

REVISTA



ENTRE CAÑEROS



NÚMERO 17 • SETIEMBRE 2020 • ISSN 2215-597X

Revista trimestral del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA)



PRESENTACIÓN

En el mes de septiembre, mes de celebraciones patrias al festejar 199 años de vida independiente, con agrado les compartimos el número 17 de nuestra revista. Recien celebramos también en el mes de agosto el 80 aniversario del gremio azucarero como sector organizado, y en este mes se celebra un aniversario más de la creación de la Ley Orgánica 7818 de la Agricultura e Industria de la Caña de Azúcar, aprobada el 22 de septiembre de 1998, formulada con el objetivo de fortalecer al sector azucarero enmarcando los alcances y acciones de LAICA en un marco jurídico equitativo para productores e industriales. Pocos gremios pueden decir que están organizados y estructurados de esta manera, en consecuencia muchos son los que ven al sector azucarero con suspicacia al ostentar este nivel de consolidación.

Los invitamos a explorar nuestro contenido esperando lo disfruten, y los invitamos a que nos hagan llegar sus comentarios al correo electrónico echavarria@laica.co.cr, agradecemos que nos hagan llegar sus opiniones y recomendaciones de mejora

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

CONTENIDO

02

Presentación

05

Vavílov, recursos fitogenéticos y la caña de azúcar

35

Uso de atrayentes para el control de plagas en caña de azúcar.

51

Sistema radicular de la caña de azúcar y ambiente propicio para su desarrollo en el suelo.

Revista Entre Cañeros
 Número 17, Setiembre del 2020. ISSN 2215-597X.

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

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

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

En el Sector Cañero Azucarero Costarricense decimos:

NO Trabajo Infantil



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

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

¿Qué dice la legislación?

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



LAICA RSE



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

VAVÍLOV, RECURSOS FITOGENÉTICOS Y LA CAÑA DE AZÚCAR

Marco A. Chaves Solera¹
Ana Z. Bermúdez Loría²

Introducción

Casi de seguro la primera reacción de quién lea el presente documento será ¿Qué es o quién es Vavílov? pues posiblemente solo las personas que mantienen vínculo estrecho con los recursos naturales, los recursos fitogenéticos o con materias especializadas en el área de la genética vegetal, podrán reconocer de inmediato el significado asociado al referente Vavílov.

Como todos sabemos, forma parte intrínseca de la naturaleza propia del ser humano procurar medir, organizar, clasificar y categorizar todo con lo cual se vincula, no importa el carácter y la naturaleza del elemento estudiado y calificado, sean materias financieras, económicas, productivas, comerciales, biológicas, sociales, entre muchas otras. Desde sus orígenes los pueblos tuvieron la obligada necesidad de medir; lo cual aplicaban por ejemplo a las grandes distancias que frecuentemente debían recorrer, las cuales se determinaban según los días que tardaba el viaje. También resultaba importante saber de las lluvias, las fases lunares, las épocas frías, calientes, secas o húmedas, la disponibilidad de frutos y alimentos para recolección, la reproducción animal, como muchas otras cosas que le generaban valor.

Desde el principio de la vida, el ser humano ha necesitado comparar objetos como animales y alimentos o eventos como estaciones del año, lluvia y temperatura. Razón por la cual, medir y comparar es un proceso inherente a la propia naturaleza del ser humano, especialmente en la exploración y conocimiento del entorno que lo

rodea. El motivo de esa disposición y necesidad de medir y comparar fue el poder distinguir y clasificar las diferencias entre las propiedades de los objetos o eventos que le eran habituales o no en su entorno. En principio, una de las formas más rústicas empleadas para medir fue a partir de la visión empírica de las cualidades entre objetos de la misma especie, aplicando criterios como “*este árbol es más grande o más grueso que el otro, pero aquél es mucho más grande que éste, comparado con...*”. De esta manera, el hombre se percató que para comparar dos objetos podía hacerlo indirectamente con un tercer objeto como unidad referencial de medida.



¹Ingeniero Agrónomo, M. Sc. Gerente. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA), Costa Rica. E-mail: mchavez@laica.co.cr. Teléfono (506) 2284-6066/ Fax (506) 2223-0839. Agosto 2020.

²Ingeniero Agrónomo, Costa Rica. E-mail: anazitab@yahoo.com.mx. Agosto 2020.



Esta disposición a buscar el orden y la explicación de todo constituye un acto muy humano que condujo inexorablemente a la imperiosa necesidad de establecer criterios, crear metodologías y emplear instrumentos confiables y apropiados que permitieran lograr un juzgamiento apegado a la realidad de lo que se deseaba y necesitaba calificar y categorizar.

No parecieran existir discrepancias en reconocer que los instrumentos son por lo general razonablemente más fiables y eficaces para medir, comprobar, calificar y expresar las características y particularidades que tipifican un objeto, respecto a lo que pudieran hacer nuestros "cinco sentidos". Sin embargo, hay que aceptar a su vez, que aunque la tecnología avanza de manera muy dinámica y veloz en mejorar la sensibilidad y calidad de las mediciones, rara vez se elimina por completo el "factor humano" de las aplicaciones más importantes. Por este motivo, existe una clara necesidad de considerar al ser humano que interviene en los sistemas de valoración, medición e interpretación, no sólo como un operador pasivo, sino también bajo dos formas activas y radicalmente diferentes como objeto e instrumento de medida. En este caso actúa como objeto de medición cuando la persona es el propio objeto de medida y, como instrumento de medida, cuando en lugar de uti-

lizar equipamiento sofisticado de medición, utiliza sus propios sentidos y el conocimiento para medir los objetos de su interés.

La caracterización fiable del instrumento de medida humano, ya sea con los cinco sentidos o con todo el inmenso potencial que le aportan la riqueza fisiológica, mental, cognitiva y conductual de la percepción humana, es esencial en su empleo en muchas y distintas aplicaciones como se comentará seguidamente.

La observación acuciosa unificada al orden mental y la capacidad de organización, han sido siempre elementos indispensables para lograr avances importantes en todos los ámbitos del quehacer humano, aún sin contar con equipos sofisticados de medición, como lo demuestran los incuestionables y valiosos aportes del botánico sueco Carl Nilsson Linnaeus (1707-1778), quien desarrolló la nomenclatura binómica para clasificar y organizar los animales y las plantas; también Alexander von Humboldt (1769-1859), naturalista y explorador alemán que dio significativas contribuciones a la ciencia y en especial a la botánica. Augustin Pyrame de Candolle (1778-1841), botánico y micólogo suizo, conocido por ser uno de los fundadores con Linneo de la sistemática taxonómica moderna para clasificar las plantas. Asimismo, Charles Ro-

bert Darwin (1809-1882), naturalista inglés, reconocido por ser el científico más influyente de los que plantearon la idea de la evolución biológica a través de la selección natural. El naturalista, explorador y biólogo británico Alfred Russel Wallace (1823-1913), por haber propuesto una teoría de evolución a través de la selección natural independiente a la de Darwin. El enorme aporte a los recursos fitogenéticos del fraile agustino Gregor Johann Mendel (1822-1884), es de igual manera muy trascendente, al formular las conocidas leyes de Mendel que dieron origen a la herencia genética. En el presente caso, Nikolái Ivánovich Vavílov como será demostrado, también tuvo su contribución en condiciones difíciles y limitadas.

