Llenate de **vida**

Alimentá tu vitalidad reduciendo el consumo de carnes y aumentando la variedad de vegetales en tus comidas. Complementá tu dieta con frutas y verduras frescas para obtener mejores resultados.

Nos inspira verte vivir bien.

LAICA

REVISTA

ENTRE CAÑEROS

NÚMERO 9 DICIEMBRE DEL 2017 Revista trimestral del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA)

ENTRE CAÑEROS

PRESENTACIÓN

Estimados lectores, concluimos con este número el año 2017 esperando que el material publicado a lo largo de este periodo haya sido de su entera satisfacción y provecho.

Estamos presentando en esta oportunidad un interesante artículo de opinión que los invitamos a leer, en el que se aborda el tema de la venta de los productos biológicos producidos por LAICA a través de su Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), una encrucijada que por mucho tiempo ha estado al frente del camino durante la función de DIECA, que cada vez se ve más cercana y que hay que analizar profundamente desde varias perspectivas.

También estamos brindando información sobre el desempeño de alternativas varietales para la Región Sur de Costa Rica, en donde se describen los resultados de algunos clones en últimas etapas del proceso de selección y con posibilidades de convertirse en alternativas comerciales para esta importante región azucarera.

Se está incluyendo en este número una importante nota técnica que plantea, detalla y explica los orígenes, posibles consecuencias y riesgos de la compactación de los suelos, problemática que es común a los suelos cañeros de Costa Rica y al que no se le ha prestado la debida atención.

Como siempre los exhortamos a que nos haga llegar sus comentarios y recomendaciones de mejora para este medio de comunicación que tratamos de consolidar dentro del ámbito agrícola nacional.

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

CONTENIDO

01
Presentación

03
Ventajas, riesgos y peligros de vender productos biológicos a beneficiarios del sector azucarero.

17
Evaluación agroindustrial de siete variedades comerciales de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*) durante cuatro cosechas. Pérez Zeledón, Costa Rica. 2017

34
La compactación de suelos en la caña de azúcar

Revista Entre Cañeros
Número 9, 22 de diciembre del 2017.

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

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

Comité Editorial
Ing. Erick Chavarría Soto, coordinador.
Ing. Marco A. Chaves Solera.
Ing. José Daniel Salazar Blanco.
Ing. 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
• No permite que los niños se desarrollen física, emocional y psicológicamente. • Les puede causar enfermedades,lesiones o deterioro en la salud. • Causa bajo rendimiento o abandono de la educación.	• Se le debe facilitar al adolescente el espacio para estudiar y asistir al centro educativo. • Se le deben dar las mismas garantías como remuneración y vacaciones que a una persona adulta. • La jornada no puede ser mayor a 6 horas diarias ni 36 semanales. • No pueden realizar trabajo nocturno ni trabajos peligrosos, como: • Estar en espacios insalubres con altas temperaturas, espacios cerrados, alturas peligrosas o estar bajo tierra. • Utilizar herramientas o maquinaria peligrosa. • Levantar peso mayor a 15 kg los hombres y 10 kg las mujeres.

LAICA RSE

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

VENTAJAS, RIESGOS Y PELIGROS DE VENDER PRODUCTOS BIOLÓGICOS A BENEFICIARIOS DEL SECTOR AZUCARERO.

Marco A. Chaves Solera[1]

Introducción

Desde hace mucho tiempo y en diferentes momentos históricos, la dirigencia del sector azucarero presente en las Juntas Directivas Corporativa y de Comercialización que orientan los destinos de LAICA, representadas en este caso por miembros de la Federación de Cámaras de Productores de Caña (FEDECAÑA) y sus seis Cámaras asociadas, y la Cámara de Azucareros en representación de los 13 ingenios activos, se han planteado la posibilidad, argumentando diversas razones, de fijar un precio de venta a los productos de naturaleza orgánica que DIECA elabora y pone a disposición de los usuarios y beneficiarios de la agroindustria nacional.

Esta pretensión no ha prosperado pese a lo cual ha generado disputa y una gran polémica, tal vez hasta innecesaria, que resulta desgastante y que la verdad poco beneficia y menos contribuye a favorecer un clima de armonía y concentración de esfuerzos institucionales en temas de gran actualidad e impacto productivo, económico y de salud pública. Esta realidad acontece con los tópicos fitosanitarios, ecológicos y de salud de las plantaciones de caña de azúcar, precisamente en momentos cuando la situación del clima y sus inusitados cambios permanentes se constituyen en un excelente aliado para la presencia e impacto de plagas y enfermedades, como la realidad del campo lo demuestra día a día.

Es necesario dejar claro para evitar mal entendidos, que no se pretende con este breve artículo juzgar si está bien o no la forma en que se opera actualmente, si debiera ponerse valor o no a los productos entregados al sector productor, si debe existir utilidad financiera o no en el material biológico entregado. Tampoco se pretende calificar si se debe proseguir con métodos de control basados en criterios biológicos inmersos en diversos conceptos como son el **Manejo Integrado de Cultivos (MIC), Manejo Integrado de Plagas (MIP)** o el uso de **Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)**, para atender y resolver el problema fitosanitario de nuestras plantaciones, como acontece actualmente (Chaves 2017abc). Esa decisión corresponde tomarla única y exclusivamente a la dirigencia responsable de fijar los lineamientos, orientaciones y estrategias de desarrollo de la agroindustria azucarera nacional, obviamente contando con los elementos técnicos vinculados necesarios y obligados que una decisión trascendente como la indicada implica.

Procura por todo lo anterior el presente artículo, simplemente aportar los elementos que se estiman pertinentes y obligados tener presentes y tomar en consideración en la decisión que sectorial e institucionalmente se adopte, como orientación futura de esta materia tan importante y determinante para la sanidad y estabilidad productiva de las plantaciones comerciales de caña.

[1] Ingeniero Agrónomo, MSc. Gerente. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA), Costa Rica. E-mail: mchavezs@laica.co.cr. Teléfono (506) 2284-6066 / (506) 2284- 6067 / Fax (506) 2223-0839. Diciembre de 2017.

Tecnologías biológicas para el control fitosanitario

Luego de un prolongado, difícil pero eficiente y muy fructífero trabajo científico y tecnológico desarrollado durante muchísimo tiempo, DIECA ha logrado consolidar a través de los años una ejemplar y reconocida tecnología de corte biotecnológico para el manejo de las plagas y las enfermedades que aquejan el cultivo; la cual, como es demostrable, se adelantó a los tiempos no solo a nivel nacional sino también internacional, superando lo actuado en esta materia por otras reconocidas agroindustrias azucareras del mundo.

Las novedosas y revolucionarias teorías emergentes en los años 80 que procuraban superar el uso intensivo de agroquímicos pregonado por la denominada *"revolución verde"*, favorecida por el empleo masivo de agroquímicos, entre ellos los tradicionales insecticidas para realizar el control de plagas y fungicidas en el caso de las enfermedades; fueron retomadas, evaluadas y acogidas con gran visión por parte de DIECA, demostrando que si era viable y factible adaptarlas e incorporarlas al sistema de producción de la caña de azúcar. No hay duda que el hecho constituyó una verdadera revolución tecnológica en un cultivo de tradición conservadora, como era el caso de la caña de azúcar hasta entonces (Chaves 2017bc).

La evolución del sistema de control fitosanitario vigente sustentado en principios biológicos iniciado en el año 1982, ha superado con el tiempo etapas sucesivas y ordenadas de prueba-error, donde inicialmente se experimentó y luego procedió a investigar de manera formal e intensa con diferentes agentes potenciales de control reportados en el mundo como efectivos, como aconteció con el uso de dípteros, avispas y otros reconocidos controladores biológicos. También se desarrollaron mecanismos alternativos de control concebidos en los denominados métodos etológicos, basados en el uso de trampas atrayentes de color impregnadas con pegamento adhesivo, cebos, uso de luz y más recientemente feromonas (Chaves 217bc).

¿Cuáles son los productos biológicos dispuestos por DIECA?

Actualmente DIECA reproduce y pone a disposición de los usuarios registrados ante LAICA como productores y entregadores de caña, varios productos biológicos diferentes, entre los que están: parasitoides (avispas) del género ***Cotesia flavipes***, hongos entomopatógenos de los géneros ***Metarhizium anisopliae*** y ***Beauveria bassiana***, plantas reproducidas por medio del **Cultivo de Tejidos *in vitro*** y más recientemente **Substratos Orgánicos**. La iniciativa biológica como se aprecia es multivariada en cuanto a los agentes empleados, pero de carácter integral en su ejercicio pragmático en el campo, al suplir productos y modos de acción diversos que operan articulada e integralmente, como oportunamente lo apuntara Chaves (2017a).

¿Cómo opera la asignación y entrega de los productos biológicos?

Es oportuno y necesario dejar claro de previo, que la forma de operar en esta materia es un asunto sectorial de toda la agroindustria y no exclusivo de DIECA, como algunas personas han erróneamente manifestado. Durante los 33 años de vigencia de la iniciativa entomológica en la cual han actuado muchas personas y dirigentes azucareros, se ha valorado, perfilado, definido y modelado la orientación técnico-administrativa del programa, motivo por el cual su resultado no es cosa de un Departamento, en este caso DIECA, sino de la proyección que toda la dirigencia cañero-azucarera ha dado a la iniciativa (Chaves 2017bc).

La forma de definir y ubicar un beneficiario potencial y realizar una asignación de entrega responde a un mecanismo formal y complejo, que trasciende la simple solicitud del interesado, como se comentará seguidamente. En el caso particular de los **parasitoides (avispas) y los hongos entomopatógenos**, en esta decisión intervienen varios factores asociados, como son : 1) la unidad productiva (finca) beneficiada debe estar situada en una localidad geográfica con presencia comprobada de afectación por plagas; 2) debe existir presencia demostrada de la plaga en la finca, para lo cual se realizan muestreos; 3) la plaga debe estar presente en un nivel de infestación que justifique el uso y la aplicación de controladores; 4) debe haber en los laboratorios disponibilidad del agente de control en cantidad y momento; 5) es necesario contar con la disposición manifiesta del productor de respetar los elementos protocolarios (Salazar et al 2011) que conlleva e implica el uso de controladores biológicos (no uso de plaguicidas entre otros) y 6) la colaboración directa y oportuna del productor para con los funcionarios de DIECA resulta obligada, participando y cooperando en las acciones y muestreos realizados de manera previa, durante y posteriores a la liberación de los agentes biológicos.

En el caso de las plantas *in vitro* el criterio de asignación y entrega cambia radicalmente por lo que es diferente, virtud de la naturaleza y las particularidades propias del producto. En este caso se da prioridad a los ingenios, Cámaras y productores independientes que dispongan de las condiciones necesarias requeridas; caso contrario no hay entrega de material vegetal. La asignación es direccionada y sustentada en el interés manifiesto del interesado y la disponibilidad de condiciones adecuadas en su finca, asentadas en terrenos apropiados (fertilidad, topografía, acceso), disponibilidad de riego, contar con personal para el manejo y la manutención de las plantas; así como contar con un área complementaria para efectuar la multiplicación posterior del material vegetal reproducido. Como se indicó, el interés no basta para poder accesar y disponer del material vegetativo.

La producción en el caso de los **substratos orgánicos** apenas inicia su fase comercial, por lo que los mismos por decisión superior no son entregados de forma gratuita a nadie, sino vendidos sin distingo alguno a los usuarios interesados, con preferencia al sector azucarero. Dichos materiales son empleados mayoritariamente por el Programa de Variedades de DIECA, en las fases de germinación y reproducción de híbridos obtenidos vía sexual (Sigla LAICA) y asexual (importación); así como también utilizados en la reproducción y desarrollo vegetativo de material vegetal proveniente del laboratorio de Cultivo de Tejidos, destinado a desarrollar los viveros primarios y proceder con la reproducción posterior de semilla básica de clones promisorios con buen perfil comercial.

Lo actuado en materia de entrega, manejo y uso de controladores biológicos por parte de los usuarios de la agroindustria azucarera, debe seguir y respetar lo señalado en el protocolo que para tal fin está actualmente vigente, como lo apuntaran Salazar Blanco *et al* (2011).

Es importante señalar que a inicios de cada año siempre se realiza un ejercicio programático de estimación nacional de necesidades, basado en muestreos regionales y locales, historiales de uso, como también a partir de solicitudes y demandas expresas de interesados (ingenios y productores), las cuales conforman el **Plan de Entregas Nacionales** previsto realizar durante el periodo. Dicho Plan se organiza específicamente por agente biológico, región agrícola, localidad, cantidad prevista entregar, tiempo de entrega programado según posibilidades y usuario de destino, sean ingenios, Cámaras de Productores o en su caso productores independientes. Como se anotó, el estado manifiesto de necesidad por presencia de plagas e intensidad de afectación; así como la capacidad de reproducción en el laboratorio de acuerdo a espacio físico y mano de obra disponible, resultan determinantes y son tomados en cuenta en esos criterios de asignación.

El Plan Nacional de Entregas formulado por DIECA es todos los años formalmente expuesto y explicado ante la Junta Directiva de su Comité Asesor para conocimiento y aprobación, donde es analizado y comentado con gran detalle, evacuando las dudas y retomando las recomendaciones y sugerencias que allí se establezcan. Su resolución final es oportunamente comunicada a la administración de LAICA y también a los dos organismos directores superiores: FEDECAÑA y Cámara de Azucareros, como puede fácilmente demostrarse, razón por la cual nadie puede aducir desconocimiento del tema. Solo para fines informativos de comprobación, durante los últimos 10 años la asignación de controladores biológicos y plantas *in vitro* fueron conocidas y aprobadas en las sesiones de Comité Asesor de DIECA que se anotan en el cuadro adjunto, lo cual puede ser verificado en actas y continuarse para un periodo de más años si hubiera interés y necesidad.

Año	Acta, artículos y fecha	Año	Acta, artículos y fecha
2017	N° 87, VII – VIII, 6 marzo	2011	N° 12, X – XI, 9 mayo
2016	N° 75, IX – X, 2 mayo	2010	N° 586, XIII – XIV, 17 abril
2015	N° 62-61, X – XIII, 6 abril-2 marzo	2009	N° 573-574, XV-XVI, 16 marzo-27 abril
2014	N° 50, XI – XII, 5 mayo	2008	N° 555, XII, 7 abril
2013	N° 35, XV – XVI, 1 abril	2007	N° 538, X, 2 julio
2012	N° 24, VIII – IX, 7 mayo		

A manera de simple ejemplo aclaratorio del procedimiento seguido para definir la demanda, cabe señalar que la propuesta para la asignación de controladores biológicos (hongos y avispas), se plantea siempre siguiendo tres criterios técnicos básicos que facilitan la toma correcta de decisiones por parte del Comité Asesor, como aconteció durante el año 2017 (Acta N° 87, artículo VII del 6 marzo). En este caso la propuesta contenía originalmente tres opciones distintas, basadas en los antecedentes de entregas para los distintos beneficiarios: 1) Entrega (última) realizada durante el año anterior 2016 (38.748.275 avispas); 2) Promedio histórico (23.050.076 avispas) y, 3) Promedio del último trienio 2014-2016 (33.515.425 avispas). Como se infiere los elementos de decisión son los técnicamente apropiados ya que involucran diferentes periodos de tiempo y consideran capacidades viables de alcanzar. De parte de la coordinación del laboratorio se plantea y recomienda adicional y complementariamente, basados en esos tres criterios, utilizar como base para la asignación de ese año en particular, el promedio del trienio 2015-2017 de 33.515.425 avispas, la que al final se aprobó y ejecutó. En el caso de las plantas in vitro el mecanismo operativo seguido es similar. Se demuestra con lo anterior la responsabilidad institucional y seriedad profesional con que se desarrolla el proceso de formulación, asignación y entrega de productos biológicos por parte de DIECA. Todo está registrado y documentado en actas y puede ser verificado y comprobado.

