuvo disponible y el 2,0% restante fue calificado como desconocido.
- 21) Integrando las 249 variedades se encontró que la sigla LAICA fue la de mayor presencia en el campo (27,3%) seguida por B, H, Q, CP, SP, Co y POJ, entre otras. Clones de las siglas B (18,6%), H (11,7%), CP (10,8%), SP (6,9%) y Co (5,6%), fueron los más utilizados como progenitores.
- 22) El origen de las 249 variedades sembradas procedió de 22 naciones: Costa Rica (28,5%), EUA (14,4%), Barbados (13,2%), Australia (8,0%), Brasil (6,8%), Desconocido (4,8%), Java (4,0%), India (3,6%), Puerto Rico (3,2%), Cuba (2,8%), México (2,4%), República Dominicana (2,4%) y Colombia (1,6%), entre otros.
- 23) Lo actuado históricamente por las instituciones responsables (MAI, MAG, DIECA) de la mejora genética de variedades de caña de azúcar en Costa Rica ha sido bastante buena, profesional y muy responsable; sin embargo, es momento de realizar un salto tecnológico significativo incorporando nuevos elementos científicos con la biología molecular y los métodos estadísticos cuantitativos que favorezcan una mayor efectividad al proceso.



## RECOMENDACIONES

Se sugiere y recomienda con el objeto de recabar información pertinente al tema:

- Es necesario que DIECA asegure que todo clon que se importe e ingrese al país venga precedido y referenciado con los progenitores que le dieron origen. Lo mismo aplica para las obtenciones nacionales.
- DIECA debe revisar y establecer con estricto criterio técnico y mayor profundidad, la correlación y el vínculo que existe entre el origen y la sigla descriptiva de las variedades, con respecto al desempeño comercial agroindustrial que tenga, procurando ubicar ambientes e identificar indicadores genéticos de heredabilidad que establezcan potenciales. El presente documento constituye un excelente insumo para dicha labor.
- La definición y escogencia de los progenitores empleados como parentales para el Pro-

grama de Mejoramiento Genético desarrollado por DIECA, debe partir de criterios sólidos y medibles, basados en estricta información cuantitativa y no apenas en criterios cualitativos muchas veces subjetivos. En esta materia “no necesariamente en la cantidad esta la mayor probabilidad de obtener calidad”, pues la misma puede ser perfectamente direccionada desde un principio utilizando lo mejor de lo mejor, con lo cual se ahorran esfuerzos y recursos.

- Es imperativo que el Programa de Mejora Genética de DIECA se aboque de inmediato, sin más dilación ni justificación, al estudio de las interrelaciones entre genotipo / fenotipo / ambiente, empleando criterios cuantitativos basados en los instrumentos estadísticos y procedimentales que la materia genética proporciona. No es suficiente seguir un protocolo de investigación, deben emplearse otros elementos vinculados con la genética cuantitativa.

### LITERATURA CITADA

- Aguilar, F. 1994. *La caña de azúcar*. En: Atlas Agropecuario de Costa Rica. 1ed. Gonzalo Cortés Enríquez (editor). San José, C.R: EUNED. p: 375-385.
- Alexander, AG. 1973. *Sugarcane Physiology*. Amsterdam: Elsevier. Scientific Publishing Company 752 p.
- Barbieri, V. 1993. *Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (Saccharum spp.): um modelo matemático-fisiológico de estimativa*. Têse de Mestrado. ESALQ-USP, Piracicaba, Brasil. 142 p.
- Barboza V., C.; Aguilar F., J.; León S., J. 1982. *Desarrollo Tecnológico en el Cultivo de la Caña de Azúcar*. San José. Consejo Nacional de Investigaciones científicas y Tecnológicas de Costa Rica (CONICIT/IPPCT), agosto.
- Breaux, R.D. 1987. *Some breeding strategies with bi-parental and polycrosses*. México. Cuaderno de Tecnología. GEPLACEA, julio/diciembre. 11 p.
- Castro, RCP. 2016. *STAB - Fisiologia Aplicada a Cana-de-Açúcar*. Piracicaba, São Paulo. STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. Regional Sul. 208 p.
- COSTA RICA. MAI. 1949. *Censo de la Caña*. San José, Costa Rica. Ministério de Agricultura e Industria (MAI).
- COSTA RICA. MAG. 1963. *Caña de Azúcar*. En: *Cultivos Agrícolas de Costa Rica*. Manual de Recomendaciones. San José, CR. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 4 p.
- COSTA RICA. MAG. 1974. *Caña de Azúcar*. En: *Cultivos Agrícolas de Costa Rica*. Manual de Recomendaciones. San José, CR. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). p: 116-125.
- COSTA RICA. MAG. 1982. *CAÑA DE AZÚCAR. Guía para su cultivo*. San José. Dirección general de Investigaciones Agrícolas, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 11 P.
- COSTA RICA. MAG. 1983. *Caña de Azúcar*. En: *Cultivos Agrícolas de Costa Rica*. Manual de Recomendaciones. San José, CR. Boletín Técnico N° 62. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). p: 81-93.
- COSTA RICA. MAG. 1991. *Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica*. Caña de Azúcar. San José, CR. Boletín Técnico N° 74. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). p: 19-42.
- Chaves Solera, M.A. 1988. *Efeito de Relações Ca:Mg, utilizando Carbonatos e Sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana-de-açúcar*. Tesis Magister Scientiae. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 186 p.
- Chaves Solera, M. 1995a. *Características de la variedad ideal de caña para la producción de azúcar en Costa Rica*. En: Simposio sobre Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Costa Rica, 1, Puntarenas, Costa Rica, 1995. Memorias. San José, DIECA, Setiembre. p: 293-306.
- Chaves Solera, M. 1995b. *Variedades de caña de azúcar de uso comercial en Costa Rica: una sinopsis histórica*. En: Simposio sobre Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Costa Rica, 1, Puntarenas, Costa Rica, 1995. Memorias. San José, DIECA, Setiembre. p: 307-323.
- Chaves Solera, M.A. 1995c. *Obtención de variedades comerciales de caña de azúcar a partir de semilla sexual: un logro de la tecnología costarricense*. En: Simposio sobre Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Costa Rica, 1, Puntarenas, Costa Rica, 1995. Memorias. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. p: 347-354.
- Chaves Solera, M.A. 1995d. *Progenitores de la semilla de caña utilizada por el programa de mejoramiento genético vía sexual desarrollado por DIECA*. En: Simposio sobre Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Costa Rica, 1, Puntarenas, Costa Rica, 1995. Memorias. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. p: 355-363.
- 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 Solera, M.; Rodríguez R., M.; Alfaro P., R.; Rodríguez F., J.M.; Villalobos M., C.; Barrantes M., J.C.; Angulo M., A.; Calderón A., G. 1998. *Variedades de Caña de Azúcar (Saccharum spp) Cultivadas Comercialmente en Costa Rica Durante 1998*. En: Congreso de ATACORI "Álvaro Chavarría P.", 12, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1998. Memoria. San José, ATACORI. p: 83-87.
- Chaves Solera, M.A. 2001. *Aporte de los Ingenieros Agrónomos al desarrollo del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica*. En: LIBRO DE ORO. Colegio de Ingenieros Agrónomos, Medio Siglo de Contribución al Progreso Nacional 1941-1991. San José, Costa Rica: EUNED. p: 225-244.
- Chaves Solera, M.; Rodríguez R., M.; Villalobos M., C.; Angulo M., A.; Calderon A., G.; Alfaro P., R.; Rodriguez F., J.M.; Barrantes M., J.C. 2001. *Censo de Variedades de Caña de Azúcar de Costa Rica Año 2000*. San José, Costa Rica, LAICA - DIECA, marzo. 87 p.
- Chaves Solera, M.A.; Rodríguez R., M.; Alfaro P., R.; Villalobos M., C.; Angulo M., A.; Barrantes M., J.C.; Calderón A., G.; Rodríguez F., J.M. 2004. *Censo de Variedades de Caña de Azúcar Sembradas en Costa Rica Año 2003*. San José, Costa Rica, LAICA-DIECA, setiembre. 126 p.
- Chaves S., M.; Rodríguez R., M.; Angulo M., A.; Villalobos M., C.; Bolaños P., J; Barrantes M., J.C.; Araya V., A.; Calderón A., G. 2008. *Censo de variedades de caña de azúcar sembradas en Costa Rica*. Año 2007. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo. 143 p.
- Chaves S., M.; Barrantes M., J.C.; Bolaños P., J.; Angulo M., A.; Rodríguez R., M.; Villalobos M., C.; Calderón A., G.; Araya V., A. 2011. *Censo de variedades de caña de azúcar de Costa Rica año 2010*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. 90 p.
- Chaves Solera, M. 2008. *Variabilidad productiva agroindustrial en el sector azucarero costarricense: un análisis estadístico de antecedentes*. En: Seminario "Estimación y Proyección Productiva en la Agroindustria Azucarera", San José, Costa Rica. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), LAICA y Colegio de Ingenieros Agrónomos, 9 de octubre del 2008. 94 p.

- Chaves Solera, M. 2012. *Dinámica de las variedades comerciales de caña de azúcar en Costa Rica: análisis por sigla de origen*. Periodo 1986-2010. En: 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.
- Chaves Solera, M.; Bermúdez Loria, A.Z. 2012. *Dinámica de cultivo comercial de las variedades de caña de azúcar en Costa Rica: análisis histórico*. En: 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. Presentación Electrónica en Power Point. 14 Láminas.
- 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.
- Chaves Solera, M.A.; Angulo Marchena, A.; Rodríguez Rodríguez, M.; Bolaños Porras, J.; Araya Vindas, A.; Barrantes Mora, J.C.; Calderón Araya, G., Villalobos Méndez, C. 2015. *Censo de variedades de caña de azúcar sembradas en Costa Rica*. Año 2013. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, marzo.
- 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.
- Chaves Solera, MA. 2017a. *Taxonomía de los suelos sembrados con caña de azúcar en Costa Rica: Órdenes y Subórdenes presentes*. En: Congreso de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 21 y Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Honduras (ATAHON), 20, San Pedro Sula, Honduras, 2017. Memorias. San Pedro Sula, Honduras, ATACA/ATAHON, agosto 22 al 25, Centro de Convenciones Copantl. 14 p.
- Chaves Solera, MA. 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. 2017c. *¿Dónde se produce territorialmente la caña con que se fabrica el azúcar en Costa Rica?* Revista Entre Cañeros N° 8. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, marzo. p: 6-26.
- Chaves Solera, M.A. 2017d. *DIECA: 35 años al servicio de la agricultura cañera costarricense*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 29 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017e. *Enfoque biotecnológico integral en DIECA: pasado, presente y futuro*. Revista Entre Cañeros N° 7. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, enero. p: 5-18.
- Chaves Solera, MA. 2018a. *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, MA. 2018b. *Siembra comercial de variedades de caña de azúcar: dinámica histórica de su cultivo en Costa Rica*. En: Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, 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. 89 p.
- Chaves Solera, MA. 2018c. *Las 75 variedades de caña de azúcar más sembradas comercialmente en Costa Rica durante el periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 15 p.
- Chaves Solera, MA. 2018d. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Canal Point (Sigla CP) en Costa Rica*. Periodo 1986-2016 (30 años). 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. 8 p.
- Chaves Solera, MA. 2018e. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Hawaiano (Sigla H) en Costa Rica*. Periodo 1986-2016 (30 años). 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. 7 p.
- Chaves Solera, MA. 2018f. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Barbados (Sigla B) en Costa Rica*. Periodo 1986-2016 (30 años). 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. 8 p.
- Chaves Solera, MA. 2018g. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Brasileño (Siglas CT-RB-SP) en Costa Rica*. Periodo 1986-2016 (30 años). San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 9 p.
- Chaves Solera, MA. 2018h. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Caribeño procedentes de Cuba, República Dominicana y Puerto Rico (Siglas C-Ja-RD-PR) en Costa Rica*. Periodo 1986-2016 (30 años). San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 8 p.
- Chaves Solera, MA. 2018i. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Costarricense (Sigla LAICA) en Costa Rica*. Periodo 1986-2016 (30 años). San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 11 p.
- Chaves Solera, MA. 2018j. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Mexicano (Sigla Mex) en Costa Rica*. Periodo 1986-2016 (30 años). San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 10 p.



Chaves Solera, MA. 2018k. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Indio (Siglas Co-NCo) en Costa Rica. Periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 9 p.

Chaves Solera, MA. 2018l. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Argentino (Siglas NA-TUC) en Costa Rica. Periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 9 p.

Chaves Solera, MA. 2018m. *Recorrido histórico de las variedades comerciales de caña de caña de azúcar de origen Australiano (Siglas Q-CATO-PINDAR) en Costa Rica. Periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 9 p.

Chaves Solera, MA. 2018n. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en la región de Guanacaste, Costa Rica, durante el periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, octubre. 23 p.

Chaves Solera, MA. 2018o. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en el Pacífico Central (Puntarenas), Costa Rica, durante el periodo 1994-2016 (22 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 27 p.

Chaves Solera, MA. 2018p. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en la Región Norte (San Carlos-Los Chiles), Costa Rica, durante el periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. 24 p.

Chaves Solera, MA. 2018q. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en el Valle Central (Grecia-San Ramón), Costa Rica, durante el periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 29 p.

Chaves Solera, MA. 2018r. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en la Zona Atlántica (Turrialba-Juan Viñas), Costa Rica, durante el periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 27 p.

Chaves Solera, MA. 2018s. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en la Zona Sur (Pérez Zeledón-Buenos Aires), Costa Rica, durante el periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 28 p.

Chaves Solera, MA.; Bermúdez Acuña, L.; Méndez Pérez, D.; Bolaños De Ford, F. 2018. *Medición de los indicadores de calidad de la materia prima procesada por los Ingenios azucareros de Costa Rica durante el Periodo 2004-2016 (13 zafras)*. En: Seminario Internacional: Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 2, Puntarenas, Costa Rica, 2018. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), junio 5 al 7, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 75 p. También en: Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 75 p.

SECO (Puntarenas + Guanacaste), Costa Rica, durante el periodo 1986-2016 (30 años). San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio. 32 p.

Chaves Solera, MA. 2019b. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en la Zona Este de Guanacaste, Costa Rica, durante el periodo 1994-2016 (22 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 23 p.

Chaves Solera, MA. 2019c. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en la Zona Oeste de Guanacaste, Costa Rica, durante el periodo 1994-2016 (22 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio. 25 p.

Chaves Solera, MA. 2019d. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en Los Chiles, Zona Norte, Costa Rica, durante el periodo 2000-2016 (17 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 25 p.

Chaves Solera, MA. 2019e. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en San Ramón, Valle Central, Costa Rica, durante el periodo 2000-2016 (17 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 26 p.

Chaves Solera, MA. 2019f. *Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en la Zona Alta (>1.000 msnm) de Cartago, Costa Rica, durante el periodo 1994-2016 (22 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, abril. 30 p.