Objetivos

General:

Contextualizar en el tiempo y ubicar geográficamente el vínculo natural y relación existente entre los denominados Centros de Origen de las Plantas, entre ellas la caña de azúcar y el biólogo Nikolái Ivánovich Vavílov.

Específicos:

- Conceptualizar lo que es un Centro de Origen Vegetal y exponer en torno a su importancia para la agricultura.
- Ubicar geográficamente los Centros de Origen y entre ellos el de la caña de azúcar.
- Identificar las ventajas que provee un Centro de Origen para el desarrollo de la mejora genética de la caña de azúcar.
- Describir la relevancia, la contribución y el aporte de Nikolái I. Vavílov a los recursos fitogenéticos mundiales y en lo particular a los asociados con la caña de azúcar.

Diversidad Genética

Durante su extenso periodo evolutivo de más de 12.000 años el ser humano ha debido superar y completar varias etapas sucesivas de desarrollo antropogénico, que lo trasladaron en principio de

un estado nómada e inestable donde actuó como cazador y simple recolector de alimentos, a otro posterior como sembrador luego de descubrir la capacidad y posibilidad de sembrar sus propias cosechas y reproducir plantas mediante el uso de semillas, lo cual lo volvió más estable y territorialmente sedentario. Rápidamente dominó la agricultura y con ello se interesó en la labor de identificar las mejores tierras, climas, plantas y semillas; lo cual favoreció el incremento poblacional al poder asegurar su alimentación y asentamiento.

El necesitar de más alimentos durante todo el año implicó aumentar las áreas de siembra, el empleo de mano de obra y la dotación de espacios apropiados para asegurar el almacenamiento de los excedentes de alimentos recolectados; lo cual incentivó y dinamizó a su vez el comercio y la especialización en sus diferentes manifestaciones (trueque, intercambio, compra-venta). En ese transitar se dio la "domesticación" de los cultivos mediante la identificación, selección y multiplicación de los mejores biotipos desde su entorno natural (selección masal), lo cual condujo a la búsqueda de variabilidad y al empleo de individuos genéticamente diferentes y superiores con relación a algunas características particulares deseadas, solución que encontró luego en los orígenes y ancestros silvestres como será abordado por el presente documento (León 1994; Parra 2014).

La diversidad genética es definida como la multiplicidad prevaleciente en la composición genética que prevalece y se manifiesta entre los individuos de una misma especie. Otros la describen como la variación hereditaria que existe dentro y entre poblaciones de una determinada especie o grupo de especies. Se conceptualiza asimismo como el componente básico y fundamental de la biodiversidad. La misma representa y potencia en lo pragmático la capacidad de poder encontrar individuos que puedan sustituir a otros de su misma especie afectados por causa de factores bióticos, abióticos o aquellos que por razones naturales se han degenerado y han perdido su valor utilitario comercial como acontece con las variedades comerciales de caña de azúcar, lo cual obliga inevitablemente a buscar sustitutos mejores.

Como anotara Chaves (1999) al respecto al valorar el caso de 60 clones utilizados en siembras en Costa Rica, ubicó un promedio de vigencia comercial de 14,9 años con una amplitud máxima-mínima de 66 y 3 años, respectivamente. Encontró de igual manera que existen clones de uso excepcional como acontece con POJ 2878, el cual mantenía hasta ese momento 66 años de uso comercial continuo en el país, seguida por Co 421 y PINDAR con 39 años, B 47-44 con 36 años; así como B 50-377, H 32-8560, NCo 310 y POJ 2714 con 30 años de cultivo. En la actualidad esos clones forman parte de la historia azucarera costarricense.

La importancia de la diversidad genética es incuestionablemente muy trascendente en la supervivencia y adaptabilidad que puedan tener las especies a los entornos o sitios donde se desarrollan, sobre todo si estos son agrestes, cambiantes o poco favorables. Es conocido que cuando el hábitat de una población vegetal se modifica y altera, los individuos tienen necesariamente que adaptarse para poder permanecer y no desaparecer. La adaptabilidad de una población determina en alto grado su capacidad natural de poder superar con éxito los desafíos ambientales del entorno donde se desarrolla (Chaves 2019cd).

Centros de Origen de las plantas

Para los fines agrícolas el conocer el origen de las plantas resulta de enorme interés y valor no solo científico sino también comercial, como se demostrará en el presente texto. En primera instancia **los Centros de Origen vegetal son descritos como aquellas regiones geográficas y por ende, entornos vinculados, donde se inició el proceso de domesticación de la especie vegetal y donde se encuentran por tanto los parientes silvestres que originaron una determinada planta o cultivo.** Los Centros de Origen y de biodiversidad, deben necesariamente ser regiones libres de transgénicos. El significado y consecuencias de este concepto son de enorme importancia para la genética y la mejora de los cultivos, pues la diversidad de especies y de variedades que hoy sustentan la agricultura y la alimentación mundial, tienen su base de perfeccionamiento en los mismos.

Domesticación vegetal

La domesticación de las plantas es generalmente considerada y calificada como el punto final de una larga línea de sucesión en el tiempo, que comienza con su empleo y explotación mediante recolección en su estado silvestre, continúa luego con el cultivo de las plantas seleccionadas en su entorno natural por sus condiciones diferentes y satisfactorias, pero que no son genéticamente diferentes de las silvestres, y termina en la fijación, a través de selección humana. En este proceso se pueden perder, adquirir o desarrollar caracteres morfológicos, fisiológicos o de comportamiento que son heredables y, además, son el resultado de una interacción prolongada y producto de una selección artificial por el hombre, una selección natural adaptativa o resultado de la convivencia con el ser humano. La domesticación se alcanza mediante un largo proceso de selección artificial de caracteres de interés, tanto genotípico como fenotípico, que el hombre define y establece como deseables o también indeseables y que conforman y tipifican el biotipo deseado. Dichos caracteres luego se identifican y seleccionan mediante la realización de cruzamientos y una serie de lentas modificaciones acumuladas en el tiempo, que pueden ser simples o complejas y muy sofisticadas. Por lo general, el objetivo primordial de la domesticación es lograr fijar y obtener determinados beneficios de la especie domesticada, aunque en ocasiones se trata de un proceso natural espontáneo resultante de un beneficio mutuo (mutualismo). Si bien es un hecho cierto que pretender obtener el biotipo ideal de una planta resulta utópico e irreal, si representa siempre una aspiración, desafío y motivación para el genetista procurar alcanzar (Chaves 1995).