¿Son iguales todos los productos biológicos producidos por DIECA? ¿Pueden diferenciarse?

Esta válida inquietud es importante aclararla para eliminar falsas y erróneas interpretaciones, aunque también tenerla muy presente, pues su correcta concepción ubica y define la forma en que son tratados los productos de origen biológico reproducidos por DIECA, lo cual no debiera cambiar virtud de su destino y objetivo fundamental como se comentará seguidamente.

Los productos elaborados por DIECA deben ubicarse en dos categorías básicas indiscutibles, virtud de su uso y su destino:

1) Favorecedores de fitosanidad de las plantaciones comerciales

2) Insumos para promover e incrementar la productividad agroindustrial del cultivo

La clasificación anterior marca límites y diferencias fundamentales y de mucho fondo que deben quedar bien demarcadas, concebidas y establecidas por parte de quienes deciden sobre el futuro de estos productos. En el primero de los casos su empleo resulta de uso obligado para mantener control y equilibrio fitosanitario de las plantaciones comerciales de caña, pues son conducentes a controlar plagas destructivas de fuerte impacto productivo y económico, como acontece con: el barrenador común del tallo (***Diatraea*** spp.), salivazo, baba de culebra o palomilla (***Aeneolamia*** spp., ***Prosapia*** spp., ***Zulia vilior***), cigarrita antillana (***Saccharosydne saccharivora***), barrenador gigante del tallo (***Telchin*** spp.), langosta voladora ***Schistocerca piceifrons piceifrons***, joboto o gallina ciega (***Phyllophaga*** spp.), picudo de la caña y la piña (***Metamasius hemipterus*** - ***Metamasius dimidiatipennis***), barrenador menor (*B****lastobasis graminea***), chinche de encaje (***Leptodictya tabida***), chicharra (Proarna invaria), comején o termitas (***Heterotermes*** sp.), ácaro de la caña (***Abacarus doctus***), gusano cogollero (***Spodoptera frugiperda***), falso medidor (***Mocis latipes***), áfidos (***Sipha flava*** - ***Melanaphis sacchari***), saltahojas o chicharrita de la caña de azúcar (***Perkinsiella saccharicida***), escama del tallo (***Aclerda sacchari***), escama blanca (***Duplachionaspis divergens***), escama acanalada (***Insignorthezia insignis***), escama harinosa rosada de la caña (***Saccharicoccus sacchari***), escarabajos del tallo (***Euetheola humilis rugiceps*** y ***Tomarus bituberculatus***), citadas por Salazar (2017). Como se infiere la cantidad de plagas con potencial de afectación de la caña es alta, lo que se ve favorecido por el cambio climático vigente. Varias de esas plagas son controladas mediante el empleo de hongos entomopatógenos, parasitoides y métodos etológicos.

Los substratos orgánicos y las plantas ***in vitro*** tienen por su parte un objetivo y un destino diferente, pues operan como insumos para el aumento y mejoramiento de la productividad agroindustrial, pudiendo por ello ser o no empleados, por lo que su adquisición es discrecional y optativa dependiendo del interés y capacidad del usuario. La mejora de la productividad agroindustrial como ruta directa e insoslayable para alcanzar la ansiada competitividad no tiene ni está aquí en discusión, pues constituye una meta permanente por satisfacer en lo institucional y también en lo particular desde la perspectiva empresarial (Chaves 2017d); el agricultor es en este sentido gestor directo de su propio desarrollo y beneficio, por lo que en esa misma dinámica debe actuar si desea ser competitivo (Chaves 2017e).

Queda claro entonces que el destino de cada producto biológico es muy diferente, pues en el caso de las plagas es obligado, ya que las mismas no respetan límites, cercas limítrofes, ni condicionamiento de ninguna especie; la opción alterna de control son los indeseables plaguicidas. Es en este sentido que desde sus inicios, el programa de control biológico de plagas promocionado por DIECA y avalado por LAICA, ha tenido claro el tema y separado los productos de acuerdo con esta concepción, procediendo a entregar y liberar hongos y avispas en forma masiva para controlar plagas en un sentido integral y no apenas particular, pues poco se lograría que algunos agricultores los empleen y otros no, pues el problema entomológico se mantendría presente con fuertes impactos aún para quienes los utilizan. La fiscalización y mantenimiento de la salud fitosanitaria de las plantaciones comerciales nacionales de caña de azúcar es un asunto de obligación sectorial e institucional, enmarcado en la Ley Orgánica que regula LAICA.

¿Por qué vender los productos biológicos?

La gestión de venta de productos biológicos, particularmente hongos y avispas, no es nueva en DIECA pues desde hace muchos años se realiza como una acción complementaria a la satisfacción de las necesidades nacionales del sector azucarero en esa materia. Dicha labor se incrementó con un cambio de fondo acontecido en la concepción de la iniciativa biológica a partir del año 1990, expresada por un significativo aumento de la reproducción de avispas procurando generar y vender un potencial excedente exportable. Se amplió posteriormente con la creación e inicio de actividades de investigación y reproducción de hongos entomopatógenos en el año 1991; como también con la creación y operación del laboratorio de cultivo de tejidos en el año 2000 (Chaves 2016; 2017a).

Sobre el tema de las ventas mucho se comenta pero poco con la certeza de lo acontecido realmente y sobre la forma correcta en que opera la iniciativa, expresando Chaves (2016) al respecto, que: *"Es necesario por su significado destacar varios asuntos importantes para eliminar dudas infundadas sobre la gestión de venta realizada, como son: 1) se venden excedentes o demandas preestablecidas, por lo que las necesidades nacionales no son afectadas ni mucho menos sacrificadas pues son prioridad institucional; 2) toda la gestión se realiza mediante trámite bancario (pagos por depósito en cuentas de LAICA), por lo que no hay manejo de dinero; 3) los recursos percibidos ingresan directamente a LAICA por lo que no son, por directriz superior, reinvertidos y reutilizados por DIECA; 4) la producción y venta se realiza por demanda previa coordinada con los interesados, sobre todo en el mercado internacional; 5) los productos van acompañados de un estricto control de calidad basado en indicadores muy específicos y reveladores; 6) en la venta por lo general no participan intermediarios, sobre todo en las externas; 7) por su naturaleza y características no es aplicable la suscripción de contratos previos de compra, pues esta se da solo cuando la plaga está presente, y 8) la gestión comercial es desarrollada por DIECA con un importante y valioso apoyo en los últimos años por parte de la unidad especializada en exportaciones de LAICA."*

La pretensión de poner precio a todos los productos biológicos elaborados por DIECA es un tema que no es nuevo, pues resulta institucionalmente reiterativo, ya que la iniciativa periódicamente surge y adquiere actualidad, por lo que históricamente son varias las intenciones de concretarlo y hacerlo realidad. En la actualidad representantes del sector industrial, principalmente, consideran oportuno y pertinente aplicarlo.

Es en este sentido necesario y oportuno señalar que es con base en los argumentos señalados con anterioridad, que las avispas y los hongos entomopatógenos aplicados con fines fitosanitarios son entregados de manera solidaria y sin costo directo por su adquisición a quienes lo necesitan, lo que a criterio de muchos forma parte de la ***"solidaridad corporativa sectorial"*** que dio fundamento a la creación y consolidación de la institucionalidad del sector azucarero nacional, como lo comentara con amplitud Chaves (2015abc; 2016; 2017bc). En el caso de los subs-tratos como se indicó, todo el producto se vende a precios competitivos y, en el caso de las plantas *in vitro*, a partir de enero se cobrará, por disposición superior, un valor equivalente a la mitad de su precio de costo, lo que debe ser sin embargado ratificado por parte de los órganos pertinentes. El tema de las ventas a usuarios externos del sector azucarero, nacionales e internacionales, no se comenta por ser una iniciativa particular que opera bajo un presupuesto extraordinario que DIECA anualmente solicita a LAICA para ese fin, como lo comenta con detalle Chaves (2016).

Otro grupo productivo con argumentos válidos y diferentes estiman que se debe dar valor a todos los productos para bajar costos corporativos de LAICA, contribuir con ello a mejorar el precio final de liquidación, valorizar mejor los productos entregados, y como señalara personalmente un estimable dirigente azucarero, quien considera que *"no tiene por qué regalar su dinero a nadie"*, en cuestionamiento directo a la aludida solidaridad corporativa que otros defienden. Como señalara otra persona en adición a lo anterior *"...estamos ahora en presencia de una nueva LAICA"*. Estas aseveraciones fortalecen la imperiosa y casi insoslayable necesidad de definir el tema aludido para trabajar sobre la orientación que sectorialmente se decida adoptar, cualquiera sea esta.

Consecuencias potenciales de vender los productos biológicos

Las consecuencias de la decisión que se adopte en colocar precio a los productos biológicos son variables desde la perspectiva que se les plantee, siendo de ventaja pero también de peligro y de alto riesgo, como puede interpretarse seguidamente:

A) Ventajas:

1) Se recaudan recursos económicos importantes que vendrían a aliviar y reducir de manera muy significativa el presupuesto general de DIECA. El grado de beneficio y retorno potencial de la inversión va en función directa del precio fijado al producto biológico específico.

2) Al tener que pagar se valorizan más los productos que actualmente se dan sin costo económico directo a los usuarios, razón por la cual pudieran eventualmente no estar siendo empleados de manera óptima en la actualidad.

3) Se fortalece y posiciona institucional y financieramente el Programa de Control Biológico de DIECA al no tener que otorgar subvenciones que institucionalmente lo encarecen.

4) Resulta viable de así considerarlo, redireccionar los recursos financieros asignados presupuestariamente actualmente o captados a futuro por concepto de ventas, hacia otras áreas prioritarias (generación de nuevos agentes de control, incremento en la producción de los mismos, adquisición de equipo, mejoramiento y ampliación de instalaciones físicas).

5) Puede crearse y fortalecerse con el tiempo un mercado interesante y una cultura comercial de ámbito nacional e internacional en torno a estos productos tan particulares y especiales.

6) Se elimina la inconveniente política institucional generadora de "*dependencia del pobrecito*" que muy poco contribuye al desarrollo tecnológico, el incremento de la productividad y la competitividad.

B) Riesgos y peligros:

1) Existe el peligro real de que los productos biológicos no se vendan (parcial o totalmente) en el tiempo requerido, lo que podría generar pérdidas económicas significativas por ser organismos perecederos y el hecho de no poder almacenarse por mucho tiempo. Hay que tener presente que son seres vivos que cumplen un ciclo de vida.

2) Al fijar un precio se habilita consecuentemente el uso alternativo y potencial de plaguicidas químicos y con ello el surgimiento de los problemas implícitos: *intoxicaciones, contaminación de aguas, malos olores, fumigaciones aéreas, problemas con comunidades*, etc. Los problemas legales vinculados con estas materias, hoy ausentes, revivirán y estarán sin lugar a dudas presentes en un marco jurídico rígido y estricto como el vigente actualmente en materia ambiental y de salud pública.

3) El posicionamiento del control de plagas mediante el uso de plaguicidas químicos, caso de darse, resulta ser un significativo y lamentable retroceso en los logros, reconocimientos y buena imagen nacional e internacional que en materia ambiental con mucho esfuerzo ha logrado alcanzar la agroindustria azucarera costarricense hasta el momento.

4) Se genera un importante desbalance en el control fitosanitario y con ello la presencia de *"focos de plagas"*, marcando diferencia entre los agricultores que controlan y los que no lo hacen, lo que no contribuye en nada al necesario y procurado equilibrio fitosanitario. Las plagas se ubican por localidad, zona y región y nunca por usuario, por lo que el concepto de control debe necesaria y obligadamente orientarse en ese mismo sentido.

   Las plagas no respetan límites territoriales ni cercas limítrofes, menos propietarios y propiedades físicas o jurídicas.

5) El habilitar el uso de plaguicidas se contrapone a la orientación de armonía con el ecosistema que con tanto esfuerzo ha venido desarrollando la agroindustria azucarera desde 1982. Se ingresa además a una estrategia contraria a la orientación que moviliza la agricultura actual y futura en esta materia, lo que hace perder un logro tecnológico transcendental, una indiscutible ventaja comercial y un activo ambiental muy importante.

6) Se fragmenta el sector productor entre los que: a) pagan el precio fijado y utilizan el producto biológico, b) los que no están dispuestos a pagar por el producto y dejan de controlar las plagas y, c) los que por efecto de mortalidad inmediato de control y facilidad de aplicación cambian al uso de plaguicidas químicos.

7) Caso se "comercialice" el Programa de Control Biológico se pierde su sentido técnico-ambiental y de ecoeficiencia, con lo cual los importantes y nada despreciables logros alcanzados por la iniciativa se reducen y/o pierden.

8) Se genera un peligroso estado de inestabilidad fitosanitaria provocado por aumentos poblacionales de plagas a niveles no controlables o de costo muy elevado para su eliminación, causados por controles diferenciados.

9) La presencia de plagas problemáticas en plantaciones con estado de desarrollo vegetativo avanzado (más de seis meses), obligan al empleo de aplicaciones aéreas elevando costos y generando problemas adicionales.

10) El potencial y viable incremento en el empleo de insecticidas se contrapone a las acciones promovidas por el sector azucarero para certificarse internacionalmente, como acontece actualmente con BONSUCRO. La carga de ingrediente activo permitida y fijada para alcanzar esa certificación se ve por el contrario incrementado y por tanto más difícil de obtener.

11) Los ingenios cooperativos pondrían en riesgo los beneficios adicionales que obtienen por estar certificados en Comercio Justo (Fair Trade).

12) Tener que vender obliga a LAICA (DIECA) a crear una estrategia comercial diferente y específica, con un desgaste administrativo importante al tener que dedicar recursos logísticos y humanos a recaudar el recurso producto de las ventas. DIECA no posee capacidad para ello ni debe desviar su labor técnica fundamental para atender asuntos comerciales por venta de productos. Debería entonces contratarse personal para ese fin o destinar el de otros departamentos a esa labor, con iguales consecuencias.