## SECCIÓN EDITORIAL

- Chaves Solera, M.A. 2019g. *Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019h. *Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica*. En: Seminario Internacional: Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica. Hotel Condovac La Costa, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2019. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 15, 16 y 17 de octubre, 2019. 114 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019i. *Nomenclatura y reconocimiento internacional de variedades en el cultivo de la caña de azúcar*. Revista Entre Cañeros N° 13. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, setiembre. p: 4-20.
- Chaves Solera, M.A. 2019j. *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. 2019k. *Resultado final de la Zafra 2018-2019: un periodo agroindustrial con grandes diferencias y contrastes*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 73 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019l. *Clima, cosecha de caña y fabricación de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(19): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.; Bolaños Porras, J.; Barrantes Mora, J.C.; Rodríguez Rodríguez, M.; Angulo Marchena, A.; Barquero Madrigal, E.; Calderón Araya, G. 2020. *Censo de variedades de caña de azúcar de Costa Rica año 2019*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, abril. 166 p.
- Chaves Solera, M.A. 2020a. *Implicaciones del clima en la calidad de la materia prima caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(1): 5-12, enero.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. *Atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar para enfrentar el cambio climático*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 5-14, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. *Participación del clima en la degradación y mineralización de la materia orgánica: aplicación a la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(12): 6-17, junio.
- Chaves Solera, M.A. 2020d. *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. 2020e. *Clima, germinación, ahijamiento y retoñamiento de la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(14): 6-14, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020f. *Clima, degradación del suelo y productividad agroindustrial de la caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(15): 5-13, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2020g. *Clima, 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. 2020h. *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. 2020i. *Clima, suelo y manejo: factores determinantes en la compactación de los suelos*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(20): 5-15, setiembre.
- Solera, M.A.; Bermúdez Loría, A.Z. 2020j. *Vavilov, recursos fitogenéticos y la caña de azúcar*. Revista Entre Cañeros N° 17. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, setiembre. p: 5-33.
- Chaves Solera, M.A.; Bermúdez Loría, A.Z. 2020k. *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.
- DIECA. 1990. *Recomendaciones técnicas para el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, agosto. 30 p.
- DIECA. 1992. *Guía de siembra y asistencia de la caña de azúcar en la Zona Sur. Pérez Zeledón, San José, Costa Rica*. 1982-1992 Décimo Aniversario al Servicio de la Investigación y Transferencia de Tecnología de la Caña de Azúcar. 4 p.
- DIECA. 1994. *Guía Técnica para el cultivo de la Caña de Azúcar*. Región Valle Central Occidental. Grecia, Costa Rica. LAICA-DIECA. Junio. 15 p.
- DIECA. 2015. *Programa de Variedades: Informe de Resultados 2014*. San José, Costa Rica. DIECA-LAICA. Mayo. 70 p.
- DIECA. 2016. *Programa de Variedades. Informe de Resultados 2015*. San José, Costa Rica. DIECA-LAICA. Marzo. 79 p.
- DIECA. 2017. *Programa de Variedades. Informe de Resultados 2016*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 74 p.
- DIECA. 2018. *Programa de Variedades. Informe de Resultados 2017*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, junio. 74 p.
- DIECA. 2019. *Programa de Variedades. Informe de Resultados 2018*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 77 p.
- DIECA. 2020. *Programa de Variedades. Informe de Resultados 2019*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, mayo. 95 p.
- Durán Alfaro, J.; Oviedo Alfaro, M. 2015. *La hibridación de la caña de azúcar en Costa Rica. ¿Qué se ha hecho?* En: 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.

- Durán Alfaro, J.R. 2018. *Avances en el desarrollo de variedades serie LAICA con un enfoque de alta sacarosa*. En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 2, Puntarenas, Costa Rica, 2018. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), junio 5 al 7, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 75 p.
- Esquivel R., E.A. 1982. *Nomenclatura usada en las variedades de caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA. 42 p.
- Flores Cáceres, S. 2001. *Las variedades de caña de azúcar en México*. 1era Edición. México D.F. 308 p.
- León Arguedas, J. 2000. *Botánica de los Cultivos Tropicales*. 3a ed rev y aum. San José, CR: IICA. p: 426-452.
- 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 económicos*. San José, Costa Rica: Instituto de Investigaciones en Ciencias económicas. 256 p.
- Machado Jr., G.R.; Burnquist, W.L. 1986. *Variety Notes*. Fourth Revision 1986. Piracicaba, São Paulo, Brazil. Copersucar Technology Center, July. 78 p.
- Machado Jr., G.R.; Walker, D.I.T. 1991. *Variety Notes*. 5th Revision. "an international directory". Piracicaba, Brazil. Centro de Tecnologia Copersucar, January. 74 p.
- Machado Jr., G.R. 2001. *Sugarcane Variety Notes "an international directory"*. 7th Revision. Piracicaba, Brazil, February. 132 p.
- Montenegro Ballester, J.; Chaves Solera, M. 2009. *Emisión de gases por la caña de azúcar: propuesta metodológica para realizar un balance de carbono*. En: 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.
- Oviedo Alfaro M., Durán Alfaro J.R. 2013. *Características de las variedades LAICA más importantes generadas por el Programa de variedades de DIECA en Costa Rica*. En: Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), 19, Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 20, "M.Sc 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.
- Oviedo Alfaro, M.; Durán Alfaro, J.R. 2015. *Impacto de las variedades LAICA en las diferentes regiones cañeras de Costa Rica*. En: 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.
- Ramírez Rodríguez, C.A. 1952. *Las nuevas variedades de Barbados*. Suelo Tico 6 (28): 200-203.
- Ramírez Rodríguez, C.A. 1953. *Características de las Barbados más prometedoras para Costa Rica*. Revista de Agricultura (Costa Rica) 25 (4): 120,122-124, 126, 128.
- Ramírez Rodríguez, C.A. 1954. *Records de producciones y nuevas variedades de caña de azúcar*. Suelo Tico 7(31): 283-286.
- Ramírez Rodríguez, C.A. 1969. *Cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica*. San José, CR. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Investigaciones, Departamento de Agronomía. 36 p.
- Ramírez Rodríguez, C. 1979. *Sinopsis de las experiencias continuadas en investigación de la caña de azúcar durante el periodo 1950-1979*. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería, setiembre. 48 p.
- Ramírez Rodríguez, C.A. 1980a. *Características, desarrollo e investigación de la caña de azúcar en Costa Rica*. San José, CR. MAG-LAICA, mayo. 31 p.
- Ramírez Rodríguez, C.A. 1980b. *Experiencias continuadas de investigación de la caña de azúcar durante 30 años 1950-1979*. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 48 p.
- Rodriguez, M. 1987. *La actividad azucarera en Costa Rica: 1940-1965*. Organización, evolución y características. Tesis Escuela de Historia y Geografía. Universidad de Costa Rica, 2 Tomos. 391 p.
- Sáenz Maroto, A. 1970. *Caña de Azúcar*. En: *Historia Agrícola de Costa Rica*. San José, Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio". Publicaciones de la Universidad de Costa Rica: Serie agronómica N° 12. p: 167-182.
- Stevenson, G.C. 1965. *Genetics and Breeding of Sugar Cane*. Longmans Trop. Sc. Series, London. 284 p.
- SUGARCANE: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology*. 2014. edited by Paul H. Moore, Frederick C. Botha. New York: Ed John Wiley & Sons, Inc. Iowa USA. 693 p.
- Unigarro Muñoz, C.A.; Victoria Kafure, J.I.; Checa Coral, O.E. 2013. *Evaluación del área de aerénquima radical en caña de azúcar (Saccharum spp.) como característica de tolerancia a hipoxia*. Acta agronómica 62(3): 223-231.
- Vargas Morera, N.R. 1986. *Encuesta Sobre Aspectos Básicos de la Agroindustria de la Caña de Azúcar en Costa Rica*. Resultados Obtenidos. San José; Costa Rica. DIECA. 51p.
- Van der Laat, J. 1911. *Los cañales costarricenses*. San José, C.R. Boletín de Fomento 1(12).
- Warner, J. 1953. *El cultivo de la caña en Costa Rica*. San José



## EVALUACIÓN DE TRES DENSIDADES DE SEMILLA EN CUATRO VARIETADES COMERCIALES DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA REGIÓN SUR DE COSTA RICA

Julio César Barrantes Mora<sup>1</sup>, Randall Ocampo Chinchilla<sup>2</sup>, Roberto Alfaro Portuguez<sup>3</sup>, Willy Valverde Araya<sup>4</sup>

### Resumen

La cantidad de semilla (t/ha) que se emplee en la siembra de una plantación comercial de caña de azúcar está directamente vinculada a dos factores principales: 1) La variedad, cuyas características fenotípicas principalmente de grosor, influyen directamente; y 2) la densidad o número de tallos por línea de surco que se utilice en la siembra (número de chorros). Por ello, la optimización técnica de éste parámetro a través de investigaciones relacionadas, implica un factor muy relevante en el proceso de establecimiento de las plantaciones. En esta investigación se buscó enfocar claramente el concepto de densidad de semilla (número de chorros) en función de las características de cada variedad, para ello se determinó el gasto de material vegetativo en tres diferentes densidades (2,3 y 4 chorros por surco de siembra) en cuatro variedades comerciales de la Región Sur de Costa Rica: LAICA 04-809, LAICA 04-825, LAICA 05-805 y RB 98-710; sembradas todas a 1,50 metros de separación entre surcos. El estudio se estableció en mayo de 2015 en la finca El Porvenir propiedad de CoopeAgri R.L. ubicada en el distrito de San Pedro, cantón de Pérez Zeledón, a una altitud de 560 msnm, una temperatura media de 23,2°C y una precipitación media anual de 2.581 mm. Las características del suelo donde se estableció la investigación lo ubican en el orden Ultisol. En el análisis de varianza las variedades presentaron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de yemas efectivas

por metro, sobresaliendo en la prueba de medias la variedad LAICA 05 805 y LAICA 04-825 con mayor cantidad de yemas efectivas respecto a las otras dos variedades evaluadas, siendo una posible justificación de éstas diferencias un factor genético (de forma y calidad de las yemas) característico del material; que les otorga mayor resistencia a la manipulación del proceso de corta-carga-transporte y siembra.

En la producción de caña (t caña/ha) sobresalieron estadísticamente las variedades LAICA 04-825, LAICA 05-805 y RB 98-710 que mostraron diferencias significativas respecto a la variedad LAICA 04-809; además se observó una correlación positiva entre la cantidad de yemas efectivas y la producción de campo. En la interacción variedad y densidad de semilla no se presentaron diferencias estadísticas significativas; probablemente como sucede en muchos casos, algunos resultados tienden a enmascarse y se vuelven poco perceptibles por el análisis; a pesar de la presencia de diferencias entre tratamientos en los resultados; donde se observaron algunas tendencias en cuanto a consumo de semilla diferenciado según variedades. Se determinó además, que bajo las condiciones en que se realizó el estudio, la densidad de 3 chorros resultó ser la más adecuada desde el punto de vista técnico-económico para las 4 variedades evaluadas.

<sup>1</sup> Ingeniero Agrónomo, coordinador de la Región Sur, Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA), Costa Rica. E-mail: jbarrantes@laica.co.cr

<sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo, investigador Programa de Agronomía, Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA), Costa Rica. E-mail: rocampo@laica.co.cr

<sup>3</sup> Ingeniero Agrónomo, coordinador Programa de Agronomía, Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA), Costa Rica. E-mail: ralfaro@laica.co.cr

<sup>4</sup> Ingeniero Agrónomo, jefe de Operaciones Agrícolas, CoopeAgri R.L., Costa Rica. E-mail: wivalverde@coopeagri.co.cr

### INTRODUCCIÓN

En el cultivo de la caña de azúcar, el material vegetativo usado como semilla constituye un factor determinante en la producción cuando se procura alcanzar el éxito técnico y económico de una plantación comercial. Este éxito a nivel productivo de cada nueva plantación está influenciado tanto por la calidad del material que se emplee en la siembra; como también por una adecuada cantidad de yemas distribuidas en el surco; lo que promueve directamente una óptima germinación y con ello un buen encepamiento y población de tallos; los cuales con un adecuado manejo agronómico lleven a obtener un alto rendimiento agroindustrial. De acuerdo a Chaves (2020); actualmente el costo de semilla en la inversión de establecimiento de una hectárea de caña de azúcar para la Región Sur de Costa Rica es del 22,4 % (¢333.452) del total del costo de establecimiento (¢1.487.380) equivalente a ¢27.787,67 por tonelada métrica de semilla; convirtiéndolo en un factor relevante desde el punto de vista económico y justificando de esta forma; la importancia de determinar la cantidad justa de semilla más adecuada a utilizar para cada variedad.

La cantidad de semilla (t/ha) que se emplee en la siembra, está directamente vinculada a dos factores principales: la variedad a utilizar, cuyas características fenotípicas principalmente de grosor, influyen directamente; y la densidad de siembra o número de tallos que se distribuyan en el surco (número de chorros) los cuales aseguren, como se mencionara al inicio, una adecuada cantidad de yemas por metro lineal de surco. Es por ello que la optimización técnica de éste parámetro a través de investigaciones relacionadas, implicará en menores costos de producción y hará más rentable y atractiva la actividad.

De acuerdo con Chaves (1985) y Alfaro (1999), el material vegetativo que se utilice como semilla debe asegurar y garantizar una alta pureza gené-

tica, una elevada fitosanidad y contar con la edad adecuada que garantice y potencie una rápida germinación y retoñamiento, así como un buen vigor; además de imponer una alta homogeneidad en el desarrollo general de la plantación, lo que repercutirá directamente en una mayor productividad del cañal. En la Región Sur de Costa Rica el concepto de calidad de la semilla se ha venido posicionando a través de un programa de reproducción de materiales derivado de reproducción *in vitro* entre LAICA y CoopeAgri R.L. en la etapas iniciales (semilleros básicos y semi-comerciales) y con la participación de los productores en la etapa de reproducción comercial; dándosele el verdadero valor e importancia que este factor tiene al momento de establecer las plantaciones comerciales.

Es común el concepto erróneo de que utilizando altas cantidades de semilla, se asegura una buena germinación, así como una alta población de tallos molederos que al final permitirán obtener una mayor cosecha; sin embargo, como menciona Marroquín (2014), generalmente no se toma en cuenta los criterios de costos de producción, la capacidad de la caña de formar cepa, y el hecho de que las altas poblaciones de tallos luego de ocurrida la germinación generan competencia por luz, agua, espacio y nutrimentos; dándose por ello una regulación natural de tallos por metro lineal de surco. Por estas razones, se busca en esta investigación dar un enfoque claro del concepto de densidad de semilla óptimo a utilizar en función de las características de cada variedad mediante la determinación del gasto de semilla a tres diferentes densidades (2, 3 y 4 chorros) en cuatro variedades comerciales: LAICA 04-809; LAICA 04-825; LAICA 05-805 y RB 98-710; sembradas todas a 1,50 metros de separación entre surcos y definir desde el punto de vista técnico-económico la densidad adecuada a utilizar para cada variedad.

### OBJETIVO

Evaluar el empleo de semilla a tres distintas densidades de siembra (2, 3 y 4 chorros) en cuatro variedades comerciales de caña de azúcar sembradas en la Región Sur de Costa Rica; mi-

diendo como variable principal la cantidad de semilla (t/ha) empleada a la siembra. Además realizar una valoración de la relación beneficio-coste de cada una de las densidades empleadas para cada variedad.



MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en mayo 2015; en la finca El Porvenir propiedad de CoopeAgri R.L. ubicada en el distrito de San Pedro, cantón de Pérez Zeledón, a una altitud de 560 msnm, una temperatura media de 23,2°C y una precipitación media anual de 2.581 mm. Las características del suelo donde se estableció la investigación lo ubican en el orden Ultisol. El diseño utilizado fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en arreglo factorial de 43.

Las parcelas o unidades experimentales estuvieron constituidas por 4 surcos de 6 metros de largo separados a 1,5 metros entre sí, para un área de parcela de 36 m<sup>2</sup>. Las variedades cultivadas fueron LAICA 04- 809, LAICA 04-825, LAICA 05-805 y RB 98-710 seleccionadas por su alta proyección de área cultivada. Las densidades de semilla se determinaron con base en el número de chorros regados en el surco (2, 3 ó 4), cruzados por unos 20 cm colas (cogollo) con bases, y luego cortados en trozos (esquejes) de 3 yemas. Se contabilizaron el total de yemas por metro y se verificó su viabilidad, para lo cual se descartaron las yemas dañadas, viejas y muy tiernas, para obtener la variable número de yemas efectivas. La cantidad de esquejes por parcela fueron pesados antes de ser sembrados, por lo que se obtuvo el peso de la semilla depositada por parcela. Las labores del manejo aplicadas a estas parcelas fue el mismo que la finca emplea para las plantaciones comerciales. Las parcelas fueron cosechadas cuando la caña alcanzó la edad de 12 meses aproximadamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presenta el análisis de varianza, donde se puede observar que entre las variedades se presentaron diferencias estadísticas significativas para la cantidad de yemas efectivas por metro, sobresaliendo las variedades LAICA 05 805 y LAICA 04-825 con mayor cantidad de yemas efectivas respecto a las variedades LAICA 04-809 y RB 98-710; siendo

una posible justificación de estas diferencias un factor genético (de forma y calidad de las yemas) que les confiere mayor resistencia a la manipulación del proceso de corta-carga-transporte y siembra.

En la producción de caña (t caña/ha) sobresalieron las variedades LAICA 04-825, LAICA 05-805 y RB 98-710 que muestran diferencias estadísticas respecto a la variedad LAICA 04-809; además se da una correlación positiva entre la cantidad de yemas efectivas y la producción de campo de las variedades evaluadas, aunque en algunos casos estas no son significativas.

En la densidad de semilla independientemente de la variedad se encontró una correlación positiva entre el número de tallos usados en el surco (2, 3 ó 4 chorros) y las variables número de yemas así como producción de caña (t caña/ha); por ello es lógico el resultado obtenido de que a mayor número de tallos por surco se obtendrán mayor número de yemas efectivas; sin embargo no necesariamente esto genera un incremento significativo en el tonelaje, ya que como se observa (cuadro 1) y a manera de ejemplo, ente las densidades de 3 y 4 semillas se obtuvo diferencias estadísticas significativas en cuanto a yemas efectivas por metro; no obstante estas diferencias no fueron significativas en lo referente a las t caña/ha.

Igual situación se presentó entre las densidades de 2 y 3 chorros usados en la siembra. En la interacción variedades y densidad de semilla no se presentaron diferencias significativas probablemente y como sucede por lo general, algunos resultados tienden a enmascarse y se vuelven poco perceptibles para la estadística a pesar de la presencia de diferencias entre tratamientos; sin embargo se observan tendencias como sucedió con el menor consumo de semilla (t/ha) de la variedad RB 98-710 para las tres densidades de semilla evaluadas.

Cuadro 1.

Análisis de varianza de ensayo de 3 densidades de semilla en 4 variedades. Primera cosecha. Región Sur, Costa Rica. 2016

Fuente de variación	t semilla/ha		yemas efectivas/m		t caña/ha	
Variedades						
LAICA 04-809	13,50	a	21,08	b	82,71	B
LAICA 04-825	13,08	a	26,17	ab	106,85	A
LAICA 05-805	13,28	a	27,67	a	105,26	A
RB 98-710	10,76	a	22,21	b	101,23	A
Densidad semillas						
2 chorros	9,27	c	16,41	c	94,42	B
3 chorros	12,58	b	24,72	b	99,13	Ab
4 chorros	16,11	a	31,72	a	103,48	A
Variedades x Densidad						
LAICA 04-809 x 2 chorros	9,13		15,63		78,54	
LAICA 04-809 x 3 chorros	13,75		21,25		84,17	
LAICA 04-809 x 4 chorros	17,63		26,38		85,42	
LAICA 04-825 x 2 chorros	9,88		17,00		102,41	
LAICA 04-825 x 3 chorros	12,92		26,75		106,94	
LAICA 04-825 x 4 chorros	16,46		34,75		111,20	
LAICA 05-805 x 2 chorros	10,50		18,50		98,34	
LAICA 05-805 x 3 chorros	12,25		26,25		104,03	
LAICA 05-805 x 4 chorros	17,08		38,25		113,40	
RB 98-710 x 2 chorros	7,57		14,50		98,40	
RB 98-710 x 3 chorros	11,42		24,63		101,39	
RB 98-710 x 4 chorros	13,28		27,50		103,89	

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (p>0,05) según prueba de Tuckey al 5%.





En el cuadro 2 se muestran los resultados de determinación de gasto de semilla según número de chorros utilizados para cada variedad, además de la cantidad de yemas efectivas presentes. A pesar de no encontrarse diferencias estadísticamente significativas en las interacciones variedad y cantidad de chorros, como se mencionara con anterioridad; si se nota una clara tendencia incremental y proporcional de la canti-

dad de yemas efectivas conforme se incrementa la cantidad de semilla utilizada como resultado de aumentar la densidad de siembra. En promedio a 2 chorros se utilizan 9,3 t/ha, mientras que para tres y cuatro chorros se utilizan 12,6 y 17 t/ha respectivamente. En yemas efectivas es creciente el valor; siendo de 16,6, 24,8 y 33,8 yemas/metro a dos, tres y cuatro chorros respectivamente.

### Cuadro 2.

Gasto de semilla y yemas efectivas a tres densidades (2, 3 y 4 chorros) en 4 variedades. Primera cosecha. Región Sur, Costa Rica. 2016

Variedad	t semilla/ha (chorros)			Yemas Efectivas/m		
	2	3	4	2	3	4
LAICA 04-809	9,1	13,8	19,4	15,6	21,3	29,3
LAICA 04-825	9,9	12,9	16,5	17,0	26,8	34,8
LAICA 05-805	10,5	12,3	17,1	18,5	26,3	38,3
RB 98-710	7,6	11,4	15,0	14,5	24,6	32,7
<b>Promedio</b>	<b>9,3</b>	<b>12,6</b>	<b>17,0</b>	<b>16,4</b>	<b>24,8</b>	<b>33,8</b>

No hubo diferencias estadísticas para ninguna de las variedades evaluadas según prueba de Tukey al 5%.

No obstante éste incremento en la cantidad de yemas efectivas, inducidas por la mayor cantidad de semilla utilizada; al medir la germinación luego de la siembra (tallos primarios); se observa (cuadro 3) como al aumentar la densidad de siembra y con ello la cantidad de yemas; la relación % de yemas efectivas/tallos primarios disminuyó. Se puede notar como a 2 chorros; el 55,9 % de las yemas se convirtieron en tallos primarios contrario a 4 chorros donde solo el 42,3 % lo hizo; para una diferencia de 13,6%. Esto implica que no necesariamente se obtendrá mayor cantidad de tallos primarios, y con esto mayor productividad al incrementar la cantidad de semilla utilizada a la siembra. Resultados similares obtuvieron Cal-

derón y Chaves (2003) ya que luego de evaluar esta variable (tallos por metro) hasta seis meses después de la siembra no encontraron diferencias consistentes entre sembrar a 2, 3 ó 4 chorros para esta variable.

Curiosamente las variedades LAICA 04-825 y LAICA 05-805 que en las mediciones presentaron mayor cantidad de yemas efectivas a la siembra son las que menor porcentaje en la relación yemas viables/tallos primarios obtuvieron; una explicación podría ser la mayor competencia de las yemas entre sí al incrementarse las poblaciones de las mismas.

### Cuadro 3.

Relación de yemas efectivas/tallos primarios (%) Primera cosecha. Región Sur, Costa Rica. 2016

Variedad/ chorros	Relación yemas efectivas/tallos primarios. (%)			
	2	3	4	Promedio
LAICA 04-809	58,3	62,9	52,9	58,0
LAICA 04-825	38,8	35,4	27,9	34,0
LAICA 05-805	51,9	46,0	40,5	46,1
RB 98-710	74,5	61,0	47,7	61,1
<b>Promedio</b>	<b>55,9</b>	<b>51,3</b>	<b>42,3</b>	<b>49,8</b>

Datos muy similares de germinación se encuentran reportados en otras investigaciones reportadas por Reyes (2014) que encontró porcentajes de germinación del 51,32%, 55,22% y 51,35% para las variedades CP 72-2086, CP 73-

1543 y CP 88-1165 respectivamente para siembras entre 15 y 20 yemas por metro; muy similares a las obtenidas en este estudio para las densidades de 2 y 3 chorros.

## COMPORTAMIENTO SEGÚN LA DENSIDAD DE SIEMBRA

### • Siembra a dos chorros

En la figura 1 se muestran los datos de yemas totales, efectivas, tallos primarios y toneladas de semilla según la variedad evaluada al utilizar la densidad menor (2 chorros), para la cual, en promedio y como se observa en el cuadro 3, se obtuvo un 55,9 % germinación de yemas efectivas; sin embargo, se encontraron diferencias notorias entre variedades; siendo la variedad LAICA 04-825 la que menores tasas de germinación obtuvo ya que de las 17 yemas viables plantadas solo 6,6 en promedio germinaron y se convirtieron en tallos primarios (38,8%); dándose el efecto inverso con la variedad RB 98-710 donde de las 14,5 yemas efectivas promedio, 10,8 germinaron para un 74,5% de efectividad.

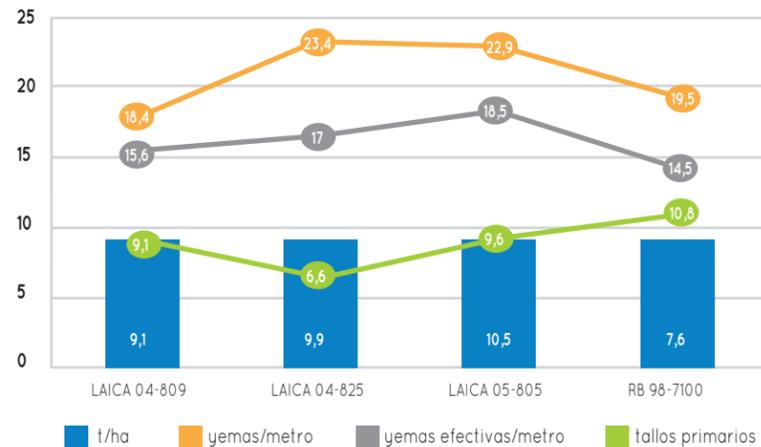


Figura 1.

Yemas totales, yemas efectivas y tallos primarios en función del consumo de semilla (t/ha) para cuatro variedades comerciales de la Región Sur sembradas a dos chorros. 2016.

De igual forma se observa una amplitud en el gasto de semilla que va desde las 7,6 t/ha para la RB 98-710 hasta las 10,5 t/ha para la LAICA 05-805. Este comportamiento va muy asociado al grosor del tallo, teniendo la primera un diámetro promedio de 2,60 cm; mientras que la segunda un diámetro de 2,80 cm. De igual forma se observa

en el cuadro anterior que la variedad que consumió menor cantidad de semilla (RB 98-710) fue la que presentó el mayor número de tallos primarios (10,8 tallos/m); lo cual es una característica intrínseca en esta variedad al poseer un comportamiento de alta viabilidad de germinación de sus yemas.

### • Siembra a tres chorros

Con respecto a la siembra a 3 chorros; en general, el 51,3 % de las yemas efectivas germinaron (Cuadro 3); con diferencias notorias entre variedades (figura 2), obteniéndose, para el caso de la variedad LAICA 04-825, que solo 9,5 de las 26,8 yemas efectivas se convirtieron en tallos primarios, para un 35,4% de germinación; por el contrario para la variedad LAICA 04-809 germinaron el 62,9% de las yemas efectivas (13,4

germinadas de 21,3 yemas efectivas); además se mantiene la variedad RB 98-710 como la que consiguió mayor población de tallos en general con 15 tallos primarios por metro (61 % de germinación de yemas efectivas) asociado a un menor consumo de semilla (11,4 t/ha) con respecto a las otras variedades; contrariamente la variedad LAICA 04-809 presenta el mayor consumo de semilla (13,8 t/ha).

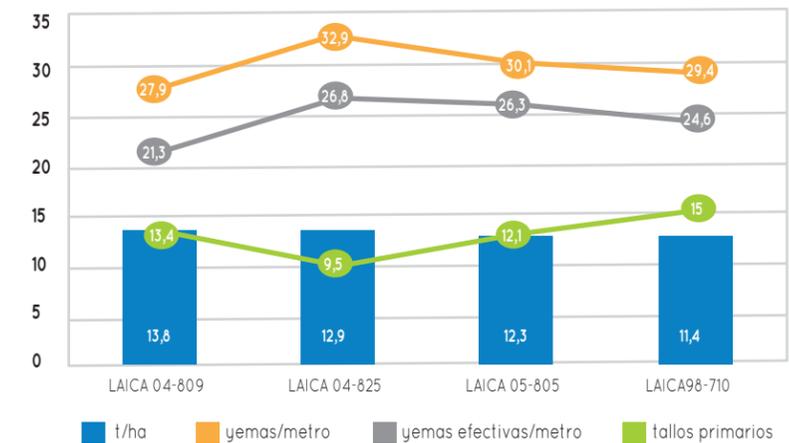


Figura 2.

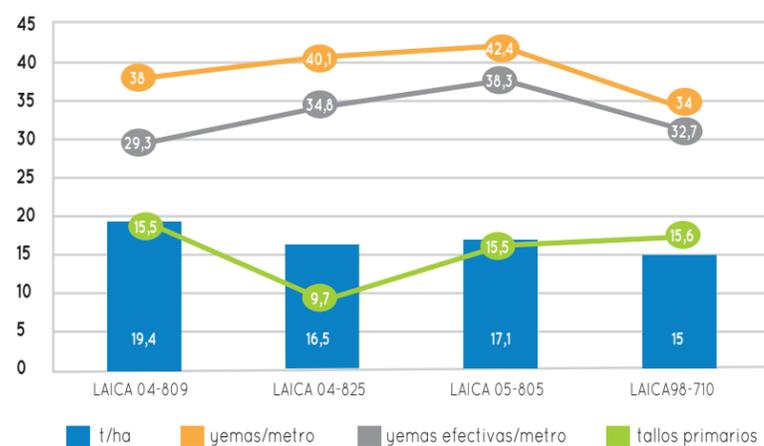
Yemas totales, yemas efectivas y tallos primarios en función del consumo de semilla (t/ha) para cuatro variedades comerciales de la Región Sur sembradas a tres chorros. 2016.