Díaz (2010) dramatiza esta importancia al manifestar, que “Si el hombre se preguntara: ¿Cuál es la invención más importante de la humanidad? sin duda alguna la respuesta sería la “agricultura”. Su adopción cambió radicalmente la forma de vida de los hombres cazadores-recolectores.” Con el tiempo el ser humano logró mediante la “domesticación” de las plantas, pasar de una actividad de simple recolección a otra de siembra y cosecha, cuya diferencia era significativa considerando que en



el primer caso la acción era de recolección directa de productos naturales en el campo, mientras que la agricultura, aún rústica, implicaba un proceso más sofisticado de siembra, manejo y producción por medio del cual la naturaleza era transformada para controlar y asegurar la disponibilidad de recursos y alimentos.

Asegura Díaz (2010), que “..., el largo periodo de coexistencia del hombre y plantas, ha resultado en un conocimiento biológico y ecológico de estas últimas, amplia y profundamente. Probablemente, este conocimiento se aplicó en la fase inicial, cuando no se conocían los principios de la herencia. Posteriormente, el conocimiento científico de los mecanismos hereditarios condujo a mejoramiento genético y, por último, el más vasto y profundo conocimiento de la genética ha permitido al hombre manipular los genes de los organismos domesticados, tal como se ve en la actualidad, culminando en la aplicación de la biotecnología y la biología molecular.”

Bancos de Germoplasma

De acuerdo con Wikipedia (2020a) “El germoplasma es el conjunto de genes que se transmite en la reproducción a la descendencia

por medio de gametos o células reproductoras. El concepto de germoplasma se utiliza comúnmente para designar el genoma de las especies vegetales silvestres y no genéticamente modificadas de interés para la agricultura.” También se describe como “...el conjunto de genes que se transmite por la reproducción a la descendencia por medio de gametos o células reproductoras.” Por este motivo, el concepto tiene una muy estrecha y directa vinculación con todo lo relacionado con las plantas cultivadas que son de interés para la agricultura, motivo por el cual se incorpora al título de “recurso genético y en el caso vegetal al fitogenético”.

En consideración de su incuestionable valor y con el objeto de procurar su conservación sin perder su pureza genética y sin importar cuál sea su forma de reproducción, sea por semilla, esquejes como la caña, tubérculos, tallos, etc., se han creado en el mundo los llamados Bancos de Germoplasma, cuyo fin consiste básicamente en ubicar, recolectar, custodiar, conservar y caracterizar el plasma germinal de las plantas que, virtud de sus atributos sobresalientes son calificadas de interés prioritario para beneficio de la humanidad; además de aportar conocimiento científico orientado a la optimización de la conservación y uso de los recursos fitogenéticos. Los Bancos de

Germoplasma son por ello, los sitios de conservación de material biológico por excelencia, cuyo objeto primario es la conservación de la biodiversidad. Son espacios estratégicos para evitar que se pierda la diversidad genética por la presión que ejercen los factores bióticos y también abióticos, entre ellas las actividades humanas o antropogénicas (Angulo, Durán y Chaves 1999; Chaves 2013).

Como anotara y describiera Chaves (2013), “Los Bancos de Germoplasma tienen como objetivo fundamental y principal, preservar la diversidad de los recursos fitogenéticos de las especies cultivadas y sus especies relacionadas, y corregir complementariamente, la uniformidad derivada de las prácticas continuas de mejoramiento genético que han disminuido la variabilidad de la base genética de los cultivos, generando desprotección de las poblaciones ante la mayor susceptibilidad creada, favoreciendo con ello el ataque de patógenos para los que no existe resistencia.”

Es claro por tanto, que un Banco de Germoplasma o Banco de Semillas como también se le conoce, es un lugar destinado a la conservación de la diversidad genética de uno o varios cultivos y sus especies. Como principio fundamental se debe considerar que los bancos al operar como colecciones de materiales de interés por sus características y atributos, operan como fuentes potenciales de variabilidad genética, cuya utilización y aprovechamiento permiten obtener variedades nuevas dotadas con mejores características agronómicas que van en favor de su biotipo, mayor tolerancia o resistencia a las principales plagas y enfermedades, agroindustrialmente más productivas al generar más tonelaje de materia prima, mayor concentración y estabilidad de sacarosa en los tallos y consecuentemente más productividad de azúcar por unidad de área (t/ha).

Ampliando en torno al mismo concepto de manera pragmática, expresa Chaves (2013) que “Los denominados Bancos de Germoplasma o colecciones de variedades son necesarios y muy importantes en la mejora genética de la caña de azúcar, en consideración de que los programas de cruzamiento e hibridación tienen un vínculo y dependencia directa de ellos, por tener accesible y disponible el germoplasma (progenitores)



requerido para realizar esa labor. No hay duda en afirmar que el éxito de un programa de mejoramiento de plantas, está supeditado a la calidad de la base genética contenida en los progenitores que se tengan disponibles. Un Banco de Germoplasma no debe confundirse con un simple “jardín de variedades”, pues es más complejo que eso, ya que mantienen genética y potencialmente los materiales debidamente caracterizados, conformando una reserva de material genético sobresaliente y valioso para ser utilizado en la fabricación de nuevas variedades.”

Se agrega para fortalecer la descripción anterior, que mucho del valor genético y utilitario que un Banco de Germoplasma posee para satisfacer los fines y objetivos pretendidos por los mejoradores de cultivos, está sustentado en la cantidad y calidad del componente genético contenido; donde como aseverara Chaves (2018a), la presencia de materiales silvestres y especies afines resulta esencial. **El concepto de variabilidad cobra mucha importancia y actualidad en el caso de la caña de azúcar, cuando consideramos el alto grado de consanguinidad y endogamia que ha mantenido el cultivo, pese a estar dotado de condiciones anatómicas, fisiológicas y sobre todo genéticas excepciones, como lo demuestra su condición poliploide** (Chaves 2020e).

Mejora Genética

A partir de los recursos genéticos disponibles y concentrados en los Bancos de Germoplasma nacionales e institucionales se genera toda una larga, interesante, continua, sistemática y científica labor orientada al mejoramiento genético del cultivo de la caña de azúcar, que inicia con la selección de los progenitores idóneos escogidos de acuerdo con las condiciones particulares para la cual se desea acondicionar las nuevas progenies. Las condiciones deseadas vincular o que se busca por el contrario mitigar, corregir o eliminar pueden estar directa o indirectamente asociadas a factores bióticos y abióticos de muy diferente calidad, magnitud e intensidad, caracterizados por la presencia de entornos húmedos, secos, suelos ácidos, salinos, bajos o de altura, terrenos planos, ondulados o con pendiente, sustratos fértiles o infértiles,

grado de luminosidad variable, fitosanidad, capacidad diferencial de concentración de sacarosa, cosecha mecánica o manual, entre muchos otros que gobiernan el heterogéneo entono agro productivo de la caña de azúcar, como lo expusiera con propiedad Chaves (2017ab, 2019abcdefg, 2020abcd) para el caso de Costa Rica.