13) Si se vende el producto hay que competir y ello implica tener que realizar campañas comerciales, informativas y de divulgación que tienen un alto costo económico, administrativo y humano.

¿Qué debe decidir LAICA?

En primera instancia es perentorio tomar decisión pronta, cualquiera sea esta, con acuerdos incluidos, sobre: 1) Se cobran todos o en su caso indicar cuales de los productos biológicos dispuestos actualmente por DIECA al sector productor; 2) Definir un valor (costo) por producto; 3) Establecer una forma de pago viable, expedita y segura; 4) Actualizar el Protocolo vigente para operar oficialmente elementos vinculados con: solicitud, tiempos de entrega, cantidades comprometidas, forma de entrega y recibo al usuario, uso correcto de los productos y responsabilidades técnico-financieras de los demandantes, y 5) repercusiones por posibles incumplimientos de las partes. La decisión que se adopte tiene alcances y consecuencias económicas, técnicas, administrativas, productivas y ambientales.

Complementario a los puntos anteriores, resulta urgente y muy necesario revisar y actualizar los precios de venta aplicados actualmente a los usuarios externos, tanto nacionales como externos, pues en el caso de los hongos entomopatógenos estos están desactualizados virtud de nuevas inversiones realizadas que los han desubicado del mercado; con los parasitoides la situación se considera normal y favorable. Dichos precios deben establecer y referenciar grados de utilidad aceptables, no excesivos, pues podrían sacarlos de mercado y perder ventas y clientes importantes. Caso que los incrementos pretendidos sean muy altos y significativos, resulta prudente, sensato y razonable aplicar un plan estratégico de aumentos sistemáticos en el tiempo, y una política específica de precios de venta diferenciados que consideren volúmenes y tipo de usuario. El tema de los precios de venta de los productos biológicos es muy sensible, pues mal aplicado podría provocar un efecto contraproducente al no venderse los productos y perder los clientes ya posicionados."

Conclusión

Como se ha comentado de manera reiterativa y concluyente en torno al control biológico (Chaves 2017c) *"Los beneficios que se obtienen de la implementación de este tipo de programas radican en la ausencia de toxicidad para vertebrados; además, al ser específicos (en algunos casos muy específicos) para sus hospederos, resultan ser inocuos e inofensivos hacia organismos benéficos invertebrados, tales como insectos (polinizadores, parasitoides, depredadores) y otros artrópodos como las arañas. Pueden aplicarse de forma asociada y/o integrada con otras estrategias de control y tienen un efecto residual; además de que difícilmente inducen resistencia en sus hospederos. Finalmente, su reproducción, liberación y el efecto que producen, hace a esta estrategia muy rentable desde una perspectiva económica y también ambiental."*

Este logro y realidad tecnológica ha demostrado por muchos años ser efectiva para efectuar el control de plagas en el cultivo de la caña de azúcar, lo cual, caso no se operen con mesura, prudencia y sensatez las estrategias y medidas institucionales convenientes que los tiempos obligan, podría perderse mucho o todo de lo ganado hasta el momento y que tanto beneficio le ha generado al sector azucarero nacional, como es fácilmente demostrable. Deben por ello, quienes abogan por cambiar el modelo de control fitosanitario operado por muchos años para realizar el combate de plagas, valorar y ponderar las ventajas, los riesgos y también los peligros que implícitamente tiene la decisión que se adopte, cualquiera sea está; pues las consecuencias podrían no ser reversibles y el costo mayor en relación al beneficio pretendido. Nadie podrá aducir luego que no se conocían las posibles consecuencias e implicaciones potenciales que la decisión acarrea.

Literatura Citada

Chaves Solera, M.A. 2015a. 1940: inicio de la historia institucional del sector azucarero costarricense. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, agosto. 28 p.

Chaves Solera, M.A. 2015b. 1965-2015: 50 años de la creación de LAICA. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. 33 p.

Chaves Solera, M.A.; Bermúdez Acuña, L. 2015c. Agroindustria azucarera costarricense: un modelo organizacional y productivo efectivo con 75 años de vigencia. Congreso de la Caña de Azúcar – TECNICAÑA 2015, 10, Cali, Colombia. Memoria: Responsabilidad social empresarial, administración y gerencia, medio ambiente y sostenibilidad. Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, del 14 al 18 de setiembre 2015. p: 159-171.

Chaves Solera, M.A. 2016. Venta de productos y servicios técnicos e ingresos generados por DIECA en su gestión operativa institucional. Revista Entre Cañeros N° 6. San José, Costa Rica, diciembre. p: 4-15.

Chaves Solera, M.A. 2017a. Enfoque biotecnológico integral en DIECA: pasado, presente y futuro. Revista Entre Cañeros N° 7. San José, Costa Rica, enero. p: 5-18.

Chaves Solera, M.A. 2017b. DIECA: 35 años al servicio de la agricultura cañera costarricense. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 29 p.

Chaves Solera, M.A. 2017c. Programa de control biológico de plagas de DIECA: 33 años apoyando la sostenibilidad económica y ambiental de la agricultura cañera costarricense. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero. 13 p.

Chaves Solera, M.A. 2017d. Productividad agropecuaria: ruta correcta hacia la competitividad. Revista Germinar, Órgano Informativo Oficial del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, Año 7, Edición N° 20, febrero. p: 4-5.

Chaves Solera, M.A. 2017e. El agricultor: gestor y protagonista de su propio mejoramiento. Revista Germinar, Órgano Informativo Oficial del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, Año 7, Edición N° 21, junio. p: 5-6.

Salazar Blanco, J.D. 2017. Plagas de la caña de azúcar en Costa Rica. Revista Entre Cañeros N° 8, San José, Costa Rica, marzo. p: 63-70.

Salazar Blanco, J.D.; Chavarría Soto, E.; Chaves Solera, M. 2011. PROTOCOLO para: Entrega, manejo y uso de controladores biológicos por parte de usuarios de la agroindustria azucarera costarricense. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, febrero

EVALUACIÓN AGROINDUSTRIAL DE SIETE VARIEDADES COMERCIALES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp) DURANTE CUATRO COSECHAS. PÉREZ ZELEDÓN, COSTA RICA. 2017

Julio César Barrantes Mora[1], Juan Pablo Carvajal Quesada[2], José Roberto Duran Alfaro[3], Marvin Oviedo Alfaro[4], Willy Valverde Araya[5]

Resumen

El reto mayor de la Región Sur de Costa Rica (Pérez Zeledón y Buenos Aires) es mejorar la productividad de campo dado que la actividad se desarrolla en condiciones de suelos de baja fertilidad; catalogados en su mayoría en el orden Ultisol. Por ello, resulta trascendental, la evaluación e introducción de nuevos materiales genéticos, los cuales se evalúan de manera sistemática bajo un sistema de fases para lograr variedades adaptadas a las condiciones agroclimáticas de la región. En 2013 se estableció esta investigación con el objetivo de evaluar siete materiales genéticos que pudiesen ayudar a mejorar la oferta de nuevos clones con características agroindustriales mejores a las variedades que se siembran actualmente. La investigación se ubicó en la Finca El Porvenir de CoopeAgri R.L en San Pedro de Pérez Zeledón, Costa Rica. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA), con un tamaño de parcela de 67,5 m^2 con tres repeticiones. Además, se estableció una curva de madurez utilizando una parcela adicional. Todos los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza utilizando la prueba de Tukey 5%.

Al analizar el promedio de cuatro cosechas realizadas en el periodo 2014-2017 en el grupo de siete variedades, se encontraron diferencias estadísticas significativas en la variedad RB 98-710 con respecto al testigo LAICA 05-805, donde éste material obtuvo un incremento promedio del 35,5% para la variable toneladas azúcar/ha. Entre los demás materiales evaluados no hubo diferencias respecto al testigo; no obstante se observan tres materiales (LAICA 07-801, LAICA 10-804 y SP 78-4764) que lo superan, pero en porcentajes muy

[1] Ingeniero Agrónomo, funcionario del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). Coordinador Región Sur. Pérez Zeledón, San José Costa Rica. E-mail: jbarrantes@laica.co.cr. Teléfono (506) 2494-1129/ (506) 2494-7555.

[2] Ingeniero Agrónomo, funcionario del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). Programa de Variedades. Grecia, Costa Rica. E-mail: pcarvajal@ /laica.co.cr. Teléfono (506) 2494-1129/ (506) 2494-7555.

[3] Ingeniero Agrónomo, funcionario del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). Jefe Programa de Variedades. Grecia, Costa Rica. E-mail: jduran@ /laica.co.cr. Teléfono (506) 2494-1129/ (506) 2494-7555.

[4] Ingeniero Agrónomo, funcionario del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). Programa de Variedades. Grecia, Costa Rica. E-mail: moviedo@ /laica.co.cr. Teléfono (506) 2494-1129/ (506) 2494-7555.

[5] Ingenie Agrónomo, funcionario del Departamento de Operaciones Agrícolas, CoopeAgri R. L. Peñas Blancas, Pérez Zeledón. San José, Costa Rica. E-mail: wivalverde@coopeagri.co.cr. Teléfono (506) 2738-2284.

bajos y sin mostrar diferencias estadísticas. En el caso del rendimiento industrial, la variedad LAICA 10-804 produjo en promedio de cuatro cosechas 139,54 kg de azúcar por tonelada lo que la ubica como un material de un potencial altísimo para esta variable; sin embargo, la misma disminuyó severamente la producción de campo (t caña/ha) en las socas, debido a una elevada floración (65%). Con respecto a las curvas de madurez, se encontró que entre las variedades promisorias presentan su potencial azucarero en el último tercio de la zafra como lo son el testigo LAICA 05-805 y RB 98-710; LAICA 07-801 y SP 78-4764 maduran entre el segundo y último tercio de la zafra. La variedad LAICA 10-804 presento su mejor rendimiento en el segundo tercio de zafra, teniendo una maduración más temprana siendo esto un aspecto muy importante en la actividad azucarera para el inicio de zafra, además que es importante realizar su cosecha de forma temprana para evitar problemas con el descenso del tejido corchoso.

Introducción

La Región Sur de Costa Rica (Pérez Zeledón y Buenos Aires), a través del tiempo ha mostrado tener condiciones muy favorables para la producción de azúcar; es así como a través de diferentes zafras, esta región se ha mantenido como la mejor en cuanto a rendimientos industriales con 127,4 y 126,46 kg por tonelada métrica de caña en las zafras 2014-2015 y 2015-2016 respectivamente (Chaves *et al* 2016).

No obstante, en el 2007 las áreas cañeras de esta región sufrieron severamente ante la aparición de la enfermedad roya naranja (*Puccinia kuehnii*); la cual afectó seriamente a la variedad SP 71-5574 mayormente sembrada en la región (95%), lo cual provocó pérdidas del 26,7% en la molienda de la zafra 2007-2008 (Chavarría *et al* 2015). Es a partir de este momento histórico; que se empieza a dar un cambio paulatino y sistemático de siembra de nuevos materiales, dando inició con las variedades Q 96 y CP 87-1248; pero con el transcurrir de los últimos años ha tenido mayor auge la adaptación de variedades de sigla LAICA; siendo actualmente en la Región Sur donde se ha dado una mayor siembra de estos materiales respecto a todo el país; predominando a nivel comercial y semi-comercial los clones genéticos LAICA 03-805, LAICA 04-825, LAICA 04-809 y LAICA 05-805. Estos materiales son el producto del trabajo continuo y sistemático que el Programa de Variedades de que DIECA realiza en la Región Sur, con el apoyo logístico de organizaciones regionales como lo son CoopeAgri R.L. y la Cámara de Productores de Caña de la Zona Sur; lo que ha inducido que a través de agresivos programas de innovación que el 57,6% del área cañera regional se encuentra sembrada con estos materiales de acuerdo al censo cañero 2016; destacándose que todos son obtenidos por cruzamientos genéticos realizados en nuestro país (Oviedo y Duran 2015).

Considerando que las variedades responden en forma diferencial a las condiciones a que se encuentren expuestas, es que se hace necesario estudiar y conocer su comportamiento en cada una de las diferentes zonas cañeras. La adaptación de materiales genéticos en la Región Sur, se hace a través de la implementación sistemática de estos procesos de selección, donde se han obtenido nuevas variedades de mayor productividad agroindustrial; permitiendo reemplazar materiales de baja producción o altamente susceptibles a las principales plagas y enfermedades; manteniendo una tendencia productiva regional muy positiva (Barrantes y Durán 2012).

En consecuencia, es importante evaluar constantemente nuevas materiales genéticos con el fin de seleccionar los de más altas producción agroindustrial, adaptados a una zona ecológica específica y que vengan a resolver las principales limitantes de cada región; teniendo en cuenta que los rendimientos de azúcar está determinado principalmente por la variedad, el suelo, el manejo agronómico y el clima (Marcano *et al*, 2005). El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agroindustrial de siete variedades de caña de azúcar en un suelo Ultisol en la Región Sur de Costa Rica con el fin de conocer su adaptabilidad en estas condiciones agroecológicas.

Materiales y métodos

La prueba comparativa de variedades de caña de azúcar se sembró en la Finca El Porvenir, propiedad de CoopeAgri R.L. la cual está ubicada en La Fortuna de San Pedro del cantón de Pérez Zeledón, San José, Costa Rica. Esta finca está ubicada aproximadamente a 550 msnm, los suelos pertenecen al orden Ultisol y la precipitación pluvial anual y temperatura media es de 3000 mm y 24,5°C, respectivamente. La siembra se realizó el 2 de mayo del año 2013, y en este estudio se presentan datos de cuatro cosechas durante los años agrícolas de 2013/2014 (caña planta), 2014-2015 (primer soca), 2015-2016 (segunda soca) y 2016-2017 (tercera soca).

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado es el de bloques completos al azar con tres repeticiones y la unidad experimental la constituye una parcela de 67,5 metros cuadrados (5 surcos de 9 metros de largo) con un distanciamiento de 1,5 m entre surcos y 2 m entre parcelas. La primera cosecha se realizó a la edad de 11 meses, la segunda, tercera y cuarta a los 12 meses.

Suelos y Fertilización

La fertilización utilizada en caña planta es 150 Kg de nitrógeno, 180 kg de fosforo y 161 kg de potasio por hectárea respectivamente. En soca se aplica 110 kg de nitrógeno, 12 kg de fosforo y 161 kg de potasio por hectárea; es importante aclarar que esta fertilización es la misma recomendada para las plantaciones comerciales de la Región Sur de Costa Rica.

Variedades de caña de azúcar

Con base en la evaluación sistemática de clones de caña de azúcar seguidas por el programa de variedades DIECA-LAICA en esta región, se evaluaron 7 variedades, cuatro nacionales y tres extranjeras y como testigo se utilizó la variedad LAICA 05-805.

Cuadro 1.

Variedades de caña de azúcar por procedencia y progenitores utilizados en la prueba comparativa Pérez Zeledón, San José, Costa Rica, 2017.