## SECCIÓN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

### • Siembra a cuatro chorros.

Con respecto a la siembra a 4 chorros, como se mostró en el Cuadro 3, el porcentaje de yemas efectivas que llegaron a tallos primarios alcanzó en promedio un 42,3%; sin embargo este porcentaje de germinación fue muy diverso entre las distintas variedades evaluadas, según se observa en la figura 3; en el caso de la LAICA 04-825 solo se alcanzó un 27,9% de germinación ya que sólo 16,5 de las 34,8 yemas germinaron y se convirtieron en tallos primarios; dándose el efecto inverso con la LAICA 04-809 donde el 52,9%

lo hicieron. Sin embargo, se nota como a esta densidad de siembra se obtuvo el máximo de tallos primarios y la mayor homogenización entre variedades ya que la cantidad de estos tallos primarios fue prácticamente la misma entre variedades, a excepción de la variedad LAICA 04-825 que presentó una cantidad de tallos primarios visiblemente menor. No obstante, el gasto de semilla entre las variedades fue diverso, con una amplitud de entre 15,0 t/ha para la RB 98-710 y 19,4 t/ha para la variedad LAICA 04-809.



**Figura 2.**

Yemas totales, yemas efectivas y tallos primarios en función del consumo de semilla (t/ha) para cuatro variedades comerciales de la Región Sur sembradas a tres chorros. 2016.



## COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO

En el cuadro 4 se muestra los datos de rendimiento de campo (t caña/ha) en donde se nota como a la densidad de 2 chorros la producción decayó en 4,9% (4,7 t/ha), contraria-

mente a 4 chorros la producción se incrementó en 4,2% (3,5 t/ha) todo respecto a la siembra tradicional a tres chorros.

### Cuadro 4.

Rendimiento de campo (t caña/ha) y comparativo de producción respecto a la siembra tradicional. Primer corte. 2016

Variedad/ chorros	Producción t caña/ha y variación (%) respecto siembra tradicional (3 chorros)					
	2	%	3*	%	4	%
LAICA 04-809	78,5	93,2	84,2	100,0	85,4	101,4
LAICA 04-825	102,4	95,8	106,9	100,0	111,2	104,0
LAICA 05-805	98,3	94,5	104,0	100,0	113,4	109,0
RB 98-710	98,4	97,0	101,4	100,0	103,9	102,5
<b>Promedio</b>	<b>94,4</b>	<b>95,1</b>	<b>99,1</b>	<b>100,0</b>	<b>103,5</b>	<b>104,2</b>

\* Se compara la producción con la siembra a 3 chorros (tradicional).

## EVALUACIÓN COSTO/BENEFICIO

Basado en los datos mostrados en el cuadro 4 se realizó un ejercicio de costo-beneficio para cada variedad según la distancia de siembra utilizada de tal forma se muestra un comparativo de gasto de semilla y estudio de costo-beneficio de la siembra de la variedad LAICA 04-809 respecto a la inversión de semilla y la producción

obtenida (cuadro 5). Dicho cuadro muestra que para este material; la siembra a 3 chorros es la más recomendada pues a 2 chorros tiene una ligera pérdida económica de \$3.927 por hectárea, siendo mayor en la siembra a 4 chorros donde la pérdida es de \$127.486 por hectárea.

### Cuadro 5.

Comparativo de gasto de semilla y relación beneficio-costos de la variedad LAICA 04-809. Primera cosecha 2016.

Variables LAICA 04-809	Número de chorros		
	2	3*	4
t semilla/ha	9,1	13,8	19,4
Diferencia (t/ha)	-4,7	0	5,6
Inversión total semilla (¢) **	252.867,80	383.469,85	539.080,80
Diferencia Inversión (¢)	(130.602,05)	0	155.610,95
Producción (t/ha)	78,54	84,17	85,42
Diferencia producción (t/ha)	-5,63	0	1,25
Diferencia Ingreso (¢) ***	(126.675,00)	0	28.125,00
Relación Ingreso-Inversión	(3.927,05)	0	(127.485,95)

\* Se compara con la siembra a 3 chorros (tradicional)

\*\* Costo por tonelada de semilla \$ 27.787,67

\*\*\* Costo de tonelada caña comercial \$22.500



Haciendo el mismo análisis para la variedad LAICA 04-825, como ilustra el cuadro 6, se puede observar que prácticamente no hay diferencia

entre sembrar a cualquiera de las tres densidades; por lo que la siembra a 3 chorros tradicional es la más recomendada.

### Cuadro 6.

Comparativo de gasto de semilla y relación beneficio-costos de la variedad LAICA 04-825. Primera cosecha 2016.

Variables LAICA 04-825	Número de chorros		
	2	3*	4
t semilla/ha	9,9	12,9	16,5
Diferencia (t/ha)	-3,0	0	3,6
Inversión total semilla (¢) **	275.097,9	358.460,9	458.496,6
Diferencia Inversión (¢)	(83.363,0)	0	100.035,6
Producción (t/ha)	102,4	106,9	111,2
Diferencia producción (t/ha)	-4,5	0	4,3
Diferencia Ingreso (¢) ***	(101.250,0)	0	96.750,0
Relación Ingreso-Inversión	17,887,0	0	(3.285,6)

\* Se compara con la siembra a 3 chorros (tradicional)

\*\* Costo por tonelada de semilla \$ 27.787,67

\*\*\* Costo de tonelada caña comercial \$22.500

## SECCIÓN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

Siguiendo con este análisis el cuadro 7 muestra el mismo estudio de costo-beneficio de la siembra para la variedad LAICA 05-805 respecto a la inversión de semilla y la producción obtenida. En el cuadro se evidencia como para este material; la siembra a 3 chorros es la más recomendada; pues a 2 chorros tiene una ligera

ganancia económica de ¢17.482 por hectárea Lo cual no justifica hacer el cambio de la siembra tradicional. En la siembra a 4 chorros es totalmente contraproducente en esta variedad ya que se tienen pérdidas del orden de ¢77.131 por hectárea.

### Cuadro 7.

Comparativo de gasto de semilla y relación beneficio-costos de la variedad LAICA 05-805. Primera cosecha 2016.

Variables LAICA 05-805	Número de chorros		
	2	3*	4
t semilla/ha	10,5	12,3	17,1
Diferencia (t/ha)	-1,8	0	4,8
Inversión total semilla (¢) **	291.770,5	341.788,3	475.169,2
Diferencia Inversión (¢)	(50.017,8)	0	133.380,8
Producción (t/ha)	98,4	101,4	103,9
Diferencia producción (t/ha)	-3	0	2,5
Diferencia Ingreso (¢) ***	(67.500,0)	0	56.250,0
Relación Ingreso-Inversión	17,482,2	0	(77.130,82)

\* Se compara con la siembra a 3 chorros (tradicional)

\*\* Costo por tonelada de semilla ¢ 27.787,67

\*\*\* Costo de tonelada caña comercial ¢22.500

Por último, el estudio de costo-beneficio de la siembra de la variedad RB 98-710 (Cuadro 8) muestra que para este material, igual que para los anteriores, la siembra a 3 chorros es la más recomendada pues a 2 chorros tiene una ligera ganancia económica de ¢494,4 por hectárea lo

cual no justifica hacer el cambio de la siembra tradicional. En la siembra a 4 chorros igualmente se genera un estado de pérdida ligera de ¢2.048 por hectárea; por lo que el uso de ésta densidad no es recomendada.

### Cuadro 8.

Comparativo de gasto de semilla y relación beneficio-costos de la variedad RB 98-710. Primera cosecha 2016.

Variables RB 98-710	Número de chorros		
	2	3*	4
t semilla/ha	7,6	11,4	15
Diferencia (t/ha)	-3,8	0	3,6
Inversión total semilla (¢) **	211.186,3	316.779,4	416.815,1
Diferencia Inversión (¢)	(105.593,1)	0	100.035,6
Producción (t/ha)	94,4	99,1	103,5
Diferencia producción (t/ha)	-4,7	0	4,4
Diferencia Ingreso (¢) ***	(106.087,5)	0	97.987,5
Relación Ingreso-Inversión	494,4	0	(2.048,1)

\* Se compara con la siembra a 3 chorros (tradicional)

\*\* Costo por tonelada de semilla ¢ 27.787,67

\*\*\* Costo de tonelada caña comercial ¢22.500



## CONCLUSIONES

- Se presentaron tendencias en el comportamiento del material de semilla según la variedad comercial a reproducir, principalmente en la cantidad necesaria de utilizar (t/ha); siendo importante continuar con este tipo de investigaciones para poder ajustar las estimaciones de áreas necesarias de establecimiento de semilleros así como los avíos de costos de siembra según la variedad a utilizar.
- Se observaron ciertas tendencias que son importantes de considerar, de forma genérica, a la hora de planear una siembra y el consecuente estimado de gasto de semilla; por ejemplo: un chorro representa un equivalente de alrededor de 4 t semilla/ha a utilizar y esta cantidad a la vez representa un aproximado de 8 yemas efectivas por metro lineal de surco de siembra.
- La mayor relación de % de yemas efectivas que llegan a tallos primarios (germinados) se obtuvo con la densidad de dos chorros y la menor con la densidad a cuatro chorros, pudiéndose inferir que no necesariamente al utilizar mayor cantidad de semilla se va lograr obtener una consecuente mayor cantidad de población de tallos y con esto mayor productividad. La tendencia es a decaer este porcentaje de tallos primarios hasta llegar a un máximo que por más semilla que se utilice no se incrementará.
- Desde el punto de vista técnico- económico, para las condiciones y variedades en que se estableció el presente trabajo, la densidad de semilla adecuada continúa siendo la tradicionalmente recomendada en la región, a tres chorros, independientemente de la cantidad

---

## LITERATURA CITADA

- Alfaro Portuguez, R. 1999. *Programa de Producción de Semilla Básica Mejorada de Caña de Azúcar*. LAICA - DIECA, San José, Costa Rica, abril. 14 p.
- Chaves Solera, M. A. 1985. *La Semilla Elemento Determinante en la Productividad de la Caña de Azúcar*. Revista El Agricultor Costarricense 43(3-4): 59-61.
- Chaves Solera, M.A. 2020. *Costos de producción Agrícola*. Ciclo Planta. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. San José, Costa Rica.
- Calderón Araya, G.; Chaves Solera, M.A. 2003. *Estudio Agroindustrial de 4 densidades de siembra con la variedad de caña de azúcar B76-259 cultivada en Atirro, Turrialba*. Promedio de 3 cosechas. Memoria XV Congreso ATACORI. Guanacaste, Costa Rica. 2003. p: 251-255.
- Marroquín López, O.S. 2014. *Uso de siete densidades de siembra de caña de azúcar (saccharum spp), variedad CP 88-1165 en Finca Marinalá diagnóstico y servicios realizados en Ingenio La Unión S.A*. Escuintla, Guatemala. Tesis de Grado. Universidad de San Carlos. Guatemala.
- Reyes Reyes, J. R. 2014. *Influencia del número de yemas por metro lineal sobre el rendimiento de caña de azúcar, Ingenio Trinidad (2008-2013) Estudio de Caso*. Tesis de Grado. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Escuintla, Guatemala.



## COMPARACIÓN DE LAS TÉCNICAS DAS-ELISA, RT-PCR Y RT-QPCR PARA LA DETECCIÓN DEL VIRUS DE LA HOJA AMARILLA DE LA CAÑA DE AZÚCAR (SCYLV) EN TEJIDO FOLIAR DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM* SPP.) Y CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA VIRAL POR RT-QPCR

Karen Oviedo-Bolaños<sup>1</sup>

### Resumen

El *Virus de la hoja amarilla de la caña de azúcar* (SCYLV) es un importante fitopatógeno distribuido en todo el mundo y provoca significativas pérdidas económicas. Un método eficaz para controlarlo es prevenir la propagación vegetativa de material infectado, así como su detección temprana en semilleros y plantaciones. Por lo tanto, se planteó el objetivo de evaluar la eficiencia de tres métodos para detección del SCYLV y estimación de la carga viral mediante la técnica RT-qPCR. Se utilizaron láminas de la hoja +3 correspondientes a plantas colectadas de distintas regiones de Costa Rica, para llevar a cabo el diagnóstico del SCYLV mediante DAS-ELISA, RT-PCR y RT-qPCR; así como la cuantificación del material genético viral por la última técnica.

En cuanto a los resultados obtenidos se obtuvo un 29,41% (10/34) de muestras positivas utilizando el ensayo DAS-ELISA, un 73,53% (25/34) por RT-PCR y un 76,47% (26/34) mediante la RT-qPCR; demostrando que son más sensibles las técnicas moleculares en comparación con el inmunoensayo. La electroforesis en gel de agarosa, el análisis de la curva de fusión y la secuenciación con posicionamiento taxonómico firmaron la identidad del fragmento amplificado, que efectivamente se identificó como SCYLV.

Se comprobó el potencial de la técnica RT-PCR para la detección de la presencia/ausencia del virus, y la RT-qPCR cuando se requiera estimar la carga viral presente. Ambas técnicas son económica y operativamente viables para sustituir las pruebas serológicas.



<sup>1</sup>Biotecnóloga, Programa de Biología Molecular, Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA). E-mail: kovideo@laica.co.cr



### Introducción

El Síndrome de la Hoja Amarilla (YLS) de la caña de azúcar afecta la productividad de la caña de azúcar provocando severas pérdidas económicas. El principal agente causal de esta enfermedad es el virus de la hoja amarilla de la caña de azúcar (SCYLV), del género *Poleovirus* (Familia *Luteoviridae*), cuyo genoma consiste en una hebra simple de ARN en sentido positivo ((+)ssRNA). Este virus se ha reportado como un importante fitopatógeno alrededor del mundo (Zhu *et al*, 2010); provocando significativas pérdidas económicas, en el caso de Brasil, país que lidera la producción de azúcar a nivel global, presentó pérdidas en sus cosechas del 25% en los 1990s (Boukari *et al*, 2019).

En Costa Rica, este virus se encuentra ampliamente distribuido en plantaciones de todas las regiones, con una mayor incidencia en el

Valle Central, según resultados del 2006. Se han informado pérdidas aproximadas del 50% del tonelaje entre 1995-2000, en algunas plantaciones de la provincia de Cartago (Chavarría *et al*, 2006)

Los síntomas típicos visibles asociados a este virus incluyen la clorosis (amarillamiento intenso) de la nervadura central en la superficie de las hojas maduras, y en etapas avanzadas se puede observar necrosis foliar que avanza desde el extremo de la hoja hacia la base, a lo largo de la nervadura central, mientras que la lámina se mantiene verde (Viswanathan *et al*, 2009).

Asimismo, se ha demostrado que existe una correlación positiva entre la carga viral y la disminución de la biomasa y rendimiento de azúcar (Zhu *et al*, 2010). Este virus provoca reduc-

ción en el diámetro de la caña, la longitud intermodal y el vigor de la planta (Viswanathan, 2015). Mientras que los síntomas fisiológicos son causados debido a que el virus está restringido al floema, ocasionando obstrucción de elementos de tamiz y células compañeras, además del deterioro de las células mesofílicas y la estructura del cloroplasto (reduciendo la tasa fotosintética) (Viswanathan *et al*, 2014).

Muchas de las variedades infectadas no exhiben síntomas, esto se atribuye a múltiples factores, tales como las variaciones genéticas tanto del virus como de la planta, a las condiciones ambientales; y por supuesto, a la carga viral (Chinnaraja *et al*, 2014). Asimismo depende de la fase de crecimiento de la planta, usualmente, los síntomas aparecen en la etapa de madurez. También se ha observado que el estado asintomático es el más común de este fitopatógeno (Madugula y Gali, 2017).