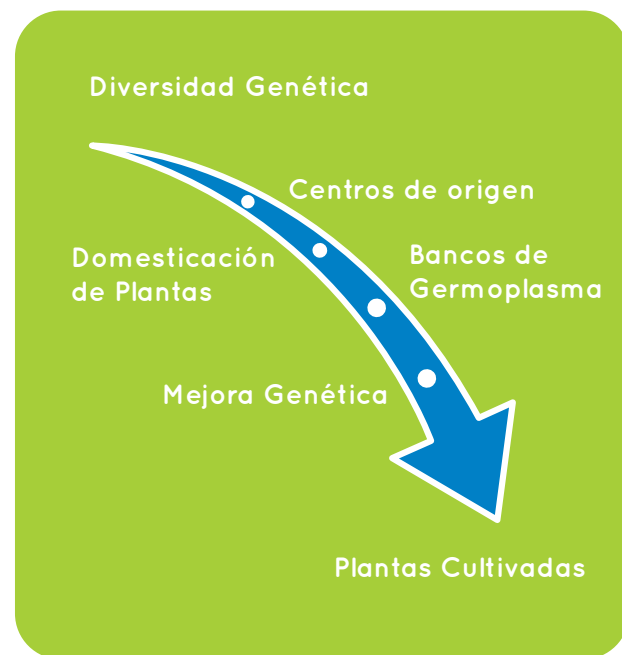
La búsqueda de la variedad o biotipo ideal de caña de azúcar es en realidad, como se indicó, utópica, pues resulta en la práctica imposible poder incorporar e introducir mediante sistemas de mejora convencionales, cambios profundos en el comportamiento de una planta; aunque fuera apenas para un solo factor y no para todo el complejo genoma de la caña. Chaves (1995) procurando idealizar el mejor biotipo de caña de azúcar que podría en teoría disponerse para uso comercial, manifestó luego de identificar y ponderar 38 indicadores de diferente naturaleza que podrían conformarlo, que “Como se comprenderá es bastante difícil por no decir imposible, identificar una variedad para uso comercial que reúna todas las características y propiedades anotadas, razón por la cual el Programa Nacional de Mejoramiento Genético y los técnicos que lo desarrollan, se esmeran y proyectan a tratar de optimizar muchas de ellas que tipifiquen entonces lo que conocemos como una buena variedad.”

En el caso particular de la caña de azúcar, cabe señalar que en el mundo se emplean diferentes estrategias, mecanismos e instrumentos para realizar la labor de mejoramiento genético, los cuales han llegado en la actualidad al uso de mecanismos biotecnológicos y moleculares de manipulación genética (Chaves 2018a). En el caso particular de Costa Rica, los mismos se concentran en dos líneas convencionales y tradicionales muy bien definidas, como son: **a) Vía Asexual:** mediante introducción del exterior de clones de reconocido uso y amplia trayectoria comercial, o en su caso materiales promisorios que se encuentran en fases avanzadas de selección y prontos a ser liberados, y **b) Vía Sexual:** mediante cruzamiento convencional y natural (simple/biparental o múltiple/policruza) de progenitores conocidos, o calificados por sus características y atributos como adecuados para generar progenies con alto potencial

SECCIÓN EDITORIAL

agroindustrial, fitosanidad y adaptación. En el caso de los segundos, el país cuenta orgullosamente con clones nacionales de la Sigla **LAICA** de amplio reconocimiento internacional y expansión nacional, ocupando en el año 2019 un 11,38% correspondiente a 6.563,6 hectáreas de toda el área sembrada con caña en el país (Chaves 2016, 2018abc).

En la Figura 1 se representa de manera gráfica la sistemática del mejoramiento genético de las plantas cultivadas, refrendado por los eventos considerados de carácter más significativo hasta llegar a disponer de materiales genéticos idóneos para acompañar las siembras comerciales de los agricultores.



¿Quién fue Nikolái Ivánovich Vavílov?

Resulta muy difícil referirse y abordar el tema de la biodiversidad vegetal, tópico que cada vez adquiere mayor relevancia y actualidad, sin mencionar y reconocer los méritos, sacrificios y aportes del destacado biólogo ruso Nikolái

Ivánovich Vavílov, quien con su enorme trabajo de campo y laboratorio, sentó las bases que hoy sustentan sus principios, convirtiéndose además en el pionero de la mejora alcanzada en el campo genético de las semillas. Es considerado por consenso mundial una de las personalidades más destacadas de la ciencia rusa y global, siendo calificado como uno de los 10 mejores científicos rusos del Siglo XX. Vavílov representa sin lugar a dudas uno de los biólogos más admirados del mundo y un destacado pionero en el campo del fitomejoramiento y la genética vegetal como se detallara de manera sucinta a continuación.

Nikolái Ivánovich Vavílov (Figura 2) nació en Moscú un 16 de noviembre de 1887, estudio en Moscú y desarrollo estudios de especialización en Inglaterra en mejoramiento genético del trigo. Tuvo la oportunidad de trabajar en el prestigioso Instituto Pasteur de Francia, luego pasó a Alemania donde marchó por inicio y hostilidad de la Primera Guerra Mundial en 1914. Su preparación al lado de grandes personajes de la época amplió y fortaleció su conocimiento. Ocupó por méritos en San Petersburgo el puesto de Director del Instituto de Botánica Aplicada y Desarrollo de Cultivos Nuevos, reconocido actualmente como Instituto Vavílov de Fitotecnia de Rusia en reconocimiento a su aporte.

Ese Instituto contaba con más de 400 estaciones experimentales distribuidas desde Leningrado a Vladivostok y de Asia Central a tierras polares. Fue Presidente de la Academia Lenin de Ciencias Agrícolas de la URSS. Organizó numerosas expediciones por el mundo con el objeto de recolectar materiales genéticos de diferentes especies vegetales y animales. Con su labor alcanzó grandes logros, todos históricos, durante su fructífera gestión desarrollada por muchos años, aunque no tantos como los que su prematura muerte a los 56 años de edad en Satátov en enero de 1956 truncaron, luego de padecer un juicio amañado y secreto efectuado en 1941, durante los execrables exterminios estalinistas.

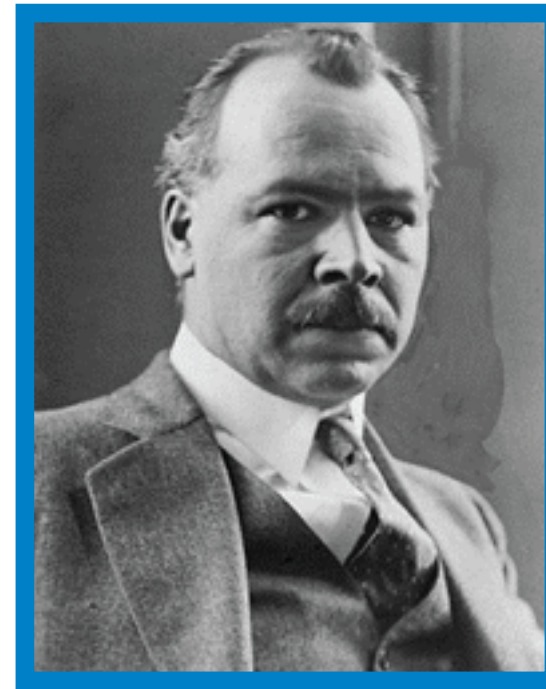


Figura 2.