Variedad	Progenitores		Procedencia
	Madre	Padre	
LAICA 08-808	RD 75-11	RB 83-102	DIECA, Costa Rica
B 76-259	B 49-06	B 70-531	WICSBS, Barbados
LAICA 07-801	SP 81-2068	Policruce	DIECA, Costa Rica
LAICA 10-804	RB 86-7515	TCP 87-3388	DIECA, Costa Rica
RB 98-710	SP 81-3250	RB 93-509	RIDESA, Brasil
SP 78-4764	H 66-6254	Policruce	COOPERSUCAR, Brasil
LAICA 05-805	H 77-4643	Policruce	DIECA, Costa Rica

Variables utilizadas

Las variables evaluadas fueron brix (%), sacarosa (%) en caña, pureza (%) del jugo, fibra (%) caña, rendimiento industrial (kg azúcar/t), toneladas métricas de caña por hectárea (t caña/ha), toneladas de azúcar por hectárea (t azúcar/ha), PRT (porcentaje de diferencia respecto al mejor testigo en la variable toneladas de azúcar por hectárea) y Relación Sacarosa (toneladas de caña necesarias para extraer una tonelada de azúcar). Para esto se tomó una muestra de 5 tallos por parcela en la ruma, las cuales fueron enviadas al laboratorio del Ingenio El General, para que fueran analizadas. La estimación de las toneladas de caña por hectárea se obtuvo pesando la totalidad de caña producida en cada parcela, para lo cual se empleó una balanza electrónica con capacidad de 2 toneladas. Para interpretar los resultados se realizó un análisis de varianza utilizando el programa InfoStat (Di Rienzo et al 2016), mediante una comparación de tratamientos utilizando un alfa de 0,05 mediante la prueba de Tukey.

Curva de madurez

Adicional al ensayo de competición varietal, se estableció una parcela de 2 surcos de 9 m (27 m^2) con el fin de extraer muestras de caña para obtener el comportamiento de la madurez. Cada muestra estaba compuesta por 5 tallos, los cuales fueron enviados al laboratorio del Ingenio El General, para ser analizada según el Método de Pago por Calidad que aplica LAICA en el país. Los períodos de muestreo fueron cada 15 días y se analizaba tres muestras por parcela. En este trabajo solo se presenta la curva de madurez correspondiente a la segunda cosecha de las cuatro variedades más sobresalientes, en comparación con el testigo LAICA 05-805, empezando en el mes de diciembre y terminando en marzo.

Resultados y discusión

Se analizaron los resultados obtenidos en cada una de las cosechas para las variables agroindustriales evaluadas. Así mismo se realizó un análisis promedio de las cuatro cosechas.

Caña planta

Los datos agroindustriales de las evaluaciones realizadas en esta prueba estadística corresponden a una edad de cosecha de los lotes de 11 meses.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro 2, para la variable % sacarosa, la variedad LAICA 10-804 muestra diferencias estadísticas significativas respecto a todos las demás tratamientos. Para la variable agroindustrial (t azúcar/ha) la variedad RB 98-710 fue la de mejor comportamiento, mostrando diferencias estadísticas solo respecto a la variedad LAICA 07-801. Este material obtuvo una productividad de 19,6 toneladas de azúcar por hectárea y superó al testigo en 31,5%; además aumentó la productividad para esta variable en un 12,5 % al comparar con la LAICA 10-804 y en un 5,2% y 4,4% respecto a las variedades SP 78-4764 y B 76-259. La variedad LAICA 10-804 fue la de mejor comportamiento industrial (147,3 kg de azúcar/t) mostrando diferencias estadísticas significativas respecto a todas las variedades excepto con la RB 98-710. Estos dos materiales presentan los mejores indicadores de Relación Sacarosa con 6,8 para la LAICA 10-804 y 7,7 para la RB 98-710.

VARIEDAD RB 98- 710

Cuadro 2.

Resultados agroindustriales de la prueba comparativa de siete variedades de caña de azúcar. Primera cosecha. Pérez Zeledón, Costa Rica, 2014.

Variedad	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	Fibra (%)	Rendimiento industrial (kg azúcar/t)	Caña (t/ha)	Azúcar (t/ha)	PRT	Relación Sacarosa
RB 98-710	22,1 ab	19,5 b	88,0 ab	13,8 ns	129,6 ab	151,2 a	19,6 a	131,5	7,7
LAICA 10-804	24,2 a	22,5 a	93,2 a	14,9 ns	147,3 a	114,0 b	16,8 ab	112,5	6,8
SP 78-4764	21,4 b	18,9 b	88,5 ab	14,5 ns	122,2 b	128,3 ab	15,7 ab	105,2	8,2
B 76-259	21,5 b	18,6 b	86,6 b	14,0 ns	120,4 b	129,3 ab	15,6 ab	104,4	8,3
LAICA 05-805(t)	20,7 b	18,1 b	87,4 ab	13,4 ns	120,1 b	123,7 b	14,9 ab	100,0	8,3
LAICA 08-808	21,6 b	18,9 b	87,6 ab	14,0 ns	123,2 b	120,3 b	14,8 ab	99,2	8,1
LAICA 07-801	20,2 b	18,2 b	89,7 ab	13,8 ns	120,5 b	119,8 b	14,4 b	96,7	8,3
Promedio	**21,7**	**19,2**	**88,7**	**14,1**	**126,2**	**126,6**	**16,0**		
% CV	**3,31**	**5,04**	**2,63**	**5,89**	**6,05**	**6,73**	**10,59**		

Primera cosecha. Pérez Zeledón, Costa Rica 2014√

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes según Tukey 5%.
PRT: porcentaje de variación respecto al testigo para la variable t azúcar/ha.

Primera soca

Para el segundo año del ensayo, se presentaron diferencias estadísticas significativas en toneladas de caña y toneladas de azúcar por hectárea con respecto al testigo LAICA 05-805 (cuadro 3). En ambas variables la variedad RB 98-710 presentó los más altos niveles de la prueba comparativa, donde obtuvo 161 toneladas de caña y 21,1 toneladas de azúcar por hectárea, superando en un 57,4% a la variedad testigo para esta variable. La variedad LAICA 08-808 presento diferencias estadísticas significativas respecto al testigo en la variable toneladas de azúcar por hectárea, lo mismo que con respecto a las variedades LAICA 10-804 y B 76-259.

Al igual que en la primera cosecha, el mejor rendimiento industrial se obtuvo con la variedad LAICA 10-804 con 137,8 kg de azúcar por tonelada en la variedad. No obstante, esta variedad presentó un bajo rendimiento de campo respecto a las otras variedades evaluadas, debido a presencia de corcho por la alta floración.

Cuadro 3.

Resultados agroindustriales de la prueba comparativa de siete variedades de caña de azúcar.
Segunda cosecha. Pérez Zeledón, Costa Rica, 2015

Variedad	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	Fibra (%)	Rendimiento industrial (kg azúcar/t)	Caña (t/ha)	Azúcar (t/ha)	PRT	Relación Sacarosa
RB 98-710	23,0 ab	20,1 ab	87,5 b	13,9 b	131,2 ab	161,0 a	21,1 a	157,4	7,6
LAICA 08-808	22,5 abc	20,5 ab	91,18 a	14,1 b	135,5 ab	122,0 bc	16,5 b	123,2	7,4
LAICA 07-801	21,1 c	18,9 b	89,5 ab	14,5 ab	122,8 b	125,2 b	15,5 bc	115,3	8,1
SP 78-4764	22,4 abc	20,2 ab	90,2 ab	14,4 ab	131,9 ab	107,7 cd	14,2 bc	105,7	7,6
LAICA 05-805 (t)	22,1 bc	19,7 ab	89,1 ab	15,3 a	125,0 ab	107,0 cd	13,4 c	100,0	8,0
LAICA 10-804	24,0 a	21,2 a	88,6 ab	14,4 ab	137,8 a	96,9 d	13,4 c	99,6	7,2
B 76-259	21,9 bc	19,3 ab	88,4 ab	14,7 ab	124,1 b	82,48 d	12,8 c	76,3	8,0
Promedio	**22,4**	**20,1**	**89,2**	**14,5**	**129,77**	**114,59**	**14,91**	**111,1**	**7,7**
% CV	**2,7**	**3,59**	**1,39**	**2,34**	**3,61**	**6,29**	**7,42**		

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes según Tukey 5%.
PRT: porcentaje de variación respecto al testigo para la variable t azúcar/ha.

Segunda soca

Los resultados obtenidos en la tercera cosecha se pueden observar en el cuadro 4. Esta información confirma que la variedad más productiva (t caña/ha) continúa siendo la RB 98-710, aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas con el testigo LAICA 05-805 y la variedad LAICA 07-801 y si respecto a los otros clones evaluados. En el rendimiento industrial la variedad LAICA 10-804 (145,23 kg/t) presenta el mejor resultado mostrando diferencias estadísticas solo respecto a la B 76-259. Este comportamiento es muy reiterado en este material por lo que confirma su alto valor industrial; aunque continua con bajo tonelaje de caña inducido por la alta floración.

Para la variable agroindustrial (t azúcar/ha), la variedad RB 98-710 presentó diferencias estadísticas solo respecto a la variedad LAICA 08-808. Al igual que en resultados de las dos cosechas anteriores, la RB 98-710 presentó los más altos niveles de productividad, obteniendo 19,5 toneladas de azúcar por hectárea, superando en un 24,1% a la variedad testigo para esta variable. Para los demás tratamientos, para la misma variable; solo la variedad LAICA 07-801 supera al testigo en un 2,4%. Las demás disminuyeron su productividad por debajo del testigo.

Cuadro 4.

Resultados agroindustriales de la prueba comparativa de siete variedades de caña de azúcar.
Tercera cosecha. Pérez Zeledón, Costa Rica, 2016

Variedad	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	Rendimiento industrial (kg azúcar/t)	Caña (t/ha)	Azúcar (t/ha)	PRT	Relación Sacarosa
RB 98-710	23,5 ns	20,7 ns	88,1 ns	137,1 ab	141,8 a	19,5 a	124,1	7,3
LAICA 07-801	23,1 ns	20,8 ns	89,9 ns	138,3 ab	116,0 abc	16,1 ab	102,4	7,2
LAICA 05-805	22,1 ns	19,7 ns	89,3 ns	128,8 ab	121,8 ab	15,7 ab	100,0	7,8
LAICA 10-804	24,8 ns	22,3 ns	89,9 ns	145,2 a	99,4 bc	14,4 bc	92,0	6,9
SP 78-4764	23,1 ns	20,5 ns	88,6 ns	130,5 ab	109,2 bc	14,2 bc	90,4	7,7
B 76-259	23,0 ns	19,4 ns	84,5 ns	122,6 b	113,2 bc	12,1 bc	77,4	8,2
LAICA 08-808	23,9 ns	20,2 ns	84,6 ns	128,7 ab	89,6 c	11,5 c	73,5	7,8
Promedio	**23,3**	**20,5**	**87,85**	**133,0**	**111,15**	**14,79**	**94,26**	**7,55**
% CV	**4,39**	**5,44**	**2,65**	**5,99**	**9,08**	**10,45**		

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes según Tukey 5%.
PRT: porcentaje de variación respecto al testigo para la variable t azúcar/ha.

Tercera soca

Para el cuarto año de cosecha de forma consecutiva (cuadro 5), podemos observar que se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la variedad RB 98-710 con el testigo LAICA 05-805 para la variable toneladas de azúcar por hectárea; además, esta variedad mostró diferencias respecto a B76-259, LAICA 10-804 y LAICA 08-808. En las otras variables no se encontraron diferencias significativas, aunque como sucedió en las tres cosechas anteriores la variedad RB 98-710 continúa como la más productiva desde el punto de vista agroindustrial y el clon LAICA 10-804 presento el rendimiento industrial más alto con 127,79 kg azúcar/t; manteniendo el comportamiento de años anteriores.

Al analizar los resultados se observa que la variedad RB 98-710 continua como la variedad de mejor comportamiento; con 17,38 t azúcar/ha; representando ello un 31,4% más de azúcar por área respecto a la variedad testigo (LAICA 05-805). Además, se observa que esta se ha mantenido como la variedad de caña de azúcar más productora en cada una de las cosechas realizadas. La variedad LAICA 07-801, es en orden la segunda en rendimiento; superando al testigo en 12,4% para la variable de rendimiento agroindustrial (t azúcar/ha); siendo un material importante a considerar.

En esta cuarta cosecha, también se observa como LAICA 07-801 y SP 78-4764 fueron superiores al testigo en toneladas de caña y de azúcar por hectárea aunque no presentaron diferencias estadísticas significativas, pero hace que estas dos variedades se coloquen como posibles materiales en un futuro cercano.

Se logra observar la estabilidad productiva de las variedades RB 98-710 y con LACIA 07-801 durante las socas, lo que es muy importante en el manejo de plantaciones de caña de azúcar.

Cuadro 5.

Resultados agroindustriales de la prueba comparativa de siete variedades de caña de azúcar.
Cuarta cosecha. Pérez Zeledón, Costa Rica, 2017

Variedad	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	Fibra (%)	Rendimiento industrial (kg azúcar/t)	Caña (t/ha)	Azúcar (t/ha)	PRT	Relación Sacarosa
RB 98-710	20,73 ns	17,84 ns	85,98 ns	13,57 ns	120,45 ab	144,45 a	17,38 a	131,37	8,31
LAICA 07-801	20,38 ns	17,52 ns	85,72 ns	14,05 ns	120,5 ab	123,7 ab	14,87 ab	112,40	8,32
SP 78-4764	19,81 ns	17,19 ns	86,61 ns	13,69 ns	119,5 b	119,5 ab	14,3 ab	108,09	8,36
B 76-259	20,63 ns	18,2 ns	88,19 ns	13,36 ns	121,15 ab	115,06 ab	13,94 b	105,37	8,25
LAICA 05-805	19,93 ns	17,48 ns	87,71 ns	14,62 ns	112,24 ab	118,02 ab	13,23 bc	100,00	8,92
LAICA 10-804	21,77 ns	19,66 ns	90,28 ns	14,65 ns	127,79 a	97,68 b	12,35 bc	93,35	7,91
LAICA 08-808	19,56 ns	17,01 ns	86,83 ns	14,58 ns	107,8 b	98,27 b	10,5 c	79,37	9,36
Promedio	**20,40**	**17,84**	**87,33**	**14,07**	**118,49**	**116,67**	**13,80**	**104,28**	**8,49**
% CV	**5,09**	**7,7**	**3,03**	**5,51**	**6,58**	**11,19**	**8,71**		

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes según Tukey 5%.
PRT: porcentaje de variación respecto al testigo para la variable t azúcar/ha.