Actualmente, en el Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA), se lleva a cabo la detección del SCYLV, mediante la prueba serológica DAS-ELISA, la cual se basa en el uso de anticuerpos para detectar partículas virales. Se ha demostrado que la detección por métodos moleculares como la amplificación por transcripción reversa convencional (RT-qPCR) y en tiempo real (RT-qPCR) son 102-105 veces más sensible en comparación con la técnica DAS-ELISA (Abou-Jawdah *et al*, 2008; Scagliusi *et al*, 2008). Las técnicas moleculares son capaces de detectar hasta 10 ng de tejido infectado con virus (102-106 copias/ $\mu$ L), mientras que el ensayo serológico no detecta concentraciones menores a 100  $\mu$ g de tejido infectado (Abou-Jawdah *et al*, 2008; Fu *et al*, 2015; Sun *et al*, 2018).

Por esta razón, se propone la implementación de un protocolo alternativo más económico, operativamente viable y eficaz de detección, para garantizar la sanidad de las plantas propa-

gadas *in vitro*, que posteriormente serán cultivadas en campo. El método de diagnóstico, debe ser altamente sensible para detectar cargas virales relativamente bajas con el propósito de evitar los falsos negativos y contribuir a la propagación y dispersión de estos virus (Xie *et al*, 2009). De esta manera se puede contribuir con la reducción de la incidencia del SCYLV en cultivos de caña de azúcar del país, evitando su dispersión por bajas cargas en material de propagación vegetativa.

Asimismo, la detección temprana de esta enfermedad en semilleros, es clave para el adecuado manejo del cultivo y la toma de decisiones para el establecimiento del cultivo. Para esto, se requiere de herramientas de diagnóstico rápidas, confiables, de alta sensibilidad y cuantitativas. Por lo tanto el objetivo del presente estudio fue comparar la eficiencia y sensibilidad de tres métodos de detección del SCYLV y estimar la carga viral mediante la técnica RT-qPCR.



## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

### METODOLOGÍA

#### MATERIAL VEGETAL

Se utilizaron 30 hojas de caña de azúcar, correspondiente a plantas colectadas de distintas regiones del país seleccionadas al azar (especificadas en el Cuadro 4). Se seleccionó la hoja +3 para el análisis, debido a que se ha comprobado que es donde se concentra la mayor carga de fitopatógenos. Adicionalmente, se utilizaron dos muestras de lámina de plantas propagadas *in vitro* en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos de DIECA (códigos C1 y C2).

El material fue almacenado a -80°C para evitar la degradación de material genético, luego fueron utilizadas posteriormente para el diagnóstico serológico y molecular.

#### DIAGNÓSTICO DEL SCYLV MEDIANTE LA TÉCNICA DAS-ELISA

Los resultados de la prueba DAS-ELISA fueron obtenidos mediante el protocolo descrito por Chavarría *et al*, 2006.

#### EXTRACCIÓN DE ARN TOTAL A PARTIR DEL MATERIAL VEGETAL PARA ANÁLISIS MOLECULARES

Una vez que fue tomada la cantidad de tejido necesaria para llevar a cabo las pruebas serológicas, las mismas hojas fueron almacenadas dentro de bolsas herméticas a -80°C hasta su uso. Para la preparación de las muestras, cada hoja fue descongelada y cortada en trozos pequeños dentro de tubos de microcentrifuga de 1.7 mL (los instrumentos fueron previamente desinfectados con etanol 70% para evitar la contaminación cruzada). Posteriormente, los tubos conteniendo las muestras, se congelaron a -80°C durante 24 horas.

Una vez transcurrido el lapso, las muestras se maceraron congeladas, en un disruptor mecánico (MM400, Retsch) con cuatro esferas de acero inoxidable de 3 mm de diámetro a una frecuencia de 30 ciclos por segundo, durante 1 minuto. La extracción de ARN se llevó a cabo utilizando el kit

de extracción comercial NucleoSpin RNA Plant (Macherey-Nagel), siguiendo el protocolo indicado por el fabricante.

Para determinar la concentración y pureza del material genético extraído, se realizó la cuantificación empleando un espectrofotómetro UV-visible (Multiskan GO, Thermo Scientific). La pureza fue medida por los coeficientes A260 / A280 y A260 / A230.

Para evaluar la integridad del ARN, se realizó electroforesis en gel de agarosa al 1.5% con una solución amortiguadora TBE 1X (Tris 10 micromoles (mM), Borato 20 mM, EDTA 1,0 mM, pH 8,0). Con un tiempo de movilidad electroforética de 90 minutos a 90 V. La tinción de los ácidos nucleicos se realizó con GelRed (Biotium) y finalmente se visualizó en un fotodocumentador (UVP BioDoc-ItTM Imaging System).

#### DIAGNÓSTICO DEL SCYLV MEDIANTE LA TÉCNICA RT-PCR

Se realizó PCR para detectar fragmentos específicos del gen codificante para la proteína de la cubierta (CP, por las siglas del inglés coat protein) del virus SCYLV (cebadores SCYLV-F512/R512 y SCYLV-F615/R615), así como también del gen que codifica para el supresor viral del silenciamiento génico (cebadores SCYLV-F201/R201). Las secuencias de los imprimadores se especifican en el Cuadro 1.

La RT-PCR se llevó a cabo mediante el kit comercial GoTaq® 1-Step RT qPCR (Promega™), el cual permite ejecutar el procedimiento en un sólo paso, es decir, la reacción de transcripción reversa (síntesis de ADN copia a partir del ARN molde) y PCR (síntesis de la doble hebra del ADN copia y amplificación) se llevan a cabo en el mismo tubo de reacción; esto reduce el consumo de tiempo y la posibilidad de contaminación cruzada

Cada reacción de PCR estuvo compuesta por 1X de GoTaq® qPCR Master Mix (Promega™), Go-

Script™ RT Mix, 0,2 µM (SCYLV F615/R615) o 0,4 µM (todos los restantes) de cada iniciador, agua ultra pura libre de nucleasas y 30 ng de ARN molde. La reacción de RT-PCR fue llevada a cabo en un termociclador (Arktik, Thermo Scientific) bajo las siguientes condiciones: transcripción

reversa de 15 min a 37°C, inactivación de la transcriptasa reversa/activación de mecanismo hot start a 95°C por 10 min, seguido por 40 ciclos de 95°C por 10 segundos, hibridación de cebadores a 50-65°C por 30 segundos y extensión a 72 °C durante 30 segundos.

### Cuadro 1.

Secuencias de cebadores utilizadas para el diagnóstico molecular por RT-PCR de del SCYLV a partir de tejido foliar de caña de azúcar.

Especie	Cebador	Secuencia	Tamaño del aplicón en pares de bases (pb)	Referencia
SCYLV	SCYLV-F201	AGATCTATGCTTTTCAACGAATTC	201	Zhu <i>et al</i> , 2010
	SCYLV-R201	GTCGACCCAGTTGTAACGGGAGTG		
SCYLV	SCYLV-F615	GGATCCATGAATACGGGCGCTAACGGYYCAC	615	(Viswanathan <i>et al</i> , 2010)
	SCYLV-R615	AGATCTGTGTTGGGGRAGCGTCGCYTACC		
SCYLV	SCYLV-F512	GCTCACGAAGGAATGTCAG	512	Xie <i>et al</i> , 2019
	SCYLV-R12	GTCTCCATTCCCTTTGTAC		

Los productos de RT-PCR fueron separados en gel de agarosa al 1.5%, TBE 1X (Tris 10 mM, Borato 20 mM, EDTA 1,0 mM, pH 8,0). Con un tiempo de movilidad electroforética de 90 minutos a 90 V. La tinción de los ácidos nucleicos se realizó con GelRed™ (Biotium) y finalmente se visualizó en un fotodocumentador (UVP BioDoc-ItTM Imaging System).

#### SECUENCIACIÓN Y POSICIONAMIENTO TAXONÓMICO DEL SCYLV

La identidad de algunos amplicones obtenidos por RT-PCR se confirmó mediante secuenciación Sanger por electroforesis capilar (Macrogen, Korea). Las secuencias resultantes fueron editadas con el programa Geneious v.R9 (Biomatters), posteriormente se analizaron a través del programa en línea BLASTn disponible

en el NCBI y fueron comparadas con secuencias almacenadas en la base de datos del GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>) para llevar a cabo la identificación.

Se realizó un análisis de taxonomía molecular mediante un alineamiento múltiple de secuencias utilizando el programa MAFFT 7,0 (<http://mafft.cbrc.jp/alignment/server>), con el método para secuencias con homología global (G-INS-i) y el parámetro 1PAM k= 2. El árbol filogenético se generó utilizando el algoritmo de máxima verosimilitud (ML) y el modelo general de tiempo reversible (GTR-CAT) con 1.000 repeticiones de bootstrap, mediante la herramienta RAXML-HPC2 on XSEDE (Stamatakis *et al*, 2005) de la plataforma en línea CIPRES (Miller *et al*, 2010). La visualización y edición del árbol se realizó con FigTree v.1.4.2. (Rambaut, 2009).

### DIAGNÓSTICO DEL SCYLV MEDIANTE LA TÉCNICA RT-qPCR

Para la RT-qPCR se seleccionaron los cebadores SCYLV-F201/R201, los cuales amplifican un fragmento de tamaño adecuado para PCR tiempo real (201 pb), ya que la longitud del producto de amplificación debe ser aproximadamente entre 50-200 pb, debido a que amplicones con tamaño considerablemente superior a las 200 pb reducen la eficiencia y especificidad de la reacción de PCR tiempo real. La RT-qPCR se realizó en un solo paso con 1X de Master Mix power Up™ SYBR Green (Applied Biosystems), 1X de GoScript™ RT Mix (Promega), 0,2 μM de cada primer, agua ultra pura libre de nucleasas y 30 ng de ARN molde.

La reacción fue llevada a cabo en un termociclador (PikoReal 96, Thermo Scientific) bajo las siguientes condiciones: transcripción reversa de 15 min a 37°C, activación UDG a 50°C por 2 min, inactivación de la transcriptasa reversa/activación de mecanismo hot start a 95°C por 10 min, seguido por 40 ciclos de 95°C por 10 segundos, hibridación de cebadores a 50-65°C por 30 segundos y extensión a 72 °C durante 30 segundos. Se utilizó un rampaje de 4,4 °C s<sup>-1</sup>.

Los datos se colectaron en cada ciclo y se calculó el ciclo umbral (Ct, por las siglas en inglés de *Cycle threshold*) para cada muestra, determinando el ciclo en el que la fluorescencia excedía el límite umbral. Los valores de Ct fueron visualizados mediante el programa PikoReal v2.2 (Thermo Scientific), considerando como positivas las curvas que superaron el valor umbral recomendado de 0,2 (Takabatake *et al*, 2015).

Una vez finalizada la reacción de amplificación, se realizó el análisis de la temperatura de fusión para determinar la especificidad de los productos de PCR, desnaturalizando estos a 95 °C por 10 s, seguido de 60 s a 65 °C, y finalmente ascendiendo a 95 °C con un rampaje de 4,4 °C s<sup>-1</sup>.

### CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA VIRAL DEL SCYLV POR RT-qPCR

Para llevar a cabo la cuantificación de la carga viral se construyeron curvas estándar para estimar la eficiencia de la reacción y la cuantificación del objetivo (target) viral en las muestras desconocidas. Para la preparación de los estándares de ADN copia (ADNc) viral, se utilizó un amplicón correspondiente a la muestra C1 (cuya identidad se confirmó por secuenciación y posicionamiento taxonómico).

El ADNc fue purificado por recorte de banda en gel mediante el kit Wizard® SV Gel and PCR Clean-Up System. Posteriormente se cuantificó la concentración de ADNc por espectrofotometría a 260 nm, por triplicado, obteniéndose un valor promedio de 51 ng/μL, la misma fue diluida a 1 ng (106 fg). A partir de esta última, se prepararon seis diluciones seriadas (diluidas 10 veces) en un rango de 105 fg - 1 fg, por reacción.

Para cada dilución se registraron los valores de Ct por duplicado y se representaron gráficamente frente a las concentraciones conocidas de las muestras estándar. La intersección y la pendiente se calcularon en función de la regresión lineal (Figura 3.B). Finalmente, la eficiencia del ensayo en nuestras condiciones experimentales fue determinada en términos de porcentaje mediante la siguiente fórmula:  $(10^{(-1/m)} - 1) \times 100\%$ .

## RESULTADOS

### DIAGNÓSTICO DEL SCYLV MEDIANTE LA TÉCNICA DAS-ELISA

Del total de muestras analizadas, se obtuvo un 29,41% (10/34) de hojas seropositivas para la presencia del virus. Estos resultados sugieren que el DAS-ELISA es la técnica con la sensibilidad más baja.

### EXTRACCIÓN DE ARN TOTAL A PARTIR DEL MATERIAL VEGETAL

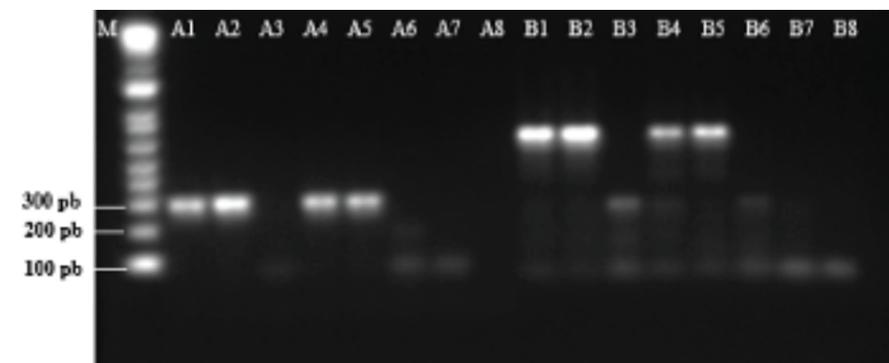
Como se indicó en la metodología, la totalidad de las muestras de ARN utilizadas para los análisis moleculares fueron extraídas mediante un kit comercial específico para la extracción de ARN de plantas. No obstante, en las electroforesis en gel de agarosa se visualizó ARN degradado.

En cuanto a la pureza del material genético extraído, se evidenció que las muestras estaban libres de contaminación por proteínas mediante el coeficiente 260/280, cuyos valores se encontraron dentro del rango óptimo (1,7-2,0). Asimismo, se comprobó la presencia de contaminación por fenoles, carbohidratos y sales en el 50% de las muestras (17/34), las cuales presentaron valores fuera del rango esperado (1,7-2,2); mientras que el 50% restante, se encontró dentro del rango, es decir, libres de estos contaminantes.

### DIAGNÓSTICO DEL SCYLV MEDIANTE LA TÉCNICA RT-PCR

Se probaron tres pares de cebadores para detectar la presencia del SCYLV en muestras de hojas colectadas en campo, mediante la técnica de RT-PCR. Los mismos demostraron ser eficientes para la detección del virus, ya que se visualizó una banda nítida del tamaño molecular esperado, según cada cebador, así como ausencia de amplificaciones inespecíficas en las muestras positivas. En la Figura 1 se muestran algunos de los productos PCR generados por dos de los cebadores: SCYLV-F201/R201 y SCYLV-F512/R512.