Nikolái Ivánovich Vavílov (1887-1956).

El decidido apoyo que tuvo Vavílov del líder Vladimir Ilyich Lenin (1870-1924), quien procurara en ese entonces sacar a la Unión Soviética de la profunda crisis alimentaria y hambruna que padecían Europa y el país luego de la Revolución de 1917, se vio cortada con su muerte. La situación para Vavílov se agravó con la llegada al poder del dirigente soviético Joseph Stalin (1878-1953), que gobernó férreamente la URSS desde 1927. La colectivización de las granjas privadas y producción en línea que aplicó Stalin, deterioró la producción y transformó profundamente el sistema alimentario del país, tornándolo deficiente. Ese cambio político aunado a la defensa y seguimiento de la genética y principios mendelianos y darwinistas, operados bajo un enfoque experimental como instrumento para lograr obtener mejores variedades, le depararon a Vavílov enemigos con poder político como fue el caso de Trofim D. Lysenko (1898-1976), quien lopersiguió y desacreditó hasta su muerte; y

cuyas teorías iban más en concordancia con el discurso político y la dialéctica de la Rusia del momento.

Con su gestión y cometido científico, Vavílov le pudo sin embargo ofrecer al mundo aportes teóricos y prácticos sobre la distribución geográfica, el origen y la dispersión de las plantas por todo el orbe que aún hoy perduran y mantienen vigencia (Crown 2001; Díaz 2010; Fernández 2017; Laguna 2016; León 2003).

Durante su prolija labor profesional desarrollada en poco más de dos décadas, Vavílov tuvo la oportunidad de realizar viajes temerarios por el mundo que lo llevaron a recorrer los cinco continentes en su ardua labor de recolectar semillas de plantas agrícolas conocidas, como maíz, papa, trigo, frijol, arroz, tomate, chile, granos, plátano, tabaco, caña de azúcar, forrajes, frutales y vegetales, entre muchas otras; al igual que recabar valiosa información asociada con la geografía de los lugares que visitó y sobre los idiomas y culturas de sus habitantes. En su libro "Cinco Continentes", un texto póstumo cuya redacción inició a finales del año 1930, se describen sus recorridos por Europa, Asia, África y ambas Américas (Norte-Sur), las cuales consideró independientes (Laguna 2016). Advierte Crown (2001) al respecto, que "...la cifra 'cinco' no incluye al continente australiano, donde apenas se domesticaron plantas hasta la colonización por diversos países occidentales; a cambio, América del Norte y del Sur merecían obviamente para Vavílov el título de continentes con nombre propio."

Un recuento de sus múltiples y diversas actividades revelan que participó en más de 180 expediciones, 40 de ellas más allá de los límites de la antigua Unión Soviética, que cubrieron más de 63 países, por medio de las cuales recolectó más de 200 mil especímenes vegetales diferentes; lo cual cobra realce si consideramos la época y limitaciones en que se dieron esos hechos. Se asegura que ninguna o muy pocas personas en la historia han logrado igualar tal hazaña. Como concluyera Crow (2001) en torno al hecho, "frente al carácter intuitivo con el que trabajaron muchos mejoradores genéticos, Vavílov introdujo aspectos científicos consolidados que han fundamentado gran parte de los métodos que actualmente usan los obtentores vegetales."

Sus viajes de expedición le permitieron visitar muchos países, fue así como entre los años 1916 y 1933 recorrió Irán, el Pamir, Afganistán, el bajo Amu Daria, China Occidental, Japón, países del Mediterráneo, Siria, Palestina y Transjordania; también visitó Argelia, Marruecos, Túnez, Etiopía, Eritrea, Somalia, Grecia e Islas de Chipre y Creta, Italia, España y Abisinia. Realizó un largo viaje por América entre agosto de 1932 y febrero de 1933, visitando los Estados Unidos de Norteamérica, California y Florida, Canadá, México, la Península de Yucatán, las Repúblicas de América Central: Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Estuvo además en Perú y Bolivia, Chile, Uruguay y Brasil en 1932; en el Caribe en Isla Trinidad y Cuba. Como se nota, Vavilov tuvo presencia por nuestro país como lo indica el prestigioso biólogo nacional Dr. Jorge León Arguedas (León 2003).

Como resultado de sus numerosas expediciones y trabajo de campo, logró que la colección de semillas de la URSS fuera la más grande del mundo en su tiempo. Todo el voluminoso material germinal recolectado por Vavilov, fue almacenado, cultivado y multiplicado en diversas estaciones experimentales dispersas por los disímiles y heterogéneos terrenos y climas propios de la Unión Soviética. El material vegetal que recolectaba entre esquejes y semillas era herborizado y pasaba a formar parte del Instituto de Industria Vegetal donde se catalogaba, y todos los años las semillas se reproducían en parcelas experimentales distribuidas por toda Rusia.

Adicionalmente se procedía a hibridar las diferentes líneas para comprender su naturaleza genética y poder identificar y seleccionar aquellas más convenientes y mejor adaptadas a cada localidad, las cuales pasaban a ser cultivadas y se mantenían como material valioso para la mejora genética. Fue a partir de todo este trabajo que Vavilov formuló su **Teoría de los Centros de Origen de las Plantas Cultivadas**. La fuerza de sus ideas en torno a la agricultura, la biodiversidad que analizó y la geografía que recorrió es tan amplia, que los lugares del mundo a partir de donde se originaron las plantas más utilizadas en la agricultura llevan su nombre, en reconocimiento a su incuestionable aporte a la humanidad: los denominados **Centros Vavilov**.

Comenta Fernández (2017) en torno a la etapa final de la vida del biólogo ruso, que "En 1940 en una expedición a los Cárpatos fue detenido y acusado de actividades de espionaje y sabotaje por medio del boicot del potencial económico y de defensa de la Unión Soviética.

En la cárcel, de memoria, sin libros, sin diarios, sin mapas, escribió su obra probablemente más importante, Historia de la agricultura mundial. Obra que se ha perdido.

Es posible que fuera torturado. Soportó más de 400 interrogatorios, durante 1.700 horas. Fue sentenciado a muerte, pero se le conmutó por 20 años de cárcel. Fue dejado morir lentamente de hambre y las complicaciones derivadas de la inanición. Murió el 26 de enero de 1956."