Promedio de cuatro cosechas

Luego de cuatro cosechas, se observan materiales muy valiosos para la Región Sur de Costa Rica como lo es la variedad RB 98-710 que presentó diferencias estadísticas significativas respecto al testigo (LAICA 05-805); con incrementos de 35,5% para la variable agroindustrial toneladas de azúcar por hectárea (t azúcar/ha). Para esta misma variable los clones LAICA 07-801 y SP 78-4764 mostraron comportamientos superiores al testigo, aunque no tuvieron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 6.

Resultados agroindustriales de la prueba comparativa de siete variedades de caña de azúcar.
Promedio de cuatro cosechas. Pérez Zeledón, Costa Rica, 2017

Variedad	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	Fibra (%)	Rendimiento industrial (kg azúcar/t)	Caña (t/ha)	Azúcar (t/ha)	PRT	Relación Sacarosa
RB 98-710	22,33 b	19,53 b	87,39 b	13,76 ns	129,6 b	149,59 a	19,4 a	135,5	7,71
LAICA 07-801	21,21 c	18,84 b	88,68 ab	14,12 ns	125,52 b	121,16 b	15,21 b	106,2	7,97
SP 78-4764	21,68 bc	19,21 b	88,49 ab	14,22 ns	126,03 b	116,17 bc	14,6 b	102,0	7,96
LAICA 05-805	21,2 c	18,75 b	88,38 ab	14,43 ns	121,53 b	117,63 bc	14,32 b	100,0	8,21
LAICA 10-804	23,68 a	21,44 a	90,52 a	14,65 ns	139,54 a	102 c	14,23 b	99,4	7,17
LAICA 08-808	21,87 bc	19,14 b	87,52 b	14,23 ns	123,81 b	107,53 bc	13,34 b	93,2	8,06
B 76-259	21,73 bc	18,88 b	87,07 b	14,04 ns	121,79 b	106,75 bc	12,98 b	90,6	8,22
Promedio	**21,96**	**19,40**	**88,29**	**114,21**	**126,83**	**117,26**	**14,87**		
% CV	**3,95**	**5,51**	**2,71**	**5,33**	**6,13**	**11,42**	**13,53**		

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes según Tukey 5%.
PRT: porcentaje de variación respecto al testigo para la variable t azúcar/ha.

Algo que cabe rescatar a través de todas las cosechas, es el alto rendimiento industrial de la LAICA 10-804, que siempre fue la variedad más azucarera y que en promedio obtuvo 139,54 kg de azúcar por tonelada métrica de caña (figura 1); lo cual permitirá utilizarla en programas de mejoramiento genético por su potencial azucarero, además de permitir ser utilizada en siembras comerciales bajo condiciones de baja floración o cosecha temprana.

La variedad RB 98-710 nos permite obtener una mayor cantidad de azúcar por área, aumentando la rentabilidad y productividad de las fincas, lo cual es el objetivo del programa de variedades DIECA-LAICA, siendo este clon una nueva opción material para la región junto con las variedades ya comerciales.

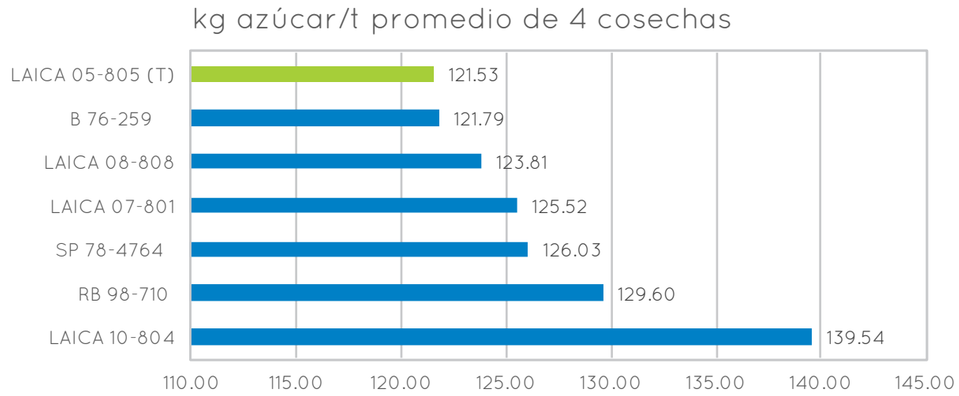

Figura 1.

Rendimiento industrial (kg azúcar/t) de siete variedades de caña de azúcar Pérez Zeledón.
Promedio cuatro cosechas, 2017

Otro aspecto a considerar, es el alto porcentaje de variedades sigla LAICA evaluadas (57%), lo que demuestra la gran adaptación de éstos en la Región Sur; resaltando además la importancia que tiene la implementación de cruzamientos nacionales en la estrategia de evaluación y selección de materiales a nivel local.

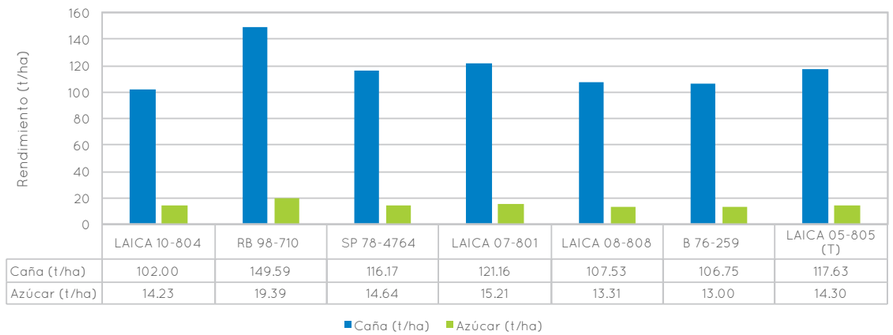

Figura 2.

Datos agroindustriales de las variables de tonelaje de caña y azúcar por hectárea de siete variedades de caña de azúcar Pérez Zeledón, promedio cuatro cosechas, 2017.

Curvas de madurez

Las parcelas de la curva de madurez, se encontraban situadas a un lado de la prueba comparativa de variedades y la misma recibió el mismo manejo del ensayo. El muestreo inicio en diciembre cuando el laboratorio del ingenio El General inicia análisis de madurez pre-zafra, prolongándose hasta marzo; analizándose 3 muestras por variedad cada 15 días. En este ensayo, se presentan las curvas de madurez de cuatro variedades de caña de azúcar, que han mostrado los mejores rendimientos agroindustriales en comparación con el testigo LAICA 05-805.

Se observa en la figura 3, LAICA 07-801 muestra las condiciones más favorables al poseer rendimientos altos a través de la zafra, ya que desde febrero a marzo brinda altos rendimientos, por lo que su cosecha se debe realizar entre el segundo y último tercio de la zafra. Su rendimiento más alto se presentó en la primera quincena de marzo con 141,86 kg azúcar/t. La variedad SP 78-4764 posee una maduración similar a LAICA 07-801, alcanzando su potencial azucarero en el mes de febrero con 127,72 kg azúcar/t y puede ser cosecha en el segundo tercio de la zafra. Ambas variedades presentan alto potencial azucarero. En cambio, el testigo LAICA 05-805 es una variedad del último tercio de la zafra, por presentar una maduración tardía.

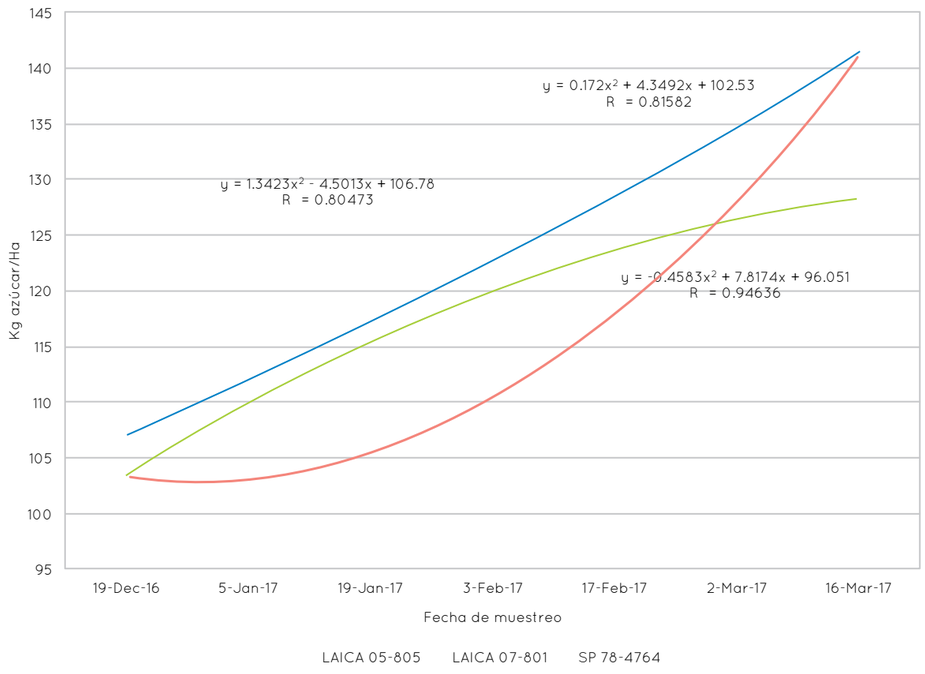

Figura 3.

Curvas de madurez de las variedades (kg azúcar/t) de las variedades LAICA 07-801 y SP 78-4764 en comparación con el material testigo, Pérez Zeledón, San José, 2017

La figura 4 muestra como la variedad LAICA 10-804 es la que presenta el potencial azucarero más alto a mediados de zafra, alcanzando 140 kg de azúcar por tonelada de caña en el mes de febrero. Debido a esta característica su momento apto de cosecha se puede considerar en el segundo tercio de zafra, debido a que va disminuyendo su rendimiento como va finalizando la misma. Es importante tener en cuenta la floración alta que ha presentado en la última cosecha por lo que debe sembrarse con prudencia y realizar la cosecha al inicio de zafra, para evitar el descenso del tejido corchoso, y por ende la perdida de los azucares por la alta floración. La variedad RB 98-710, se mostró como la variedad más importante, que posee una maduración en el último tercio de la zafra con rendimientos industriales de 134,75 kg azúcar/t. De acuerdo al censo cañero 2016; existen 83,6 Has (1,83%) de este material entre siembras semi-comerciales y semilleros básicos.

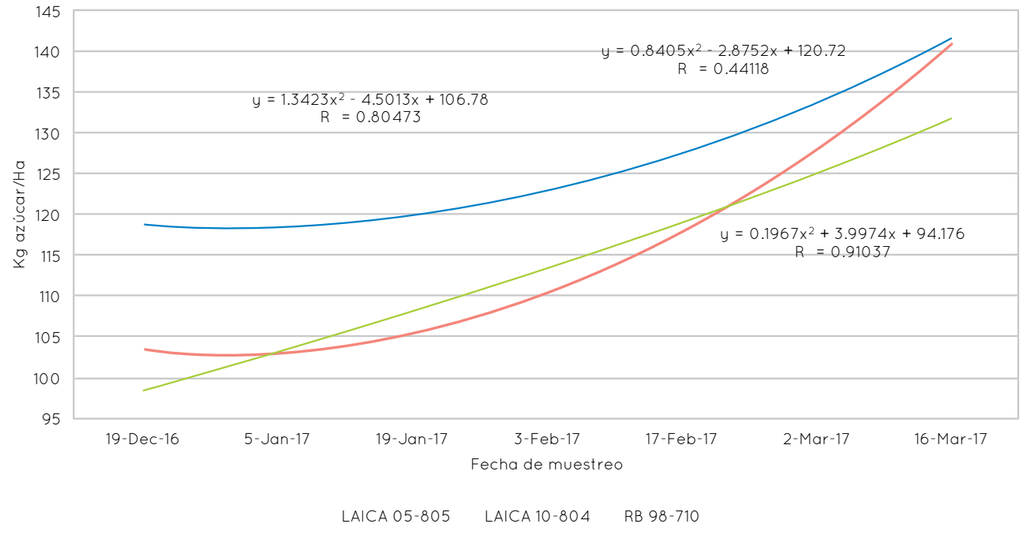

Figura 4.

Curvas de madurez de las variedades (kg azúcar/t) de las variedades LAICA 10-804 y RB 98-710 en comparación con el material testigo, Pérez Zeledón, San José, 2017

Conclusiones

- La variedad RB 98-710 demostró tener las características agroindustriales aptas para la Región Sur de Costa Rica, donde logró superar en un 35,5% en toneladas de azúcar por hectárea a la variedad testigo (LAICA 05-805) promedio de 4 cosechas.

- Se obtuvieron resultados muy importantes con respecto a las variedades nacionales sigla LAICA como fueron los materiales LAICA 07-801 y LAICA 10-804 que presentaron muy buenos rendimientos industriales, las cuales se van a mantener en valoración para conocer más su comportamiento en siembras semicomerciales.

- Algo muy relevante es haber obtenido tres materiales que superaron al testigo (LAICA 05-805) desde el punto de vista agroindustrial, como los son RB 98-710, LAICA 07-801 Y SP78-4764; lo cual aumenta las posibilidades de encontrar nuevas variedades para la región. No obstante es importante destacar que solo la RB 98-710 presento diferencias estadísticas significativa al comparar con el testigo.

- En la curva de madurez, la RB 98-710 y LAICA 05-805 presentaron su máximo potencial azucarero en el último tercio de la zafra; LAICA 07-801 y SP 78-4764 entre el segundo y último de la zafra. LAICA 10-804 madura y alcanza su potencial en el segundo tercio, siendo este un aspecto vital para la fábrica y así poder iniciar zafra con variedades de buenos rendimientos.

- Cabe destacar, que aunque el testigo LAICA 05-805 fue superado estadísticamente por la RB 98-710, continua como un material vigoroso y totalmente apto para la región, siendo el más importante actualmente.

Literatura citada

Barrantes, JC; Durán, JR. 2012. Análisis de la productividad de la agroindustria azucarera en la Región Sur de Costa Rica, asociado al cambio varietal. Período 1974-2012. V Congreso de DIECA Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), celebrado del 5 al 7 de setiembre de 2012 en las instalaciones de Cooperativa Victoria, Grecia, Costa Rica.

Chavarría, E; Barrantes, JC; Villalobos, CL; Valverde, W. 2015. Actualización de la reacción a la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) de las principales variedades comerciales y promisorias de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en ciclo de caña planta en Costa Rica. Revista Entre Cañeros N° 4. 30 de Abril. pp. 36-52.

Cháves, M; Bermúdez, L; Méndez, D. 2016. Análisis de resultados agroindustriales finales de la zafra 2015-2016. Conexión Enero - Diciembre N° 10. Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). San José Costa Rica. 41 p.

Di Rienzo, J.A; Casanoves, F; Balzarini, M.G; González L; Tablada M; Robledo C.W. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

Marcano, M; Rivas, E; Manrique, U; García, M; Salcedo, F; Mark, D. 2005. Prueba de ocho variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) bajo condiciones de secano en un suelo de sabana del estado Monagas, Venezuela. Revista UDO Agrícola 5 (1): 54-61.