La cantidad de muestras positivas obtenidas, coincidieron con los tres imprimadores, revelando una alta incidencia de infección por SCYLV de un 73,53% (25/34). Se seleccionaron productos de RT-PCR obtenidos mediante los cebadores SCYLV-F512/R512 y SCYLV-F201/R201, los cuales generan los amplicones de menor tamaño.



**Figura 1.**

Productos de RT-PCR obtenidos a partir de láminas de caña de azúcar analizadas para determinar la presencia/ausencia del SCYLV, mediante los cebadores SCYLV-F201/R201 (muestras con código A) y SCYLV-F512/R512 (muestras con código B).

## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

### SECUENCIACIÓN Y POSICIONAMIENTO TAXONÓMICO DEL SCYLV

El análisis mediante la herramienta BLASTn reveló que todas las secuencias obtenidas de la amplificación con los cebadores SCYLV-F512/R512 fueron altamente homólogas (superiores al 99%) a secuencias del gen de la proteína de la cubierta del SCYLV accesadas al GenBank (Cuadro 2).

En cuanto a las secuencias amplificadas con los cebadores SCYLV-F201/R201, las siete muestras analizadas mostraron una similitud superior al 97% frente a secuencias correspondientes al CDS del gen supresor de silenciamiento génico, perteneciente al SCYLV almacenadas en el GenBank (Cuadro 2).

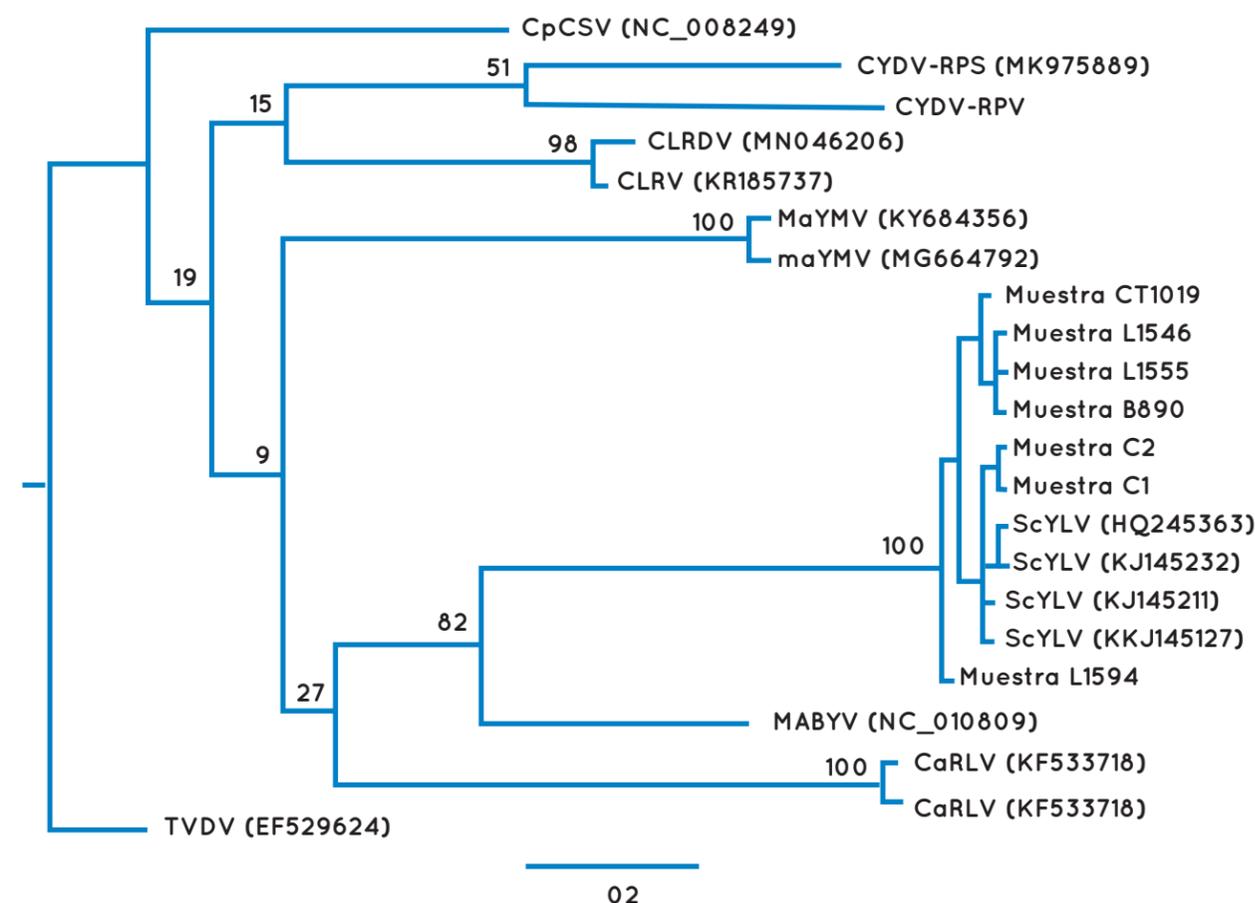
**Cuadro 2.**

Identificación de virus SCYLV amplificados por RT-PCR a partir de hojas de caña de azúcar, mediante secuenciación de los siguientes genes: proteína de la cápsula viral y el supresor del silenciamiento génico.

Código de Muestra	Primer	Resultados BLAST	Código de acceso GenBank	Porcentaje identidad
C1	SCYLV-F512	SCYLV aislado CHN-YN-KY6, proteína de la cubierta	HQ245345.1	99.56%
	SCYLV-R512			
C2	SCYLV-F512	SCYLV aislado CHN-YN-KY6, proteína de la cubierta	HQ245345.1	99.74%
	SCYLV-R512			
L1594	SCYLV-F512	SCYLV, cepa ColMex-317, proteína de la cubierta, CDS parcial	KT334298.1	100%
	SCYLV-R512			
CT1019	SCYLV-F201	SCYLV aislado YN-YZ601, supresor del silenciamiento génico	KJ145227.1	98.49%
	SCYLV-R201			
RB890	SCYLV-F201	SCYLV aislado YN-YZ601, supresor del silenciamiento génico	KJ145227.1	97.24%
	SCYLV-R201			
L1546	SCYLV-F201	SCYLV aislado YN-YZ601, supresor del silenciamiento génico	KJ145227.1	98.94%
	SCYLV-R201			
L1555	SCYLV-F201	SCYLV aislado YN-YZ601, supresor del silenciamiento génico	KJ145227.1	97.91%
	SCYLV-R201			
L1594	SCYLV-F201	SCYLV aislado CHN-GX-YZ2, supresor del silenciamiento génico	HQ245359.1	98.41%
	SCYLV-R201			
C1	SCYLV-F201	SCYLV aislado YN-YT3681, supresor del silenciamiento génico	KJ145222.1	98.95%
	SCYLV-R201			
C2	SCYLV-F201	SCYLV, aislado YN-YT3681, supresor del silenciamiento génico	KJ145222.1	98.94%
	SCYLV-R201			

La identidad de los productos específicos amplificados de la secuencia del supresor viral del silenciamiento génico también fue confirmada por un análisis de posicionamiento taxonómico, el cual agrupó las secuencias de este estudio con secuencias del SCYLV obtenidas de la base de datos GenBank (Figura 2). Se observa que las siete muestras analizadas se localizan

dentro del clúster que contiene las secuencias de SCYLV, con un valor de soporte de la rama completamente confiable (100 bootstrap). En el árbol de posicionamiento taxonómico también se evidencia que la secuencia generada a partir de la muestra L1594 posee diferencias genéticas que indican que esta cepa es divergente.



**FIGURA 2.**

Topología de posicionamiento taxonómico entre secuencias de este estudio y secuencias del supresor del silenciamiento del SCYLV obtenidas del Genbank. Los números en las ramas es el valor de soporte bootstrap (1000 repeticiones). Los números de acceso de las secuencias de la base de datos se muestran entre paréntesis, las muestras se encuentran con el código asignado en este estudio. La secuencia del TVDV fue designada como grupo externo.

## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

### DIAGNÓSTICO DEL SCYLV MEDIANTE LA TÉCNICA RT-qPCR

Todas las muestras identificadas como positivas por RT-PCR convencional fueron confirmadas por la RT-qPCR en tiempo real. Una muestra adicional fue identificada como positiva por el ensayo RT-qPCR, para un total de 26 muestras positivas de 34 que fueron analizadas (76,47%); con valores de ciclos de amplificación (Ct) entre 18,48 y 30,75 (Cuadro 4). La eficiencia estimada del ensayo fue de 83,93%.

Para determinar la reproducibilidad intra-ensayo, se analizaron diluciones de los estándares de cRNA que van desde  $10^5$ -1 femtogramos (fg) por mezcla de reacción, por duplicado. Se calcularon los valores medios de CT, las desviaciones estándar (SD) y los coeficientes de variación (CV). Se encontró valores de desviación estándar en un intervalo de 0,5-0,26 y

los CV estuvieron en un rango de 0,33- 2,00 % (Cuadro 3). En cuanto al límite de detección, la técnica fue capaz de detectar hasta una concentración de ARN viral de 1 fg por mezcla de reacción, con un valor Ct medio de 30,48 (Cuadro 3).

Hubo una alta correlación ( $R^2 = 0,9976$ ) entre el Ct y la concentración de ADNc viral cuantificado (estándares) usando espectrofotometría (Figura 3.B); indicando que el valor de Ct generado es proporcional a la cantidad de ARN presente. Las curvas y Ct de amplificación correspondientes a los estándares se visualizan en la Figura 3.A. Mediante este ensayo se logró validar la cuantificación de ADNc viral presente en las muestras analizadas por la técnica de RT-qPCR, cuyos valores se expresan en el Cuadro 4.

#### Cuadro 3.

Variabilidad intraensayo de la técnica RT-qPCR para la detección del SCYLV.

Concentración ADN copia (fg)	Valor Ct duplicados		Media Ct	SD	CV (%)
$10^5$	11,74	11,28	11,51	0,23	2,00
$10^4$	15,16	15,26	15,21	0,05	0,33
$10^3$	19,34	19,20	19,27	0,07	0,36
$10^2$	23,56	23,03	23,29	0,26	1,14
10	26,10	26,34	26,22	0,12	0,46
1	30,67	30,30	30,48	0,19	0,61

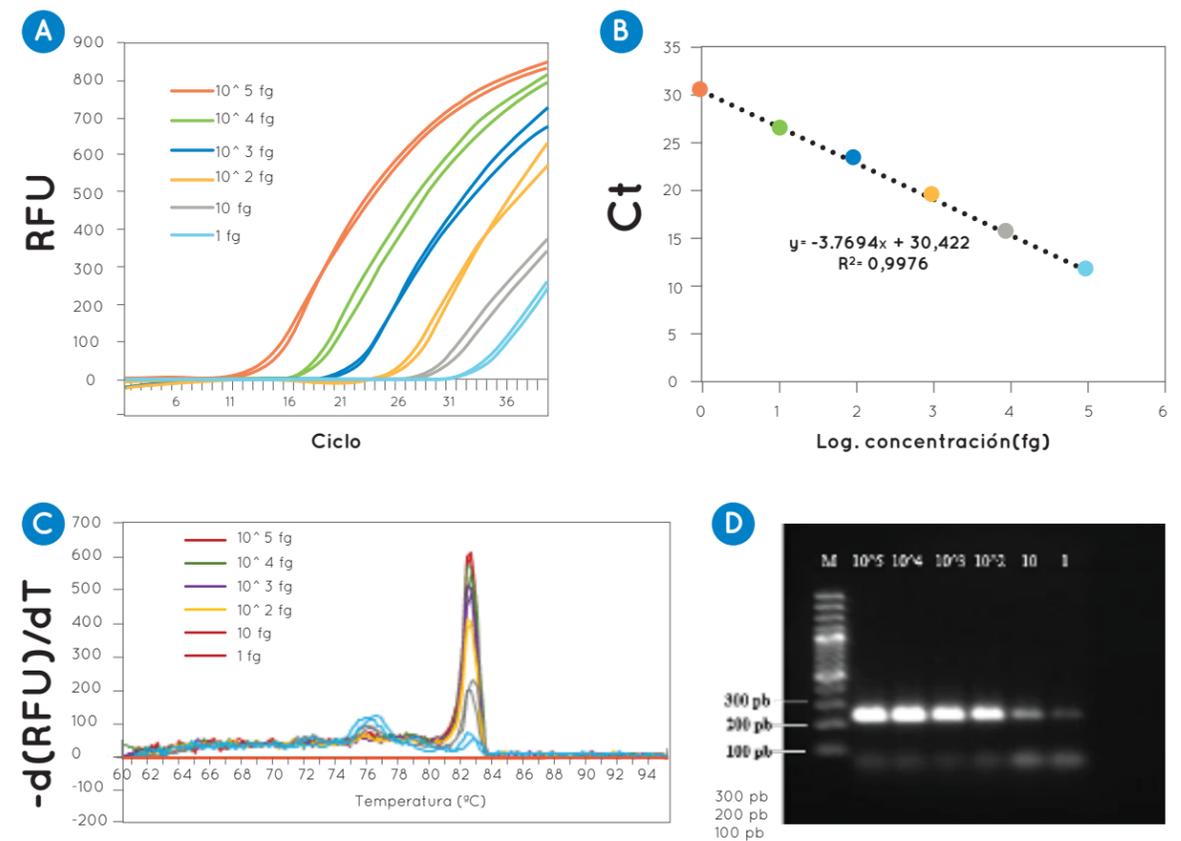
El análisis de la curva de fusión se realizó para confirmar la especificidad de los amplicones obtenidos, por el principio que establece que fragmentos de ADN bicatenario con la misma secuencia genética, tendrían temperaturas de fusión iguales. Cabe destacar que las muestras analizadas corresponden a plantas de campo distintas, por lo tanto, es probable que los virus hospederos contengan diferencias genéticas (SNPs, mutaciones, polimorfismos). Tales diferen-

cias generan variaciones en la temperatura de fusión; sin embargo, las mismas deben seguir un patrón, debido a que se está amplificando un virus específico (SCYLV) para todas las muestras. Las curvas de fusión que se desvíen considerablemente de este patrón, pueden ser amplificaciones inespecíficas o dímeros de cebadores (cuando la temperatura de fusión considerablemente baja).

Por las razones anteriormente expuestas, se tomó como referencia los valores obtenidos para los estándares, así como también para las muestras cuya identidad fue confirmada por secuenciación. En el Cuadro 4 se muestran las temperaturas de fusión obtenidas para las muestras analizadas, el valor inferior (81,70) se obtuvo para la muestra L1594, identificada por secuenciación; mientras que la temperatura de fusión superior fue alcanzada por la muestra RB915 (82,69), cercana al valor de la muestra C1 (82,65) confirmada por secuenciación. Todas las muestras restantes exhibieron valores dentro de

este intervalo (81,70-82,69), demostrando la especificidad del amplicón esperado. Estos resultados también se visualizaron gráficamente, donde se observa que es posible trazar una línea recta que conecte el punto máximo de todas las curvas (Figura 3c).