Refiere la historia escrita, que Stalin le requirió a Vavilov obtener resultados satisfactorios para resolver el problema alimentario ruso en el término de tres años, por medio de los cuales lograra identificar variedades de papa resistentes a todo (plagas, enfermedades, etc.); lo cual el biólogo objetó, indicando que para ello requería no menos de 12 años, lo cual obviamente disgustó al líder ruso. Esta situación aunada a la trama, diferencia profesional e intriga de Lysenko sugiriendo que la aceptación de las ideas que avalaba Vavilov provenientes de científicos no rusos como Mendel y Darwin, eran propias del capitalismo, la burguesía y los enemigos del pueblo, lo que constituía una conspiración contra el gobierno. Lysenko sostenía por el contrario teorías alineadas a Lamarck (1744-1829) y Michurín (1855-1935) que explícitamente iban contra la agricultura genética y que los años demostrarían eran equivocadas, fundamentadas en la herencia adquirida de caracteres que generaban rápida adaptación, los cuales no requerían investigar y se podían además pasar a las generaciones siguientes. Este hecho ratifica una vez más como la política puede pervertir y afectar la investigación y el desarrollo tecnológico de los pueblos.

Digno de destacar por su significado histórico, sentido humano y valor científico, es el hecho de que su grupo de trabajo constituido por 12 destacado(a)s investigadore(a)s, trasladaron la valiosa colección de material vegetal a lugar

seguro y atrincheraron en su resguardo (sin presencia de Vavilov quién permanecía encarcelado en La Siberia), durante el estado de sitio que sufriera la ciudad de Leningrado por parte del ejército alemán entre septiembre de 1941 y enero de 1944 (872 días); en el cual la población sufrió de una terrible carencia y hambruna que condujo inclusive al canibalismo. El respeto al valor científico, genético y alimentario del material recolectado, fue tal, que todos murieron por inanición pese a estar paradójicamente rodeados de gran cantidad de alimentos potenciales entre papas, frutas, granos, hortalizas que pudieron consumir. De esta forma protegieron y salvaron la valiosa colección mundial. Resulta la verdad contradictorio y una ironía que un grupo científico y un hombre que tanto contribuyó a vencer el hambre muriera por inanición.

Su crédito, su valor pero sobre todo su enorme aporte le fue restituido por la comunidad científica mundial entre ellas la rusa. Como expresara alguien con bastante sentido "*Nikolái Vavilov fue primero héroe, luego villano y póstumamente recuperó su etiqueta de héroe científico.*"

¿Cuál fue el aporte de Vavilov?

La participación y contribución más destacable que puede atribuírsele casi por consenso a Vavilov, está fundamentada en sus incuestionables aportes teóricos y prácticos al conocimiento del origen, la distribución y la dispersión geográfica primitiva de las plantas y animales por todo el orbe.

En sus estudios y valoraciones encontró que las regiones que mostraban mayor diversidad tenían algún grado de definición propia, siendo en este caso la misma para muchas especies; este concepto ha sido sin embargo cuestionado ante la evidencia demostrable. El alcance de sus valoraciones no fue exclusivo para especies vegetales, sino que también se amplió a especies animales (ovejas, cabras, cebús, búfalos, llamas, alpacas y aves diversas, entre muchas otras). Esas áreas de mayor concentración genética (puntos calientes) fueron denominadas por

Vavilov como "Centros de Origen de las Plantas Cultivadas". Un Centro de Origen es considerado y calificado como un centro de diversidad y variabilidad. Se le cuestiona mucho el hecho de haber empleado en sus descripciones una nomenclatura compleja y diferente sin llegar a definir su significado, como fue el hacer uso de términos como: "*Centros de Origen de Cultivos*", "*Centros Geográficos*", "*Centros de Variación*", "*Centros de Formación de Tipos*" y "*Centros de Acumulación de Variedades y Formas*", entre otros.

Entre sus mayores aportaciones destaca la que promulga que la biodiversidad agrícola tiene por origen en su mayoría ocho núcleos perfectamente identificados y tipificados. En el caso de las plantas de cultivo, Vavilov identificó diversos números de centros que variaron entre años, fue así como nombró: tres en 1924, cinco en 1926, seis en 1929, siete en 1931, ocho en 1935 y luego los redujo nuevamente a siete en 1940. De acuerdo con León (2003), Vavilov estableció en 1926 los siguientes cinco Centros: 1) Suroeste de Asia, 2) Sureste de Asia, 3) Mediterráneo, 4) Etiopía y 5) México-América del Sur.

Posteriormente en 1935 el número se elevó a ocho (Figura 2): 1) China, 2) India, 3) Indo-Malasia, 4) Etiopía (Abisinia), 5) México-América Central, 6) Andes, 7) Chile y 8) Brasil-Paraguay (Cuadro 1 y Figura 3). Resulta evidente que la ubicación geográfica de esos centros está situada en lugares de bajo desarrollo urbano y agrícola, que les ha permitido conservar en el tiempo los materiales silvestres y nativos "del agricultor" al no tener tanta erosión genética inducida por las nuevas y modernas variedades de mejores rendimientos comerciales. Como particularidad destacable cabe señalar que Vavilov distinguió en su propuesta dos clases de centros: **a) Primarios:** donde supuestamente se atribuye el origen de la especie, **b) Secundarios:** donde la especie fue introducida. La diversidad genética se originó posteriormente como resultado de los cruzamientos, las hibridaciones y las mutaciones.

Cuadro 1.

Caracterización de los centros y subcentros de origen de Vavilov

No.	Centro	Cantidad de Especies
I	Chino	Se reconocen cerca de 140 especies diferentes. Entre las más antiguas encuentran cereales y legumbres.
II	Indio	Involucra todo el continente. Incluye arroz, mijo, legumbres con un total de cerca de 120 especies .
a	Indo-Malayo	Incluye Indonesia, Filipinas, etc., donde se distribuyen cultivos como raíces principalmente (<i>Discorea</i> spp, <i>Tacca</i> , etc.) y también frutales, caña de azúcar, especias, etc. Cuenta con alrededor de 55 especies .
III	Sureste Asiático	Conocido también como Centro Asiático interior (Tadjikistán, Uzbekistán, etc.), donde se hallan trigos, centenos y muchas legumbres herbáceas; así como raíces sembradas de semillas y frutales. Son alrededor de 40 especies .
IV	Asia Menor	Incluye transcaucasia, Irán y Turkmenistán, con cultivos de trigo, centeno, avena, semillas y legumbres forrajeras, frutales, etc. Son más de 80 especies .
V	Mediterráneo	Incluye trigo, cebada, plantas forrajeras, vegetales y frutales, especialmente especias y plantas de aceites especiales. Representa más de 80 especies .
VI	Etiopía antes Abisinia	Refugio de cultivos procedentes de otras regiones, especialmente trigos, cebadas, granos locales, especias, con cerca de 40 especies .
VII	Centroamérica y Sur de México	Importante por el maíz, diferentes especies de <i>Phaseolus</i> y <i>Cucurbitaceas</i> , así como especies de frutales y fibras. Son cerca de 50 especies .
VIII	Andes	Paraguay, Brasil o región andina Sudamericana (Bolivia, Perú, Ecuador), importante por ser el centro de origen de las papas, otras tuberosas, raíces, granos andinos, vegetales, especies de frutales y drogas (cocaína, quinina, tabaco, etc.). Cerca de 45 especies .
a	Subcentro Chileno	Solo 4 especies , cultivos fuera del área principal de domesticación, uno de ellos es <i>Solanum tuberosum</i> derivado del centro Andino.
b	Brasilero-Paraguayo	Con 13 especies como el <i>Manihot</i> (Yuca) y <i>Arachis</i> (Maní) entre las más importantes y la piña, <i>Hevea</i> o caucho y <i>Theobroma cacao</i> como especies que habían sido domesticadas más recientemente.