Oviedo, M; Durán, JR. 2015. Impacto de las Variedades LAICA en las diferentes Regiones Cañeras de Costa Rica. VI Congreso Tecnológico del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA) Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA) 20 y 21 de agosto del 2015. Salón de Asambleas de CoopeVictoria R. L., Grecia. Alajuela, Costa Rica.

Agradecimiento

Es justo reconocer todo el apoyo logístico brindado por la empresa CoopeAgri R.L. en la ejecución de esta investigación; empezando desde su equipo técnico hasta los encargados de campo; quienes brindaron su apoyo incondicional; siendo ellos parte importante de los resultados obtenidos. A todos, Gracias.

LA COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LA CAÑA DE AZÚCAR

Marco A. Chaves Solera[1]

Introducción

Los grandes retos y desafíos impuestos por la sociedad y los sistemas productivos a la agricultura en los tiempos actuales, situados y contextualizados paradójicamente en un entorno lleno de limitantes y dificultades de diferente naturaleza y magnitud, contribuyen ostensiblemente a forjar grandes desarrollos agro empresariales, así como a elevar las capacidades institucionales y tecnológicas; pero también, a generar adicionalmente consecuencias poco favorables y contributivas a la sostenibilidad socioeconómica y la estabilidad del ecosistema.

Entre las causas, orígenes germinales e implicaciones generadas por la forma en que opera el sistema social, el entorno comercial y productivo actual, se tienen las siguientes:

1) Políticas alimentarias agresivas, deshumanizadas y llenas de imperfecciones comerciales virtud de los condicionamientos, ventajas y fuerte competencia impuesta por las nuevas formas de negociar productos agropecuarios a nivel mundial (bloques comerciales, tratados, acuerdos, transnacionales, normas técnicas, intermediación, etc.). La meta importante es vender y ganar mucho dinero.

2) Razones de carácter ambiental, crecimiento y desplazamiento urbano, motivos de índole financiero, comercial y las mayores necesidades alimentarias de una población creciente, han promovido la expansión de la frontera agrícola.

3) La ampliación de la frontera agrícola ha obligado y conducido a su vez al desplazamiento de la agricultura hacia áreas más frágiles y productivamente limitantes por motivos de clima, relieve, fertilidad de los suelos, disponibilidad de agua y mano de obra calificada; además de la consabida carencia de servicios básicos para producir eficientemente.

4) Las metas alimentarias y empresariales han conducido a la apropiación de sistemas productivos tecnológicamente más eficientes pero colateralmente más degradantes, virtud de tener más condicionantes que atender, satisfacer y superar.

5) Las exigencias y los retos productivos y financieros actuales son incuestionablemente cada vez más elevados y difíciles de alcanzar.

6) La agricultura se torna actualmente más intensiva y competitiva sin considerar la naturaleza de la actividad.

7) La carencia e insuficiencia de suficiente mano de obra calificada, obliga buscar opciones alternativas, siendo la mecanización la más cercana. Una cosechadora de caña representa por ejemplo, la labor realizada por 100 cortadores de caña. Aporcar una hectárea de caña implicaba aproximadamente 120 horas manuales (con pala), lo que ahora se realiza en dos horas de mecanización.

8) Los indicadores meta son imperativos asociados con la eficiencia en todos los ámbitos: productivo (t/ha, kg/t caña, kg/t miel), económico (¢/ha, ¢/t, ¢/kg), mecanización (ha/hr, ¢/ha), insumos (kg o l/ha), social (personas/ha, hr hombre/ha, ¢/ha, ¢/t,), entre muchos otros. El indicador meta es lo importante.

[1]Ingeniero Agrónomo, MSc. Gerente. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA), Costa Rica. E-mail: mchavezs@laica.co.cr. Teléfono (506) 2284-6066 / (506) 2284- 6067 / Fax (506) 2223-0839. Diciembre del 2017.

9) La calidad final asociada con la mayor eficiencia, mayores ingresos, menores costos como determinantes de una mayor productividad, rentabilidad y competitividad, son los eslabones de la agrocadena productiva y agroalimentaria a seguir.

10) La imperiosa necesidad de producir más y mejor condiciona insoslayablemente la necesidad de mecanizar procesos, a lo cual cabe preguntarse ¿Es por necesidad real, moda, negocio o por imposición? Cualquiera sea la motivación, tecnificar y mecanizar procesos es una realidad y una necesidad incuestionable.

11) Lo anterior habilita la influencia e intervención de claros intereses comerciales (maquinaria, insumos, tecnología) orientados a favorecer, promover y posicionar la iniciativa mecánica.

12) Limitado criterio técnico en la adquisición y uso de equipos mecánicos (sobredimensionamiento).

13) No hay duda en reconocer que los entornos productivos cualquiera sea la actividad, son ahora más difíciles y limitantes para mecanizar por causa de las altas pendientes, presencia de texturas problemáticas (arenosas o arcillosas), alta o poca humedad, presencia de piedra, estructura del suelo, necesidad de equipos más potentes.

14) El imperativo y obligación de tener que producir más a un menor costo provoca y favorece muchas veces poca conciencia en los efectos, consecuencias y naturaleza del impacto provocado al ecosistema.

Las razones anteriores conducen casi inexorablemente a la imperiosa necesidad de mecanizar, y ello, a la posibilidad de provocar efectos inconvenientes en la física, la química y la biología de los suelos. No hay duda alguna en reconocer en este sentido, que la compactación se constituye en una de las manifestaciones de degradación física de suelos más grave que existe, pues genera por derivación afectaciones por erosión, infertilidad, improductividad y hasta desertificación.

Formas de mejorar un suelo

La importancia del suelo trasciende su uso agrícola y adquiere un carácter especial virtud de sus múltiples y variadas concepciones, usos y aplicaciones, como lo concibieran Thompson et al (2002), al manifestar que *"El contacto del hombre con el suelo es tan universal que cada persona tiene su propio concepto de su naturaleza. Para un ingeniero, puede ser material de construcción o de fundación para edificar. Para un agricultor es un medio de cultivo. El niño lo utiliza para hacer muñecos de barro, y para su madre es la suciedad en las manos y vestidos que debe lavarse. Para todos nosotros, el suelo es la fuente de donde proviene nuestro alimento, vestido y abrigo.... La vida es esencial para el suelo y el suelo para la vida."*

Resulta cierto y está suficientemente demostrado que un suelo puede mejorarse aunque también deteriorarse, caso no se maneje con la prudencia y eficiencia técnica requerida, lo cual implica tener presente que:

- Considerar que el mayor capital que un agricultor posee, está concebido y materializado en un alto grado en su suelo, razón suficiente para apreciarlo, mejorarlo y tratarlo como un valioso activo.

- Tener conciencia plena de que un suelo puede mejorarse pero también deteriorarse por causas naturales o por un mal manejo originado en el desinterés, el desconocimiento, la irreflexión, el descuido y la impericia técnica en su manejo.

- Razonar que hacer efectiva cualquier mejora en el suelo, implica necesariamente realizar inversiones importantes y, sobre todo, dejar transcurrir algún tiempo para tener efectos consistentes, como acontece con el incremento en el contenido de materia orgánica. Una afectación por el contrario, puede darse en muy corto plazo por causas naturales, descuido o por mal manejo.

- Evitar prácticas que conduzcan a laborar en exceso y sobre mecanizar los terrenos.

- Realizar una labranza y preparación del terreno muy técnica, equilibrada y prudente.

- Incorporar de manera sistemática y continua materia orgánica mineranizable.

- Emplear equipos apropiados a las condiciones y necesidades particulares y reales de la finca y el terreno.

- Subsolar de manera adecuada con equipos apropiados y dimensionados a las necesidades reales del campo y la actividad.

- Realizar labores adecuadas orientadas a favorecer la conservación del suelo.

- Incorporar criterios de manejo de plantaciones apegados a las *"Buenas prácticas Agrícolas (BPA)"*. La adopción de prácticas conservacionistas aportan valor a la producción y al suelo.

- Incorporar sistemáticamente al menos de manera restitutiva los nutrimentos extraídos por la planta de caña de manera continua, con lo cual se le da mantenimiento y sostenibilidad al potencial nutricional natural del suelo.

- Para lograr un uso prudente de los suelos buscando su optimización productiva, resulta conveniente adecuar los mismos mediante el uso de enmiendas orgánicas (coberturas vegetales, asocio de plantas, uso de residuos) y minerales (calcáreos, yeso, azufre) y la adopción de prácticas de manejo en esa misma orientación como puede ser la rotación de cultivos (caña-arroz).

¿Qué es compactación?

La **compactación** es definida como una disminución ocasionada en el volumen del suelo por causa de compresión del mismo, generando un ordenamiento y reacomodo más denso de las partículas del suelo y, con ello, consecuentemente una significativa reducción de la porosidad. Es entendida como la compresión de una masa de suelo no saturado en un volumen menor, aumentando con ello la densidad por compresión de las partículas sólidas y reduciendo por reacomodo el tamaño de los poros por compresión del contenido líquido y gaseoso dentro del espacio poroso, los cuales son expulsados. Se cataloga como una acción de naturaleza antrópica virtud de ser provocada por la actividad humana. Se define de manera simple como la compresión de un suelo no saturado acompañado por la expulsión del aire.

En adición a la compactación existe un efecto similar conocido como **adensamiento** que resulta importante conocer, virtud de que sus implicaciones productivas, muy similares a los de la compactación, corresponde a una reducción natural del espacio poroso y un consecuente aumento de la densidad de las camadas u horizontes del suelo por causa de la desecación, la iluviación (deposición de un material removido de un horizonte superior a uno inferior en el perfil del suelo, ej. arcillas, materia orgánica, óxidos de Fe y Al) o la precipitación inducida por causas de origen química; inclusive la provocada por el impacto de las gotas de lluvia. El adensamiento se da cuando por causa de la compresión hay expulsión del aire y el agua de los poros del suelo.

Virtud de ser originado por procesos pedogenéticos, se le considera como un efecto provocado por causas naturales, lo que marca una diferencia sustantiva con respecto al efecto anterior, siendo por ello de control relativo. Poco se habla de este concepto pero sus efectos y consecuencias son muy similares a las provocadas por la compactación.

¿Cómo se origina la compactación en los suelos agrícolas?

La compactación está influenciada por el tipo, localización e intensidad de las fuerzas que intervienen el proceso, pues impactos directos destruyen agregados, afectan el tamaño, la distribución y continuidad porosa generando compactación. Las razones que provocan la compactación son diversas en su origen y manifestación, pues las hay: a) Naturales: como se anotó en el caso del adensamiento y b) Inducidas: por acción del hombre al realizar las labores vinculadas con la agricultura como es su labranza, el tráfico de equipos mecánicos, el pisoteo de animales, la baja rotación de cultivos, la sobreproducción, el manejo inadecuado y la sobreproducción, entre otras. Algunos las ubican en fuerzas que cambian la estructura del suelo en escalas diferenciadas modificando su porosidad, clasificadas como de origen: a) **Externo**: tráfico de animales, equipos mecánicos, personas y las provocadas por el agua y, las b) **Internas**: vinculadas a ciclos de humedecimiento y secado, contracción y expansión de la masa del suelo.

Como se infiere, los factores inductores de compactación en un suelo son por sus orígenes diversos y de impacto variable, en consideración de que la compresión que ejercen sobre un volumen de suelo es también diferente. El efecto provocado por el paso de un equipo mecánico es mayor al de un hato ganadero. Cualquier práctica, acción o actividad que fomente la pérdida de materia orgánica, altere la textura, rompa los agregados del suelo y debilite la estructura del suelo, resulta negativa; lo contrario por consecuencia es muy favorable.

Para una misma condición, la humedad es el factor que determina la cantidad de deformación que puede acontecer en un suelo ante una compresión, reflejándose en su densidad inicial y en el estado de compactación final. De esta forma, cuando los suelos están más secos, su capacidad de soporte de carga puede ser suficiente para tolerar presiones sin generar índices de compactación significativos; mientras que cualquier presión excesiva es perjudicial para las plantas cultivadas en condiciones de alta humedad ocasionando reducción de la producción. Un suelo seco tiene mayor tolerancia al tráfico y la compactación que uno húmedo. Se ha comprobado que las capas compactadas del suelo se rompen de forma natural al pasar de húmedo a seco como acontece con los suelos arcillosos (efecto Gilgai que induce deformación).

El punto crítico en relación a la susceptibilidad del suelo a compactarse, reside en definir cuando se está con una humedad adecuada para realizar las operaciones mecanizadas; así como también, estimar con alguna certeza cuanta deformación se dará cuando las presiones aplicadas excedan su capacidad de soporte de carga. De esta forma, la humedad adecuada indicará la máxima presión que el suelo puede soportar sin que la compactación ocurra, caso contrario, será considerado húmedo. El Cuadro 1 muestra los diferentes estados de consistencia y capacidad de soporte de carga del suelo en función del contenido de humedad; con lo cual es posible estimar los niveles de presión que pueden ser aplicados a los suelos conforme al grado de humedad existente, evidenciando que aún en zona de friabilidad puede ocurrir un estado de compactación importante dependiendo de la humedad. La densidad del suelo se incrementa cuando la fuerza de compactación es constante y se aumenta adicionalmente el contenido de humedad, hasta alcanzar un máximo conocido como Humedad Óptima; valor que es diferente al de Capacidad de Campo empleado en asuntos agronómicos, lo que se debe saber diferenciar y aplicar en el campo. Es conocido que la presión ejercida por la llanta se trasmite mejor y a mayor profundidad en suelos húmedos, lo que se acentúa con el peso del equipo.

Cuadro 1.

Consistencia, resistencia a la preparación, capacidad de soporte de carga y resistencia a la compresión del suelo de acuerdo con el contenido de humedad.

Propiedad	Estado sólido		Estado Semi-sólido		Estado Plástico		Estado Líquido
		LC		LP		LL	
	→ + Humedad						
Consistencia	Duro		Friable		Plástico		Líquido
Resistencia a la preparación	Alta		Baja		Media		Muy baja
Capacidad soporte de carga	Alta		Alta a moderada		Baja		Muy baja
Resistencia a la compresión	Muy alta		Alta a moderada		Baja		Alta

Fuente: Larson et al (1994) modificado.

LC = Límite de contracción, LP = Límite de plasticidad, LL = Límite de liquidez

Se considera que la mayor intensidad de compactación acontece durante un estado de consistencia plástica, donde el contenido de agua es mayor a la capacidad de campo. Realizar labranza en suelos húmedos dará formación a *"piso de arado"*. El valor máximo de densidad, o sea de compactación, de un suelo está asociado a un nivel de humedad considerado óptimo para que esa condición acontezca, el cual está próximo de la capacidad de campo; el mismo debe ser obtenido para cada tipo de suelo con el objeto de evitar el trabajo con máquinas en esas condiciones.