Por lo tanto, las muestras que presentaron  $T_m$  dentro del intervalo de 75-77 fueron descartadas de los resultados positivos para la presencia de SCYLV, debido a que representan dímeros de cebadores (Figura 3c), esto se confirmó mediante visualización en geles de agarosa (Figura 3d).



#### Figura 3.

Estándares utilizados en el ensayo de RT-PCR para la cuantificación de la carga viral del SCYLV, en un rango de concentración de  $10^5$ -1 fg de ADNc viral. a) Curvas de amplificación, b) Curva de calibración, c) Curvas de fusión, d) Visualización de los amplicones por electroforesis en gel de agarosa 1.5%.



### COMPARACIÓN DE LAS TRES TÉCNICAS

Las muestras correspondientes a 34 hojas de caña de azúcar fueron sometidas a diagnóstico del virus SCYLV mediante tres técnicas distintas: DAS-ELISA, RT-PCR y RT-qPCR. Del total de muestras analizadas, se obtuvo un 29,41% (10/34) de hojas seropositivas para la presencia del virus, mientras que la RT-PCR detectó un 73,53% positivas (25/34) y mediante la de RT-qPCR se encontró un 76,47% (26/34) de muestras con presencia del SCYLV (Cuadro 4).

La técnica que detectó la menor cantidad de muestras fue la técnica serológica, seguida por la amplificación RT-PCR y la técnica más sensible fue la RT-qPCR, además mediante esta última se logró realizar una aproximación de la carga viral, expresada en fg, de un fragmento del gen supresor de silenciamiento génico del virus SCYLV.

La técnica RT-qPCR no solo demostró ser la más sensible para la detección del virus, también brindó datos cuantitativos de la carga viral. En contraposición, la técnica de ELISA fue menos específica y sensible, para la obtención de resultados de presencia/ausencia del SCYLV, esto también se evidencia en los resultados positivos de las muestras C1 y C2 (Cuadro 4), correspondientes a plantas propagadas *in vitro*, las cuales deben pasar las pruebas serológicas de comprobación de sanidad de material que proviene de campo antes de iniciar la fase de propagación. Esto significa que, dicho material representa falsos negativos por análisis de DAS-ELISA.

### Cuadro 4.

Evaluación de tres técnicas para detectar la presencia del SCYLV en muestras de tejido foliar de caña de azúcar y cuantificación de la carga viral por RT-qPCR.

Información de las muestras			Técnica 1	Técnica 2	Técnica 3 (RT-qPCR)			
Procedencia	Variiedad	Código	DAS-ELISA	RT-PCR	RT-qPCR	Valores de Cq	Valores de temperatura de fusión	Valores de concentración estimados (fg)
Desconocida	LAICA 01-604	L1436	-	-	-	27,5	76,07	NA
	LAICA 10-207	L1468	-	+	+	26,82	81,98	9,10
	LAICA 12-340	L1536	+	-	-	31,04	75,82	NA
	LAICA 12-340	L1546	+	+	+	25,54	82,14	19,86
	LAICA 12-340	L1555	+	+	+	24,74	82,21	32,34
	LAICA 12-340	L1580	-	-	-	31,91	75,94	NA
	LAICA 12-340	L1584	+	+	+	27,87	82,42	4,80
	LAICA 12-340	L1592	+	-	-	30,35	76,02	1,06
	LAICA 12-340	L1594	+	+	+	23,61	81,70	64,39
Coope Victoria, Grecia, Alajuela	CT 11-055	CT1008	-	-	-	26,83	76,28	NA
	CT 11-055	CT1019	-	+	+	24,26	82,35	43,33
	CT 11-055	CT1028	-	+	+	21,1	82,26	297,23
	CT 11-055	CT1033	-	+	+	27,19	82,21	7,27
	CT 11-055	CT1044	-	-	-	29,36	76,32	NA
	CT 11-055	CT1048	-	-	-	30,92	76,08	NA
	CT 11-055	CT1049	-	-	-	30,07	76,21	NA
	CT 11-055	CT1050	-	+	+	20,18	82,6	520,70
	CT 11-055	CT1054	-	+	+	25,73	82,09	17,69
	CT 11-055	CT1063	-	+	+	19,92	82,05	610,10
	CT 11-055	CT1072	-	+	+	24,33	82,06	41,56
CT 11-055	CT1076	-	+	+	23,17	82,00	84,18	
CT 11-055	CT1084	-	+	+	22,68	82,07	113,48	
Taboga, Cañas, Guanacaste	RB 86-7515	RB879	+	+	+	21,73	82,32	202,47
	RB 86-7515	RB880	+	+	+	26,27	82,44	12,73
	RB 86-7515	RB890	-	+	+	24,09	82,45	48,05
	RB 86-7515	RB901	-	+	+	23,08	82,31	88,93
	RB 86-7515	RB913	-	+	+	21,92	83,02	180,33
	RB 86-7515	RB915	-	+	+	21,35	82,69	255,23
	RB 86-7515	RB967	-	+	+	26,58	82,60	10,54
	RB 86-7515	RB976	-	+	+	24,23	82,32	44,12
	RB 86-7515	RB978	+	+	+	28,04	82,36	4,33
RB 86-7515	RB980	+	-	+	30,75	82,65	0,83	
Laboratorio ( <i>in vitro</i> )	Desconocida	C1	-	+	+	18,48	82,65	1467,31
	Desconocida	C2	-	+	+	20,88	82,48	339,87
	Agua PCR	C-	-	-	-	30,91	82,32	NA

NA= No aplica, no hay concentración en muestras negativas



### DISCUSIÓN

#### DIAGNÓSTICO DEL SCYLV MEDIANTE LA TÉCNICA DAS-ELISA

El ensayo DAS-ELISA, posee la ventaja de capacidad para analizar cantidades masivas de muestras; sin embargo, no detecta cargas virales muy bajas, debido a que su sensibilidad es inferior a las técnicas moleculares (Viswanathan & Balamuralikrishnan, 2004), como se evidenció en los resultados obtenidos.

#### EXTRACCIÓN DE ARN TOTAL A PARTIR DEL MATERIAL VEGETAL

En cuanto a la extracción de ARN, se dificultó obtener material genético dentro de los estándares de pureza debido a que la extracción

se realizó a partir de tejidos con alto contenido de carbohidratos y polifenoles (Aljanabi *et al*, 199).

La estructura del ARN consiste en una hebra de nucleótidos, a diferencia del ADN que es de doble hebra. Por esta razón el ARN es más lábil y se degrada con mayor facilidad, además la liberación de RNAsas endógenas, también es común la contaminación exógena con estas enzimas; todos son factores que favorecen la velocidad de degradación (Korimbocus *et al*, 2002). De forma frecuente, los investigadores utilizan el nitrógeno líquido para disminuir la degradación del ARN.

#### DIAGNÓSTICO DEL SCYLV MEDIANTE LA TÉCNICA RT-PCR

En este estudio se detectaron fragmentos específicos de dos diferentes genes, en primer lugar el gen codificante para la cubierta viral (CP), ubicado en el tercer marco de lectura abierto (ORF3), y el supresor de silenciamiento génico. Este último es el más importante debido a que en plantas, el silenciamiento genético post-transcripcional (PTGS) funciona como un mecanismo natural de defensa contra virus (Tenllado *et al*, 2003). Como resultados de la co-evolución entre plantas y virus, estos últimos han adquirido un supresor de este sistema de defensa PTGS (Vazquez Rovere *et al*, 2002). Este gen se ubica en el extremo 5' del genoma del virus, en el marco de lectura abierto más próximo (ORF0) de los poleovirus, el cual codifica para la proteína supresora denominada PO (Khalil *et al*, 2018; Mangwende *et al*, 2009).

La detección de SCYLV frecuentemente se basa en la proteína de la cubierta viral, ya sea utilizando técnicas serológicas y/o moleculares. El gen codificante para CP es una región muy conservada entre todos los poleovirus, por esta razón, no brinda completa especificidad para el diagnóstico del SCYLV (EISayed *et al*, 2011). Por otro lado, se ha comprobado que el ORF0 es altamente conservado entre distintos aislados del SCYLV alrededor del mundo (EISayed *et al* 2011). En el presente estudio se amplificaron ambas secuencias utilizando cebadores específicos, y posteriormente se seleccionó el ORF0 por la longitud del fragmento y mayor especificidad de la secuencia.

#### SECUENCIACIÓN Y ANÁLISIS DE POSICIONAMIENTO TAXONÓMICO

La secuenciación de los amplicones obtenidos reveló las altas identidades porcentuales con secuencias de aislados del SCYLV, este resultado confirma la identidad de las muestras en estudio. Es de gran relevancia este paso para descartar identificaciones taxonómicas erróneas o que el amplicón del tamaño molecular esperado, corres-

ponda a un gen de otra especie cercana filogenéticamente, que contenga secuencias complementarias a los cebadores; de esta manera también se comprueba la especificidad de los mismos.

El árbol de posicionamiento taxonómico fue elaborado con secuencias homólogas del supresor de silenciamiento génico de representantes del género *Poleovirus*. En el cual se observó que las muestras analizadas en este estudio están más estrechamente relacionadas (agrupadas en el mismo clado) con los miembros del SCYLV, confirmando la identidad de las muestras. Los resultados también sugieren que la muestra L1594 posee diferencias genéticas que indican que esta cepa es divergente, posiblemente debido a eventos de recombinación, frecuentes en virus (EISayed *et al*, 2011). No obstante, esta hipótesis se tendría que confirmar mediante al aislamiento de los virus y posterior secuenciación de nueva generación (NGS) del genoma completo (Kamran *et al*, 2018).

Mediante la secuenciación del genoma completo también sería posible llevar a cabo la comparación filogenética con la diversidad existente entre las distintas regiones dentro de un país o incluso en otras regiones del mundo (EISayed *et al*, 2011; Singh *et al*, 2011). El empleo de metodologías de secuenciación masiva y posterior ensamblaje, permiten analizar los genomas completos del SCYLV (tamaño aproximado de 6 kb) presentes en las variedades, para realizar la comparación filogenética.

Es necesaria la secuenciación del genoma completo para obtener más información sobre las variaciones genética, debido a que la secuencia utilizada en este estudio (segmento del ORF0 es altamente conservada entre virus de distintos orígenes, por lo tanto, no refleja la diversidad real de cepas de SCYLV aisladas de distintas regiones.



### DIAGNÓSTICO DEL SCYLV MEDIANTE LA TÉCNICA RT-QPCR

De acuerdo con los resultados obtenidos, la técnica de RT-qPCR fue la más sensible, en comparación con la RT-PCR y DAS-ELISA. Aunque la eficiencia estimada fue baja (83,93%), se logró detectar hasta una concentración de 1 fg por reacción y fue la técnica que detectó el mayor porcentaje de muestras positivas. Zheng *et al* (2019) alcanzaron un límite de detección de 300 fg/reacción por la técnica de qPCR; por otro lado, Su *et al* (2013) obtuvieron un límite de detección 10 ag (0,01 fg) por qPCR utilizando sondas fluorescentes (tipo TaqMan). La técnica RT-qPCR empleada en este estudio presentó un límite de detección intermedio entre esos resultados (1 fg/reacción).

Utilizando los mismos cebadores (SCYLV-F201/R201), Zhu *et al* (2010) obtuvieron una eficiencia del 89,50% y un  $R^2$  de 0,9983. Aunque el rango aceptable es de 80-110% de eficiencia, la disminución de la misma se debe a que probablemente los cebadores no fueron diseñados tomando en cuenta los principales requerimientos recomendados, por ejemplo: termoestabilidad a más de 40°C, con una temperatura de fusión elevada que permita una mayor astringencia de la reacción, que no formen homo ni hetero dímeros, entre otros. Además en el presente estudio, la eficiencia fue levemente inferior a la que reportan los autores, lo cual se puede atribuir a la compatibilidad entre reactivos (mezcla para transcripción reversa y PCR pertenecen a diferentes kit), consumibles plásticos (óptimo que sean anti-adherentes y las puntas con filtro), equipo no calibrado u operario técnico. Mientras que el  $R^2 = 0,9976$  fue similar al que reportan los autores y altamente confiable para la cuantificación de la carga viral en las muestras desconocidas.

Para aumentar la eficiencia y sensibilidad de la reacción, así como para evitar la emisión de fluorescencia a causa de la formación de dímeros de cebadores que sesgan las curvas, se emplean sondas fluorescentes complementarias a la se-

cuencia que se desea detectar, las cuales emiten la señal de fluorescencia únicamente si está presente la secuencia objetivo. Diversos autores reportan elevada eficiencia, especificidad y sensibilidad mediante esta variante de la RT-qPCR (Korimbocus *et al*, 2002). Con esta tecnología Fu *et al* (2015) obtuvieron una eficiencia del 104% en el diagnóstico del virus del mosaico estriado de la caña de azúcar (SCSM); y Korimbocus *et al* (2002) alcanzaron una eficiencia de 95,93% para la detección del SCYLV.

Por último, es relevante destacar que mediante la técnica de RT-qPCR empleada en este estudio, se logró la cuantificación de la concentración y del número de copias de la carga viral a partir de un fragmento del virus. Esta aproximación posee el potencial para ser aplicada en la estimación de los niveles de resistencia en variedades de caña de azúcar de alto interés comercial y graficar el progreso de la enfermedad a través del tiempo en las distintas variedades en estudio (Cardozo Burgos, 2017). Sin embargo, se han encontrado diferencias en la susceptibilidad en distintas poblaciones de la misma variedad, debido a que pueden acarrear distintas cepas virulentas y también a la variación somaclonal que es alta en caña de azúcar, estas pequeñas variaciones genéticas pueden suprimir la replicación del virus (Zhu *et al*, 2010).

### COMPARACIÓN DE LAS TRES TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO

Está comprobado que tanto las técnicas serológicas como moleculares son capaces de detectar el virus en plantas asintomáticas y en distintos tejidos de la planta, como por ejemplo extractos de hoja y tallo (Madugula & Gali, 2017); aunque las plantas no tengan expresión de los síntomas. No obstante, las técnicas serológicas pueden presentar la desventaja de reportar falsos negativos o falsos positivos.

Se observaron variaciones en los resultados de diagnóstico entre DAS-ELISA y las técnicas moleculares. En cuanto a las muestras negativas por serología y positivas mediante RT-PCR, se debe probablemente a que la cantidad de partículas virales en la hoja es inferior al límite de detección de la técnica DAS-ELISA (Chatenet *et al*, 2001).

Está ampliamente reportado que las aproximaciones moleculares son más específicas y sensibles en comparación con los inmunoensayos (Aljanabi *et al*, 2001; Balmaseda *et al*, 2018; Soltan *et al*, 2016), por lo tanto, las muestras que resultaron seropositivas y negativas con ambas técnicas moleculares (L1592 y L1536), podría atribuirse a distintos factores, como por ejemplo: a) baja especificidad de la técnica DAS-ELISA, porque detecta la proteína de la cápsula, altamente conservada entre todos los poleovirus (EISayed *et al*, 2011); b) la distribución desigual del virus en la planta y por consiguiente, en las hojas (Chatenet *et al*, 2001); c) ruido de fondo (*Background*) y otras reacciones inespecíficas causadas por el anticuerpo secundario (Terato *et al*, 2014).