Fuente: Parra (2014).

Es importante para fines de comprensión referirse a varios términos que son de uso común relacionados con el tema de las especies, como son: **a) Especie:** grupo de individuos con muchas características morfológicas similares y que pueden fecundarse entre sí, **b) Especie Nativa:** nombrada como indígena o autóctona y que pertenece a una región o ecosistema determinado, **c) Especie Endémica:** restringida a una región y sólo es posible encontrarla de forma natural en ese lugar, **d) Especie Exótica:** es foránea, ha sido introducida desde fuera de su distribución natural, corresponde a especies cuyo origen natural ha tenido lugar en otra parte del mundo y que por razones principalmente

antrópicas han sido transportadas a otro sitio, **e) Especie Invasora:** se desarrollan fuera de su área de distribución natural, en hábitats que no le son propios o con una abundancia inusual, produciendo alteraciones en la riqueza y diversidad de los ecosistemas y **f) Especie Domesticada:** corresponde a aquella especie que pierde, adquiere o desarrolla ciertos caracteres morfológicos, fisiológicos o de comportamiento que son heredables; además, son el resultado de una interacción prolongada y una selección artificial realizada por el ser humano o una selección natural adaptativa a la convivencia con el ser humano.

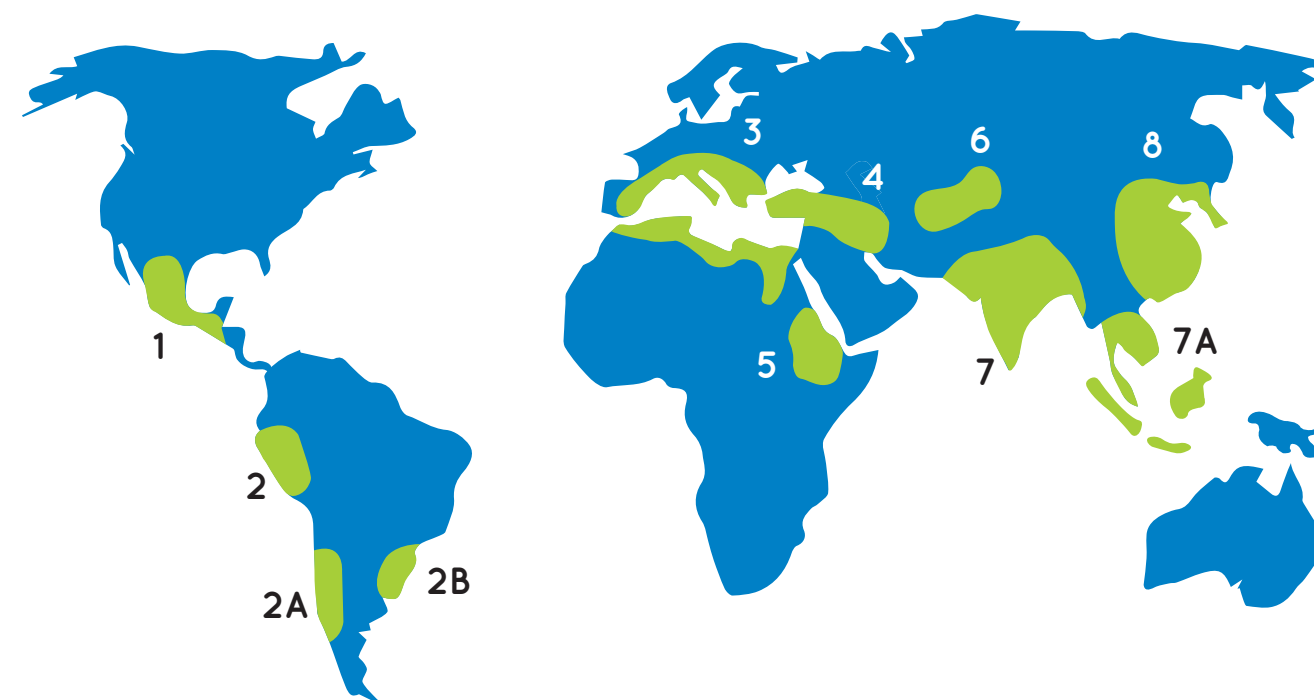


Figura 3.

Centros de origen de Vavilov: (1) México-Guatemala, (2) Perú-Ecuador-Bolivia, (2A) Sur de Chile, (2B) Paraguay-Sur de Brasil, (3) Mediterráneo, (4) Medio Oriente, (5) Etiopía, (6) Asia Central, (7) Indo-Burma, (7A) Siam-Malaya-Java, (8) China y Corea. (Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Centro_de_origen)



Esas áreas geográficas conocidas como Centros Vavílov son en realidad auténticos refugios de biodiversidad, esenciales para sustentar y sostener la alimentación humana, ya que independientemente de dónde se encuentren cultivadas las plantaciones, para ser practicables y sujetas a mejora requieren necesariamente disponer de la variabilidad que se encuentra solamente en su centro de origen.

Con los años algunos de los preceptos propuestos y esgrimidos por Vavílov se han demostrado, fortalecido y mantienen vigencia, como ocurre con la definición y ubicación geográfica aplicada en términos de regiones, países y listas de especies de acuerdo con su empleo; sin embargo, otros son cuestionados, como acontece con el hecho de asegurar que esas regiones son las áreas de origen de los cultivos y más aún de la agricultura misma, pues como se ha demostrado, no son hoy ya aceptados.

Declara León (2003) al respecto, que "...la contribución de Vavilov al estudio de los recursos genéticos y a la contribución de su conservación, exploración y utilización, tanto en sus aspectos teóricos como aplicados, sigue siendo fundamental y Vavilov continuará siendo una figura señera en esos campos.

Finalmente, aún ahora hay que admirar la profundidad y la extensión de sus enfoques y sus conocimientos, su personalidad vigorosa y el valor que tuvo y que lo llevó a la cárcel y a la muerte, por mantener sus convicciones científicas."

Centros de Origen de los cultivos agrícolas

Establecidos, concordados y armonizados los criterios, realizadas las recolecciones de campo y hechas las verificaciones correspondientes, tanto Vavílov como otros investigadores procedieron a catalogar y ubicar las plantas, animales, aves y otros recursos genéticos considerados por el calificado equipo de trabajo ruso, de acuerdo con su presunto Centro de Origen.