Pese a que en la práctica de campo resulta difícil decidir, pues no existen métodos seguros, cuando las operaciones mecanizadas deben o no ser realizadas considerando las condiciones de humedad del suelo, se debe sin embargo ser muy prudente con el fin de evitar adoptar una decisión errónea al aplicar determinada presión, sin el conocimiento previo de su capacidad de soporte de carga para una condición de humedad dada. Es necesario evitar que la presión exceda esa capacidad generando una compactación adicional al suelo que aumente el problema; es por ello válido para esto:

1) Controlar el nivel de presión por eje de las máquinas agrícolas, lo que causará diferentes niveles de presión de contacto de las ruedas (llantas u orugas). Ruedas largas, anchas, dobles juntas o disminución de la presión de las llantas son algunas de las medidas a ser consideradas para disminuir esa presión de contacto.

2) Intervenir la operación de los equipos agrícolas, como es regular su velocidad de operación, las condiciones de humedad del suelo, tráfico controlado, número de pasadas y tipo de equipo empleado.

Síntomas visuales ocasionados por causa de la compactación

A) A nivel de suelo:

- Formación de costras superficiales.
- Aparecimiento de signos (huellas) en la zona de rodaje de los equipos mecánicos.
- Área superficial del suelo dura y compactada al tacto.
- Disminución severa de la conductividad hidráulica y tasa de infiltración del agua.
- Empozamiento superficial de agua por causa de los problemas de infiltración, aún con presencia de lluvias ligeras.
- Erosión hídrica excesiva, particularmente cuando hay pendiente que favorezca la escorrentía, la cual se ve incremetada.
- Presencia de residuos vegetales parcialmente descompuestos mucho tiempo después de su incorporación lo que denota baja mineralización.
- Aumento requerido y casi obligado en la potencia de los equipos para efectuar las labores de preparación y manejo del suelo.
- Mayor deslizamiento y patinaje de los equipos durante la labor.
- Desarrollo de suelos saturados (con poca aeración) equivalentes a la capacidad de campo.

B) A nivel de planta:

- Retardo en la emergencia de las plantas luego de efectuada la siembra.
- Plantas de tamaño comparativamente más pequeñas que lo normal.
- Variación y heterogeneidad en el crecimiento y tamaño de las plantas.
- Hojas con coloraciones no características y notoriamente salidas de normalidad.
- Evidente inhibición al desarrollo de las raíces, provocado por la disminución de la macroporosidad del suelo y el aumento en la resistencia del suelo a la penetración de las raíces, desviándolas a zonas de menor resistencia (terrones, fisuras).
- Raíces deformadas (aplanadas) que limitan su actividad fisiológica normal.
- Sistema radicular con desarrollo muy superficial preferencialmente horizontal y por tanto de muy limitada profundización y capacidad de anclaje.
- Mayor susceptibilidad al volcamiento de la plantación.
- Problemas de pérdida de turgencia más habituales y evidentes en las plantas que conducen a condiciones de estrés hídrico más prontos.
- Reducción de la producción.

Uso de equipos mecánicos en la agroindustria azucarera

Un recuento puntual de las actividades y prácticas de labranza y laboreo donde se utilizan equipos mecánicos que pueden ser inductores de problemas asociados con la compactación, revela que la cantidad y diversidad es amplia, aunque muy variada, pues está determinada y es dependiente de varias condiciones como: nivel de pendiente (topografía) existente; tipo de suelo dominante (orden y suborden); textura del suelo (arcilloso-arenoso); grado de pedregocidad; régimen y condiciones de clima (lluvia) prevalecientes en el lugar (ústico-údico); tamaño y área (ha) de la unidad productiva; capacidad financiera; disposición y capacidad de inversión; disponibilidad de mano de obra calificada; facilidad y disponibilidad de servicios existente en la localidad (alquiler, prestación de servicios de preparación, manejo y cosecha, etc.), entre otros.

Como se indicó y comentó al inicio, las demandas y desafíos tecnológicos, empresariales y comerciales actuales, orientan la gestión productiva hacia una mayor eficiencia y rentabilidad en una estructura de menores costos en todos los sentidos, lo que casi imperativamente conduce a su vez a mecanizar procesos como vía insoslayable para su logro.

Una revisión nacional ubica y sitúa el empleo de equipos mecánicos en varias etapas: 1) limpieza de áreas nuevas, acondicionamiento y preparación del terreno (rastras pesadas y tractores de llantas de 200-300 HP), 2) siembra de plantas, 3) mantenimiento del cultivo y 4) cosecha de la plantación. Para satisfacer ese objetivo se realizan de manera sistemática, entre otras, las siguientes labores de campo: descepado previo a preparación del terreno; levantamiento topográfico (cuadraciclos, vehículos); paso de rastra rompedora pesada; nivelación cuando el terreno (rufas, traillas) lo permite; corrección, aplicación e incorporación de enmiendas (encalamiento de suelos ácidos, aplicación de residuos como ceniza, cachaza y materia orgánica); subsolado de capas compactadas (subsolador y arado de cinceles); paso de arado (cincel a 30-35 cm de profundidad) que fractura el suelo y forma agregados (terrones); paso de rastra afinadora (120-180 HP) que reduce terrones grandes y empareja plantación; surcado y formación de cama para depositar semilla y sembrar; transporte en carretas pesadas, siembra y tapa (con tapador o pala) de la semilla (135 HP); control de malezas mediante aplicación de herbicidas (transporte agua, insumos y aplicadores); uso de sub escarificadores (3 cinceles) posteriores a la cosecha; riego (agua y vinazas) y drenaje (30-35 días luego de cosecha); transporte insumos y aplicación de fertilizantes en suelo húmedo; paso de escardillos; labor de desaporca y aporca con arado (cincel o discos); paso del cultivador (cincel o discos); cosecha de plantaciones mediante el uso de equipos combinados (eficiencia de ± 40 t/hr), alce mecánico y empleo de autovolteos o carretas para el transporte de la materia prima al ingenio y labor de remanga post cosecha.

Medición de la compactación y propiedades asociadas

Hay diversas formas de medir y evaluar la compactación de un suelo, algunas simples y sencillas otras muy sofisticadas y complejas, lo cual se fundamenta en la cantidad y calidad de los indicadores estudiados, entre los que destacan: *densidad aparente, densidad de partículas (real), textura, compresibilidad, resistencia a la penetración, porosidad, infiltración de agua, humedad, contenido de materia orgánica,* entre otros.

La **textura** descrita como la proporción relativa de partículas (< 2 mm) de arena (2-0,05 mm), limo (0,05-0,002 mm) y arcilla (<0,002 mm) presentes en el suelo, expresada en porcentaje, es una importante propiedad que determina la cantidad de área superficial expuesta y con ello la cantidad y tamaño de poros presentes. Al disminuir el tamaño de partícula, aumenta la cantidad total de área superficial expuesta y la cantidad total de poros individuales; es por esto, que la textura del suelo determina el área superficial disponible para la absorción de agua y nutrimentos, como también la cantidad y tamaño de los poros y, con ello, la cantidad y velocidad del aire y del agua en su movimiento por el perfil del suelo (infiltración, percolación). Es por esta razón que la velocidad con que ingresa el agua, el poder de suministro de agua, la fertilidad, la erosión y la aireación están estrechamente relacionados con la textura del suelo. Las partículas finas forman agregados muy fuertes debido a las cargas eléctricas superficiales que poseen, lo que explica sus propiedades plásticas y adhesivas. Un suelo de partículas finas (arcillas) puede ser fértil pero no productivo; en tanto que un suelo con partículas gruesas (arenas) es productivo pero poco fértil. Suelos con textura, constitución y disposición de partículas similar y del mismo tamaño, son menos susceptibles a sufrir de compactación, cuando comparados con aquellos donde la mezcla de arcilla, limo y arena es diferente; esto por cuanto, un particulado de tamaños diferentes se reordena y llena sus espacios porosos al ser sometida a una presión externa.

La **densidad aparente** es otro indicador importante empleado en la interpretación correcta de la compactación. La densidad es dependiente de la textura, de la densidad de partículas, el espacio poroso y el contenido de materia orgánica; como también, de la agregación del suelo. Se describe como la masa (peso) por unidad de volumen de suelo seco. El volumen aparente incluye el volumen de las partículas sólidas (minerales) del suelo y los espacios porosos expresado en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). Los suelos arenosos son relativamente bajos en espacio poroso total por lo que tienen densidades aparentes proporcionalmente altas, entre 1,2 a 1,8 g/cm^3; mientras que la de los limoso-arcilloso varía entre 1,0 y 1,6 g/cm^3. En profundidad un suelo presenta densidades más altas por contener menos materia orgánica, menor agregación y mayor compactación (menos espacio poroso). Un suelo denso puede alcanzar densidades aparentes iguales o superiores a 2,0 g/cm^3. Se considera un valor de 1,70 g/cm3 como crítico para suelos francos y franco arcillo-arenosos y de 1,4 g/cm^3 para los arcillosos, que en condición de capacidad de campo limitan el desarrollo de las raíces.

La **densidad de partículas** (real) es otra variable asociada a compactación que se define como la masa (peso) de una unidad de volumen de las partículas sólidas del suelo, expresada también en g/cm^3. A diferencia de la densidad aparente la densidad de partículas es muy estable en sus valores (2,55 a 2,75 g/cm^3) en consideración de estar compuesta mayoritariamente de cuarzo, feldespatos y silicatos coloidales. El tamaño y arreglo estructural de las partículas del suelo no la afectan; lo que si ocurre con la materia orgánica que puede disminuirla (2,4 g/cm^3). La densidad de partículas es por lo general inferior en la superficie respecto a horizontes interiores del perfil del suelo.

El **espacio poroso** es la porción de suelo que no está ocupada por partículas sólidas, sino por aire y agua. Este espacio está determinado por el arreglo que tengan las partículas sólidas en el suelo, sea aumentándolo o reduciéndolo. Un suelo arenoso posee entre 35 y 50% de espacio poroso total, mientras que en los suelos de texturas finas (limosos y arcillosos) varía de 40 a 60%, ratificando su mayor cantidad. Un suelo compactado puede presentar valores de espacio poroso total reducidos entre 25 y 30%. Existen dos tipos de espacio: macro y micro poros, cuya demarcación límite no es clara. Los macroporos operan en el transporte del agua y el aire, mientras que los microporos retienen y mantienen la humedad del suelo. En un suelo de textura arenosa dominan los macroporos favoreciendo el movimiento del aire y el agua; en uno de textura fina (limoso, arcilloso) dominan los microporos que tienen una alta capacidad de retener agua, siendo el movimiento de aire y agua más restringido. Una reducción de la macroporosidad disminuye la capacidad de aireación y oxigenación, crecimiento de raíces (boca de la planta) en el perfil del suelo (horizontal-vertical), con la subsecuente menor absorción de agua y nutrimentos esenciales que impactan significativamente la capacidad productiva del cultivo. Un exceso de agua por lluvia o riego puede provocar el mismo efecto.

La **estructura** es definida como la forma en que se ordenan y agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla en un suelo, por lo cual está directamente relacionada con la granulometría. El movimiento del agua en el suelo varía notablemente con la estructura presente, razón por la cual este indicador aporta información importante sobre el grado de circulación del agua o la permeabilidad del suelo. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan **agregados**.

La facilidad con que un suelo no saturado reduce de volumen cuando es sometido a presiones es conocido como **compresibilidad**, la cual depende de factores internos asociados al historial de tensión, humedad, textura, estructura, densidad inicial y contenido de carbono en el suelo; y externos como son el tipo, intensidad y frecuencia de la carga aplicada.

La **resistencia a la penetración** califica virtud de no ser específico de una condición, sitio y localidad particular, como acontece con otros indicadores; por lo que como un indicador universal, su uso es más conveniente para fines de interpretación. Es la resistencia y capacidad del suelo a ser removido y distorsionado al aplicar una fuerza externa, lo que impide la penetración de las raíces para superar la capa compactada, lo que se ve además muy limitado por la condición de poco oxigeno (anoxia) prevaleciente en el medio. Se ha citado por parte del USDA (Soil Survey Staff 1993) que el valor crítico de resistencia a la penetración que restringe el desarrollo de las raíces es superior a 2,0 MPa (Mega pascal) lo que parece razonable virtud de su fuente; otros investigadores consideran sin embargo que valores inferiores a 2,5 MPa son bajos (Cuadro 1), por lo que presuntamente presentan pocas limitaciones al desarrollo de las raíces de la caña. Es claro que el tema debe investigarse.

Resulta indiscutiblemente importante y necesario disponer de indicadores técnicos confiables, verificables, fáciles y oportunos de obtener, que permitan inferir e interpretar con certeza el estado real de compactación del terreno valorado.

Las curvas de compresión del suelo han sido ampliamente utilizadas para simular las reducciones de volumen del suelo. Dicha curva

representa la relación entre la presión aplicada (logaritmo) respecto a alguna característica relacionada con el arreglo de las partículas, como pueden ser el espacio poroso o la densidad. En un suelo que no sufrió compactación previa esa relación es lineal, y con la aplicación de más presión resultará en deformaciones no recuperables, ocasionando una compactación adicional.

Suelos texturalmente diferentes son potencialmente disímiles en cuanto a su condición y disposición a compactarse, pues entre mayor particulado fino representado por limo y arcilla tenga, traducido esto en una mayor porosidad de diámetros más pequeños (menor densidad aparente), mayor será la resistencia a la penetración y más afinidad tendrá a la compactación; contrario a lo que acontece con un suelo de texturas y partículas gruesas (arenas) de mayor densidad.

La densidad aparente, la porosidad y la resistencia a la penetración del suelo como factores asociados con la compactación, son propiedades físicas que se ha encontrado afectan directamente el desarrollo de las raíces, pese a lo cual se coincide también, en que conocer y realizar un buen manejo del agua es determinante como medida preventiva, lo cual debe ser realizado por drenaje o irrigación, siendo su objetivo final la modificación del grado de consistencia del suelo.

¿Cómo afecta la compactación del suelo la producción?

Como se anotó, los efectos de la compactación son detrimentales no apenas para la estabilidad del suelo, sino también para las actividades agropecuarias al intervenir la producción de los cultivos, como acontece particularmente con la caña de azúcar, en la cual hay reportes de afectación de hasta un 50% en suelos altamente compactados. La compactación causa el ingreso del material sólido en los poros del suelo, desplazando el aire contenido, con lo que se aumenta la densidad aparente. El impacto de una alta compactación resulta grave y se expresa en una significativa reducción de productividad agroindustrial, pues como es sabido, la caña es una planta productora de mucha biomasa, lo que requiere buen anclaje de raíces para evitar volcamiento, gran desarrollo radicular (lateral y en profundidad) por todo el perfil del suelo para sustentar la alta demanda hídrica y nutricional implicada. Estos elementos obligan disponer necesariamente de un suelo friable (al estrujarlo con los dedos en una prueba de consistencia las partículas de suelo se desagregan y desterronan), suelto, profundo, de buena textura y agregación dotado de buen espacio poroso, que permitan la aireación y el acúmulo de agua que promueva y dinamice la actividad de las raíces.