El DAS-ELISA y RT-PCR únicamente indican presencia/ausencia del patógeno viral, pero no dan información sobre la carga viral, aunque se podría deducir de forma cualitativa, en el caso de la prueba serológica, mediante las diferencias de coloración que se observan como variaciones en la densidad óptica (OD) a 405 nm. Mientras que en la RT-PCR se pueden visualizar las diferencias como variaciones en el grosor e intensidad de las bandas. No obstante, la técnica que permite la obtención de datos cuantitativos y precisos es la RT-qPCR.

Con respecto a las ventajas de la detección eficiente de fitopatógenos, se ha comprobado que el cultivo *in vitro* de meristemo en combinación con la detección molecular en cuarentena, constituyen una herramienta eficaz para el control de la propagación del SCYLV (Chatenet *et al*, 2001; Madugula & Gali, 2017; Ramgareeb *et al*, 2010). Posteriormente las plántulas regeneradas *in vitro* se utilizarán como fuente para suplir a los productores de material libre de virus.



## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

### CONCLUSIONES

Se concluye que las técnicas moleculares como la RT-PCR y RT-qPCR, son considerablemente más sensibles que los inmunoensayos. Con estas técnicas se reduce significativamente la propagación del virus a través de la reproducción de material infectado por bajas cargas virales. La detección temprana y eficaz, así como la correcta identificación del fitopatógeno son claves para el control y manejo adecuado de los cultivos.

Además fue posible estimar la carga viral presente en las muestras analizadas, esta herramienta posibilita llevar a cabo experimentos del nivel de tolerancia a la infección viral en variedades de caña de azúcar.

### RECOMENDACIONES

Es importante comparar la eficiencia del método de extracción con el kit utilizado en el presente estudio, en términos de la pureza y concentración, con otros métodos de extracción orgánicos. Se recomienda utilizar nitrógeno líquido para la pulverización eficaz de las muestras y disminuir la degradación del ARN.

En cuanto a la técnica RT-qPCR, se recomienda sustituir la tecnología de emisión de fluorescencia del SYBR Green, por tecnologías que mejoren la especificidad y eficiencia de la reacción, como las sondas fluorescentes. Además este tipo de sondas permiten realizar RT-qPCR múltiple, es decir, detectar dos o más secuencias objetivo en un mismo tubo de reacción, detectando cada secuencia con un fluorocromo diferente. Esto permite un consumo de reactivos, consumibles y tiempo del técnico operario considerablemente menor, detectando dos o más virus diferentes simultáneamente en el mismo tubo de reacción.

Se recomienda diseñar cebadores con base en las secuencias obtenidas de este estudio y de la base de datos, además analizar que cumplan con los principales requerimientos.

Para una mayor confiabilidad y robustez del ensayo RT-qPCR es más adecuado medir los estándares por triplicado.



### Referencias bibliográficas

- Abou-Jawdah, Y., Eid, S. G., Atamian, H. S., & Havey, M. (2008). *Assessing the Movement of Cucurbit yellow stunting disorder virus in Susceptible and Tolerant Cucumber Germplasms Using Serological and Nucleic Acid-based Methods*. *Journal of Phytopathology*, 156(7-8), 438-445. doi.org/10.1111/j.1439-0434.2007.01388.x
- Aljanabi, S. M., Forget, L., & Dookun, A. (1999). *An Improved and Rapid Protocol for the Isolation of Polysaccharide-and Polyphenol-Free Sugarcane DNA*. *Plant Molecular Biology Reporter*, 17, 1-8.
- Aljanabi, S. M., Parmessur, Y., Moutia, Y., Saumtally, S., & Dookun, A. (2001). *Further evidence of the association of a phytoplasma and a virus with yellow leaf syndrome in sugarcane*. *Plant Pathology*, 50(5), 628-636. doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00604.x
- Balmaseda, A., Zambrana, J. V., Collado, D., García, N., Saborío, S., Elizondo, D., Mercado, J. C., Gonzalez, K., Cerpas, C., Nuñez, A., Corti, D., Waggoner, J. J., Kuan, G., Burger-Calderon, R., & Harris, E. (2018). *Comparison of four serological methods and two reverse transcription-PCR assays for diagnosis and surveillance of Zika virus infection*. *Journal of Clinical Microbiology*, 56(3). doi.org/10.1128/JCM.01785-17
- Boukari, W., Kaye, C., Wei, C., Hincapie, M., LaBorde, C., Irely, M., & Rott, P. (2019). *Field Infection of Virus-Free Sugarcane by Sugarcane Yellow Leaf Virus and Effect of Yellow Leaf on Sugarcane Grown on Organic and on Mineral Soils in Florida*. *Plant Disease*, 103(9), 2367-2373. doi.org/10.1094/PDIS-01-19-0199-RE
- Cardozo Burgos, C. *Estimación de niveles de resistencia al virus de la hoja amarilla (SCYLV) mediante la técnica de PCR en tiempo real (RT-qPCR) en variedades de caña de azúcar* (Tesis de Doctorado en Ciencias Agrarias). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59467>
- Chatenet, M., Delage, C., Ripolles, M., Irely, M., Lockhart, B. E. L., & Rott, P. (2001). *Detection of Sugarcane yellow leaf virus in quarantine and production of virus-free sugarcane by apical meristem culture*. *Plant Disease*, 85(11), 1177-1180. doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.11.1177
- Chavarría, E.; Moreira, L., Lockhart, B. E.; Rivera, C.; Villalobos, W. (2006). *Estudio de la distribución de las enfermedades virales de la caña de azúcar en Costa Rica*. In: Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (XVI, Guanacaste, CR) Memorias 2006. San José, CR. Ed. M. A. Chaves Solera. p 619 - 633.
- Chinnaraja, C., Viswanathan, R., Sathyabhama, M., Parameswari, B., Bagyalakshmi, K., Malathi, P., & Neelamathi, D. (2014). *Quantification of Sugarcane yellow leaf virus in in vitro plantlets and asymptomatic plants of sugarcane by RT-qPCR*. *Current Science*, 106(5), 729-734. doi.org/10.2307/24099972
- ElSayed, A. I., Weig, A. R., & Komor, E. (2011). *Molecular characterization of Hawaiian Sugarcane yellow leaf virus genotypes and their phylogenetic relationship to strains from other sugarcane-growing countries*. *European Journal of Plant Pathology*, 129(3), 399-412. doi.org/10.1007/s10658-010-9703-0

## SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

- Fu, W.-L., Sun, S.-R., Fu, H.-Y., Chen, R.-K., Su, J.-W., & Gao, S.-J. (2015). *A One-Step Real-Time RT-PCR Assay for the Detection and Quantitation of Sugarcane Streak Mosaic Virus*. *BioMed Research International*, 2015. doi.org/10.1155/2015/569131
- Kamran, A., Lotos, L., Amer, M. A., Al-Saleh, M. A., Alshahwan, I. M., Shakeel, M. T., Ahmad, M. H., Umar, M., & Katis, N. I. (2018). *Characterization of pepper leafroll chlorosis virus, a new polerovirus causing yellowing disease of bell pepper in Saudi Arabia*. *Plant Disease*, 102(2), 318-326. https://doi.org/10.1094/PDIS-03-17-0418-RE
- Khalil, F., Yueyu, X., Naiyan, X., Di, L., Tayyab, M., Hengbo, W., ... & Pinghua, C. (2018). *Genome characterization of Sugarcane Yellow Leaf Virus with special reference to RNAi based molecular breeding*. *Microbial pathogenesis*, 120, 187-197. doi.org/10.1016/j.micpath.2018.05.001
- Korimbocus, J., Coates, D., Barker, I., & Boonham, N. (2002). *Improved detection of Sugarcane yellow leaf virus using a real-time fluorescent (TaqMan) RT-PCR assay*. *Journal of Virological Methods*, 103(2), 109-120. doi.org/10.1016/S0166-0934(01)00406-2
- Madugula, S., & Gali, U. D. (2017). *Virus indexing for Sugarcane Yellow Leaf Virus (SCYLV) in field varieties and in vitro regenerated plantlets of sugarcane*. *Australasian Plant Pathology*, 46(5), 433-439. doi.org/10.1007/s13313-017-0505-0
- Mangwende, T., Wang, M. L., Borth, W., Hu, J., Moore, P. H., Mirkov, T. E., & Albert, H. H. (2009). *The P0 gene of Sugarcane yellow leaf virus encodes an RNA silencing suppressor with unique activities*. *Virology*, 384(1), 38-50. doi.org/10.1016/j.virol.2008.10.034
- Miller, M.A., Pfeiffer, W., and Schwartz, T. (2010) "Creating the CIPRES Science Gateway for inference of large phylogenetic trees" in *Proceedings of the Gateway Computing Environments Workshop (GCE)*, 14 Nov. 2010, New Orleans, LA pp 1 - 8.
- Rambaut, A. (2009, December 21). FigTree v1. 3.1: *Tree figure drawing tool*. Institute of Evolutionary Biology, University of Edinburgh, Edinburgh. http://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/
- Ramgareeb, S., Snyman, S. J., van Antwerpen, T., & Rutherford, R. S. (2010). *Elimination of virus and rapid propagation of disease-free sugarcane (Saccharum spp. cultivar NCo376) using apical meristem culture*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 100(2), 175-181. doi.org/10.1007/s11240-009-9634-7
- Scagliusi, S., Saikat, K., de Gouvea, J., & Vega, J. (2008). *Comparison of Two Diagnostic Methods for Evaluation of Sugarcane yellow leaf virus Concentration in Brazilian Sugarcane Cultivars*. *Functional Plant Science and Biotechnology*, 3(1), 26-30. doi.org/10.1586/14737159.9.2.187
- Singh, D., Rao, G. P., Snehi, S. K., Raj, S. K., Karuppaiah, R., & Viswanathan, R. (2011). *Molecular detection and identification of thirteen isolates of Sugarcane yellow leaf virus associated with sugarcane yellow leaf disease in nine sugarcane growing states of India*. *Australasian Plant Pathology*, 40(5), 522-528. doi.org/10.1007/s13313-011-0061-y
- Soltan, M. A., Tsai, Y. L., Lee, P. Y. A., Tsai, C. F., Chang, H. F. G., Wang, H. T. T., & Wilkes, R. P. (2016). *Comparison of electron microscopy, ELISA, real time RT-PCR and insulated isothermal RT-PCR for the detection of Rotavirus group A (RVA) in feces of different animal species*. *Journal of Virological Methods*, 235, 99-104. doi.org/10.1016/j.jviromet.2016.05.006



- Stamatakis, A., Ludwig, T., & Meier, H. (2005). *RAxML-III: a fast program for maximum likelihood-based inference of large phylogenetic trees*. *Bioinformatics*, 21(4), 456–463. doi:10.1093/bioinformatics/bti191
- Su, Y., Wang, S., Guo, J., Xue, B., Xu, L., & Que, Y. (2013). *A TaqMan Real-Time PCR Assay for Detection and Quantification of Sporisorium scitamineum in Sugarcane*. *The Scientific World Journal*, 2013, 1–9.
- Sun, S., Ahmad, K., Wu, X., Chen, J., Fu, H., Huang, M., & Gao, S. (2018). *Development of Quantitative Real-Time PCR Assays for Rapid and Sensitive Detection of Two Badnavirus Species in Sugarcane*. *BioMed Research International*, 2018, 1–10. doi.org/10.1155/2018/8678242
- Takabatake, R., Onishi, M., Futo, S., Minegishi, Y., Noguchi, A., Nakamura, K., Kondo, K., Teshima, R., Mano, J., & Kitta, K. (2015). *Comparison of the specificity, stability, and PCR efficiency of six rice endogenous sequences for detection analyses of genetically modified rice*. *Food Control*, 50, 949–955. doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.043
- Tenllado, F., Barajas, D., Vargas, M., Atencio, F. A., González-Jara, P., & Díaz-Ruiz, J. R. (2003). *Transient expression of homologous hairpin RNA causes interference with plant virus infection and is overcome by a virus encoded suppressor of gene silencing*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 16(2), 149–158. doi.org/10.1094/MPMI.2003.16.2.149
- Terato, K., Do, C. T., Cutler, D., Waritani, T., & Shionoya, H. (2014). *Preventing intense false positive and negative reactions attributed to the principle of ELISA to re-investigate antibody studies in autoimmune diseases*. *Journal of Immunological Methods*, 407, 15–25. doi.org/10.1016/j.jim.2014.03.013
- Vazquez Rovere, C., Del Vas, M., & Hopp, H. E. (2002). *RNA-mediated virus resistance*. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(2), 167–172. doi.org/10.1016/S0958-1669(02)00296-3
- Viswanathan, R. (2015). *Varietal Degeneration in Sugarcane and its Management in India*. *Sugar Tech*, 18(1), 1–7. doi.org/10.1007/s12355-015-0369-y
- Viswanathan, R., & Balamuralikrishnan, M. (2004). *Detection of sugarcane yellow leaf virus, the causal agent of yellow leaf syndrome in sugarcane by DAS-ELISA*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 37(3), 169–176. doi.org/10.1080/03235400410001730676
- Viswanathan, R., Chinnaraja, C., Malathi, P., Gomathi, R., Rakkiyappan, P., Neelamathi, D., & Ravichandran, V. (2014). *Impact of Sugarcane yellow leaf virus (SCYLV) infection on physiological efficiency and growth parameters of sugarcane under tropical climatic conditions in India*. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(7), 1805–1822. doi.org/10.1007/s11738-014-1554-4
- Viswanathan, R., Karuppaiah, R., & Balamuralikrishnan, M. (2010). *Detection of three major RNA viruses infecting sugarcane by multiplex reverse transcription polymerase chain reaction (multiplex-RT-PCR)*. *Australasian Plant Pathology*, 39(1), 79–84. doi.org/10.1071/AP09059
- Viswanathan, R., Karuppaiah, R., Malathi, P., Kumar, V. G., & Chinnaraja, C. (2009). *Diagnosis of Sugarcane yellow leaf virus in asymptomatic sugarcane by RT-PCR*. *Sugar Tech*, 11(4), 368–372. doi.org/10.1007/s12355-009-0063-z
- Xie, Y., Wang, M., Xu, D., Li, R., & Zhou, G. (2009). *Simultaneous detection and identification of four sugarcane viruses by one-step RT-PCR*. *Journal of Virological Methods*, 162(1–2), 64–68. doi.org/10.1016/j.jviromet.2009.07.015
- Zheng, W., Jiang, L., Lei, Q., Yang, J., Gao, X., Wang, W., Zhang, Y., Kong, T., Chen, Q., & Li, G. (2019). *Development and Validation of Quantitative Real-Time PCR for the Detection of Residual CHO Host Cell DNA and Optimization of Sample Pretreatment Method in Biopharmaceutical Products*. *Biological Procedures Online*, 21(1), 1–7. doi.org/10.1186/s12575-019-0105-1
- Zhu, Y. J., Lim, S. T. S., Schenck, S., Arcinas, A., & Komor, E. (2010). *RT-PCR and quantitative real-time RT-PCR detection of Sugarcane yellow leaf virus (SCYLV) in symptomatic and asymptomatic plants of Hawaiian sugarcane cultivars and the correlation of SCYLV titre to yield*. *European Journal of Plant Pathology*, 127(2), 263–273. doi.org/10.1007/s10658-010-9591-3



Sabe a lo  
que nunca  
has probado

Nuevas bebidas instantáneas



Bajo en calorías

Con extracto de  
**Stevia**

Descubrí tu sabor