Sin desarrollo de raíces no existe ninguna posibilidad ni oportunidad de pretender alcanzar

altas y aún medianas producciones de caña de azúcar; este es un hecho objetivo y real, por lo que otra interpretación y aseveración resulta técnicamente incorrecta. Un suelo compactado tendrá bajos tonelajes de caña y consecuentemente bajas productividades agroindustriales; lo que tampoco asegura que un suelo sin compactación expresará lo contrario. La formación de una alta productividad inicia incuestionable e inexorablemente por el suelo, motivo y razón por la cual su adecuación y manejo óptimo es determinante.
La compactación interviene las propiedades físicas del suelo incrementando su densidad y su resistencia mecánica a la penetración, disminuyendo la porosidad total, el tamaño y la continuidad de los poros, principalmente los macroporos ya que los microporos parecen mantenerse inalterados. Puede limitar asimismo la adsorción y la absorción de nutrimentos, la infiltración y redistribución de agua, el intercambio gaseoso, como también, el desarrollo de raíces.

Las aradas y rastreadas, la aporca y desaporca, el paso de cinceles, el uso de escardillos y el subsolado lo que hacen básicamente es incrementar el espacio poroso del suelo, disminuyendo la densidad aparente y estableciendo un medio propicio para que el agua, el aire y las raíces puedan accionar. En cultivos de ciclo corto donde varias siembras sucesivas (hasta 3) se realizan durante el periodo anual, favoreciendo un tráfico de maquinaria importante, la compactación de la capa arable superficial es aliviada con las labores de preparación del suelo entre ellas el subsolado.
El Cuadro 1 presenta algunos límites de clase que ubican la resistencia medida en Mega pascales (Mpa), que puede mostrar un suelo a la penetración de las raíces, limitando con ello la productividad de las plantas.

Cuadro 1.

Límites de clases de resistencia de los suelos a la penetración y grados de limitación al crecimiento de las raíces.

Clases	Límites (Mpa)	Limitaciones al crecimiento radicular
Muy Baja	< 1,1	Sin limitación
Baja	1,1 – 2,5	Poca limitación
Media	2,6 – 5,0	Algunas limitaciones
Alta	5,1 – 10,0	Serias limitaciones
Muy Alta	10,1 – 15,0	Raíces prácticamente no crecen
Extremadamente Alta	15	Raíces no crecen

Mpa = Mega pascal

Adaptado por de Canarache (1990)

Como todo, algunos investigadores reportan efectos benéficos provocados por la reducción del volumen (compactación) de un suelo; atribuibles a la mejora en el contacto de la semilla con el sustrato, así como el aumento en la disponibilidad de agua en años secos. Es posible que los efectos benéficos sean causados por la aplicación de presiones menores respecto a la mayor presión a la cual el suelo estuvo sometido en el pasado. En el caso de los efectos negativos, parece viable una causa contraria a la anterior, donde la presión a la cual estuvo sometido el suelo fue superior en relación a las presiones sufridas con anterioridad. Por esta razón, es necesario y valioso siempre, conocer los niveles de presión soportados por el suelo en el pasado; como también, el grado de humedad existente al momento de realizar las operaciones agrícolas, procurando siempre que la compactación adicional sea evitada.

Medidas a considerar para resolver la compactación

La naturaleza, magnitud y características del problema generado por causa de la compactación de los suelos agrícolas, dificulta

encontrar una solución fácil, rápida, efectiva y consistente del mismo; pese a lo cual es prudente, importante y obligado adoptar y desarrollar acciones y prácticas en procura de su corrección o al menos mitigación, entre las cuales es viable y factible desarrollar las siguientes:

1) Verificar y asegurarse de previo que existen grados limitantes de compactación en el suelo, como criterio válido para justificar la necesidad de proceder con la labor de descompactación. Conocer antecedentes del suelo y su manejo resultan indiscutiblemente muy valiosos.

2) Definir el grado de humedad idóneo para trabajar eficientemente el suelo, pues la humedad constituye uno de los determinantes que intervienen en alto grado la susceptibilidad del suelo a la compactación.

3) Conocer, medir y establecer adicionalmente indicadores importantes como son la textura y la estructura del suelo, la densidad inicial, el espacio poroso y el contenido de carbono (MO) presentes en el sustrato.

4) Adquirir y emplear equipos mecánicos acordes y apropiados a las necesidades particulares de la finca, labor por ejecutar y tipo de suelo presente, sea en sus fases de preparación, manejo y cosecha de plantaciones; como también, equipos apropiados para descompactar suelos.

5) Definir la potencia (HP) requerida para movilizar los equipos mecánicos necesarios, lo cual debe ir asociado con la profundidad de trabajo deseada, el grado de resistencia mecánica esperado y las características del equipo implicado (peso, tipo).

6) Optimizar el uso de la maquinaria evitando el exceso de laboreo y el tráfico innecesario por el terreno y más aún sobre los surcos con plantas.

7) Reducir el efecto provocado por la presión de las llantas en el suelo, utilizando llantas más anchas, de mayor flotación o de rodaje duplo. Aumentar el tamaño y el ancho de las llantas resulta más efectivo para reducir cargas, densidad aparente y resistencia a la penetración de raíces que aumentar el número de ejes por equipo. La humedad del suelo es determinante en esta materia.

8) Controlar y ajustar la presión de aire de las llantas (menor presión implica menor compresión y ello menor compactación), regular la velocidad de operación del equipo (km/hr), como también el número de pasadas. Distribuir las cargas y pesos es recomendable.

9) De ser viable, es recomendable realizar un análisis previo (corte del suelo) al lote que se pretende subsolar, arar o rastrear, de manera que permita verificar la profundidad de compactación (piso de arado) y valorar el grado de resistencia interna del suelo, lo cual es de gran valía para la correcta y efectiva operación de los equipos mecánicos.

10) Virtud de su prevalencia, resulta obligado verificar la posible existencia del denominado *"pie o piso de arado"*, pues ello define la profundidad de trabajo.

11) En lo posible realizar labores que contribuyan a la mejora del suelo que sean técnicamente viables y efectivas en forma prudente y razonable, como es el caso del subsoleo, la arada y roturación de los suelos.

12) Definir con criterio técnico el nivel de profundización de los cinceles empleados para descompactar el suelo, lo cual está directamente vinculado con la profundidad habitual de laboreo del terreno. De no ser la apropiada el problema persistirá y posiblemente agravará con el tiempo. Se recomienda en nuestras condiciones profundizar al menos a 60 cm en el perfil del suelo, pues la zona de mayor actividad radicular se ubica entre 0 - 45 cm.

13) Alcanzar la profundidad deseada (60 cm) implica asegurar el peso requerido (kg) del equipo e implementos de trabajo utilizados, pues la relación en este caso es directa. Mucho de este problema existe en el país y viene claramente asociado al hecho de que pese a que la labor de campo se realiza, la profundidad efectiva lograda (cm) es muy inferior a lo deseado y pretendido, muchas veces porque el peso del equipo empleado no permite superar la resistencia impuesta por el suelo, lo que se expresa consecuentemente en

una menor profundización y persistencia del problema.

14) El distanciamiento de subsolado (cinceles) depende del tipo de suelo dominante y del grado de compactación existente, aunque lo recomendable es realizarlo entre 1,0 y 1,5 metros

.

15) Descompactar el terreno preferiblemente en forma cruzada (cuadricula) para lograr una mayor efectividad del efecto de ruptura del suelo.

16) Establecer una periodicidad razonable en la ejecución de la práctica de descompactación de acuerdo al ciclo vegetativo del cultivo. Las mediciones previas y continuas son determinantes para adoptar la correcta decisión.

17) Asegurarse que el objetivo descompactador pretendido lograr inicialmente se está alcanzando y la anomalía interviniendo y corrigiendo, lo cual implica y obliga revisar el resultado de la práctica en profundidad (cm) y efectividad. Muchas veces se da de manera contraproducente un efecto contrario al esperado y pretendido, pues más bien se favorece la compactación con el paso de arado y equipos pesados empleados para descompactar.

18) Realizar acciones orientadas a mejorar y favorecer el drenaje superficial y subsuperficial. La humedad del suelo es uno de los factores más importantes para controlar y atenuar compactación, como también para favorecerla, por lo que la práctica de campo revela que resulta mejor trabajar suelo secos que húmedos, obviamente en grados adecuados.

19) Incorporar materia orgánica en cantidades apreciables, lo cual favorece la estructura, la formación de agregados (terrones) más estables y consistentes que disminuyen la resistencia mecánica y permiten contrarrestar las fuerzas de compactación.

20) Ejecutar cualquier práctica o acción que favorezca, habilite y dinamice la actividad y diversidad biológica, el desarrollo de raíces y la actividad microbiológica del suelo. Esta es otra área de gran importancia que merece atención especial.

21) Favorecer en lo posible la rotación de cultivos comprendiendo plantas con raíces que penetren diferentes profundidades y permitan romper capas compactadas del suelo.

22) Adoptar, adaptar y aplicar principios "conservacionistas" en la preparación del suelo y manejo de las plantaciones, evitando la desagregación y la compactación. La ecoeficiencia es un desafío inexcusable por alcanzar y una meta imperativa por cumplir en el corto y mediano plazo.

En cuanto a prácticas agronómicas con efecto positivo para mitigar y contrarrestar compactación se han sugerido y empleado **medidas preventivas** como las siguientes, que resultan muy efectivas y apropiadas:

a. Realizar corrección de los suelos ácidos mediante su óptimo encalado.

b. Intervenir los sistemas de plantío (directo tolera presiones más altas que el convencional para cualquier humedad).

c. Mediante la incorporación y el mantenimiento de los contenidos de materia orgánica favoreciendo la cosecha de la caña en verde (sin quemar), lo que incorpora biomasa residual, contribuye a una mejor estructura y agregación del suelo, favoreciendo la fijación de nitrógeno. En esta materia la quema causa la desprotección de la superficie de la plantación y con ello el aumento de temperatura, lo que dinamiza y favorece una mayor mineralización de la materia orgánica ocasionando su pérdida.

d. Adoptar medidas a efecto de controlar el tráfico de equipos mecánicos resulta muy efectiva, para lo cual se deben separar las áreas de tránsito de las productivas y evitar circular sobre los surcos con cepas de plantas, donde el impacto negativo es mayor en relación al entresurco. También limitando y reduciendo las rutas y el paso de maquinaria apenas a lo obligado y esencial.

En el momento en que la compactación del suelo limite el desarrollo normal de las plantas de caña, es necesario entonces que las **medidas correctivas** sean adoptadas de inmediato con el objeto de romper la camada compactada, lo que podría eventualmente mejorar en el corto plazo las condiciones del entorno productivo. Es importante siempre tener presente que los mayores daños ocasionados por la compactación, ocurren durante la primera pasada de maquinaria y equipo mecánico, lo que ratifica la necesidad de actuar de manera preventiva con el objeto de evitarlos para no tener que resolverlos.

Conclusiones

La compactación del suelo constituye un factor limitante para la producción agroindustrial de la caña de azúcar, lo que se acentúa durante las labores de preparación del suelo, la siembra, la ejecución de prácticas de manejo y especialmente durante la cosecha de plantaciones. Con los años el problema se ha sistemáticamente agravado, pues hemos evolucionado los sistemas de manejo de plantaciones y su cosecha, pasando de la corta manual y transporte con bueyes en carretas con capacidad de carga de 2 a 3 toneladas, luego carretas de mayor capacidad (4-7 t) a cosechadoras combinadas y equipos de carga (autovolteo) con pesos de más de 20 toneladas; adicionalmente el tráfico de maquinaria pesada por los campos cultivados se ha incrementado. Pese a intervenir muchos elementos, se ha encontrado que los factores críticos generadores de compactación son las cosechadoras de caña, los equipos de autovolteo que cargan la materia prima para llevarla al ingenio y también las carretas empleadas en el traslado de la semilla al campo.

Es conocido también y está suficientemente demostrado, que eliminar la compactación del suelo tiene un alto costo, consume mucho tiempo valioso y requiere operar acciones especiales en función de su naturaleza e intensidad, razón por la cual la mejor y más sensata estrategia para contrarrestarla es buscar su prevención. Pueden realizarse todas las labores correctivas de la forma más apropiada, efectiva y oportuna, pero lo prudente y razonable es siempre apelar a resolver el problema en sus causas y origen y no apenas en sus consecuencias.

La compactación de suelos en el sector cañero es una realidad que debe obligadamente atenderse con la preocupación, agilidad y profundidad necesarias, pues sus consecuencias son en definitiva muy detrimentales y de efecto acumulativo, por lo que su permanencia contribuye inexorablemente a la pérdida de productividad y competitividad, factores incuestionablemente necesarios para poder permanecer vigente en el negocio cañero-azucarero. No hay duda en reconocer que los criterios de valoración y decisión aplicados en el caso de la compactación de los suelos, son más de naturaleza cualitativa que cuantitativa, lo que deja en manos de quién decide, la interpretación y juzgamiento de elementos que virtud de su trascendencia para la efectividad de la práctica, deberían contar con indicadores que aseguren decisiones apegadas a factores reales; persiste aún en esta práctica mucho desconocimiento.

Queda así establecida la necesidad de abordar e investigar con carácter prioritario el tema, con el objeto de instaurar vínculos y correlaciones entre la compactación con respecto a potenciales factores inductores, tipos (taxonómicos) de suelo, metodologías apropiadas de estimación y valoración, contenido de humedad y uso del agua, resistencia a la compresión, resistencia mecánica del suelo al corte, grados de cohesión y fricción según tipo de arcilla, profundidad apropiada de trabajo, el uso de equipos de labranza, operación y uso de llantas convenientes, distribución de cargas en el suelo, efecto de la materia orgánica, efecto del tamaño de las partículas, tamaño y forma de los agregados del suelo, desarrollo radicular (resistencia suelo/raíz), determinar el valor crítico de resistencia a la penetración que restringen el desarrollo de las raíces, efecto compactador sistemático y acumulado, tolerancia varietal, entre otros; es imperativo adicionalmente, conocer el grado de compactación (curvas de compresión) de nuestros suelos en diferentes regiones, zonas y localidades y estimar su impacto productivo y económico. La información, la comunicación y la capacitación al sector productor sobre el tópico, es también incuestionablemente un asunto de todos que se debe promover y dinamizar para concientizar sobre el problema y adoptar medidas correctivas efectivas.

Prácticas agronómicas asociadas con el paso de arado, uso del subsolador, el escarificado subsuperficial del suelo y el empleo de los escardillos, han demostrado que son favorables para reducir el efecto compactador provocado por el paso de equipos mecánicos dentro de las áreas productivas, razón por la cual se recomienda su utilización en una profundidad de trabajo cercana preferentemente a los 60 cm y con un grado de humedad favorable, más seco que húmedo.

Equipos para subsolar suelos compactados.