Es importante señalar que algunas plantas, entre ellas la caña de azúcar, pueden ocupar un área geográfica y territorial muy extensa, por lo cual pueden estar integradas en apenas uno o en varios Centro de Origen. Por ser del interés general, en el Cuadro 2 se anota el detalle del posible lugar de origen de 209 plantas diferentes de amplio reconocimiento mundial.

Cuadro 2.

Centros de Origen mundial de algunas (209) plantas cultivadas según criterio Vavílov.

No.	Centro	Planta	Nombre científico
1	Centro Sur de México y América Central	Aguacate	<i>Persea americana</i>
		Algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>
		Anona	<i>Annona reticulata</i>
		Arrurrúz	<i>Maranta arundinacea</i>
		Cacao	<i>Theobroma cacao</i>
		Calabaza, Chilacayote	<i>Cucurbita ficifolia</i>
		Camote	<i>Ipomoea batatas</i>
		Cannavalia	<i>Canavalia ensiformis</i>
		Chayote	<i>Sechium edule</i>
		Chicozapote	<i>Manilkara achras</i>
		Chile	<i>Capsicum annum</i>
		Dalia	<i>Dahlia</i> spp.
		Flor de Mayo	<i>Zephyranthes</i> spp.
		Flor de Muerto	<i>Tagetes</i> spp.
		Flor de Pascua	<i>Euphorbia pulcherrima</i>
		Frijol Botil	<i>Phaseolus polyanthus</i>
		Frijol Común	<i>Phaseolus vulgaris</i>
		Frijol Lima, Ixtapacal	<i>Phaseolus lunatus</i>
		Frijol Piloy	<i>Phaseolus coccineus</i>
		frijol Tépari, Ixomite	<i>Phaseolus acutifolius</i>
		Girasol	<i>Helianthus annuus</i>
		Grano de Amaranto	<i>Amaranthus</i> spp.
		Guayaba	<i>Psidium guajava</i>
		Guicoy	<i>Cucurbita pepo</i>
		Henequén, Maguey	<i>Agave fourcroydes</i> Lem
		Jalapa	<i>Ipomoea purga</i>
		Jocote	<i>Spontias purpurea</i>
		Maíz	<i>Zea mays</i>
		Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>
		Mejorana	<i>Ageratum houstonianum</i>
		Melón	<i>Cucumis melo</i>
		Nopal, Tuna	<i>Opuntia ficus</i>
		Papaya	<i>Carica papaya</i>
		Petitoria	<i>Cucurbita argyrosperma</i>

SECCIÓN EDITORIAL

No.	Centro	Planta	Nombre científico
1	Centro Sur de México y América Central	Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i>
		Tacaco	<i>Sechium tacaco</i>
		Tiquisque	<i>Xanthosoma</i> spp.
		Tomate Cherry	<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>Cerasiforme</i>
		Vainilla	<i>Vanilla planifolia</i>
		Zapote Mamey	<i>Pouteria sapota</i>
		Zapote Verde	<i>Dispyros digyna</i>
2	América Sur		
2	Peruano-Ecuatoriano-Boliviano	Algodón Egipcio	<i>Gossypium barbadense</i>
		Cacao	<i>Theobroma cacao</i>
		Calabaza	<i>Cucurbita pepo</i>
		Canna Comestible	<i>Canna indica</i>
		Cereza Molida	<i>Physalis</i> sp.
		Coca	<i>Erythroxylum coca</i>
		Chile	<i>Capsicum</i> spp.
		Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>
		Frijol Lima	<i>Phaseolus lunatus</i>
		Frijol Común	<i>Phaseolus vulgaris</i>
		Girasol	<i>Helianthus annuus</i>
		Guanabana	<i>Annona muricata</i>
		Guayaba	<i>Psidium guajava</i>
		Pacano, Nuez de Pecán	<i>Carya illinoensis</i>
		Papa	<i>Solanum tuberosum</i>
		Pasiflora	<i>Passiflora</i> spp.
		Pepino	<i>Solanum muricatum</i>
		Quinina o Quina	<i>Cinchona</i> spp.
		Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i>
		Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>
2A	Chiloe	Fresa Chilena	<i>Fragaria chiloensis</i>
2B	Brasileño-Paraguayo	Cacao	<i>Theobroma cacao</i>
		Caucho, Hule	<i>Hevea brasiliensis</i>
		Estevia	<i>Stevia rebaudiana</i>
		Maní	<i>Arachis hypogaea</i>
		Maracuyá	<i>Passiflora edulis</i>
		Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>
		Nuez de Brasil	<i>Bertholletia excelsa</i>
		Piña	<i>Ananas comosus</i>
		Yerba Mate	<i>Ilex paraguariensis</i>
		Yuca	<i>Manihot esculenta</i>

No.	Centro	Planta	Nombre científico
3	Mediterráneo	Achicoria	<i>Cichorium intybus</i>
		Ajo	<i>Allium sativum</i>
		Alcachofa	<i>Cynara scolymus</i>
		Algarrobo	<i>Ceratonia siliqua</i>
		Altramuz o lupino	<i>Lupinus</i> sp.
		Anis o Anix	<i>Pimpinella anisum</i>
		Apio	<i>Apium graveolens</i>
		Avena Mediterránea	<i>Avena sativa</i>
		Canarygrass	<i>Phalaris</i> spp.
		Castaña	<i>Castanea</i> spp.
		Cebolla	<i>Allium cepa</i>
		Colza	<i>Brassica napus</i> subsp. <i>Napus</i>
		Comino Persa, Alcaravea o hinojo meridiano	<i>Carum carvi</i>
		Chirivia	<i>Pastinaca sativa</i>
		Espárrago	<i>Asparagus officinalis</i>
		Espelta o Trigo Dinkel	<i>Triticum spelta</i> ; <i>Triticum dicoccum</i>
		Guisante de Hierba	<i>Lathyrus sativus</i>
		Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>
		Lino	<i>Linum usitatissimum</i>
		Lúpulo	<i>Lúpulo Humulus</i>
		Manzano	<i>Malus domestica</i>
		Menta	<i>Mentha balsamea</i> Wild
		Mostaza	<i>Mustum ardens</i>
		Mostaza Negra	<i>Brassica nigra</i>
		Nabo	<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>Rapa</i>
		Nogal	<i>Juglans regia</i>
		Oliva o Aceituno	<i>Olea europaea</i>
		Orégano	<i>Origanum vulgare</i>
		Pera	<i>Pyrus</i> spp.
		Remolacha	<i>Beta vulgaris</i>
		Repollo	<i>Brassica oleracea</i>
		Ruibarbo	<i>Rheum rhabarbarum</i>
		Salvia	<i>Salvia officinalis</i>
		Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>
		Trébol Blanco	<i>Trifolium repens</i>
		Trébol Carmesí	<i>Trifolium incarnatum</i>
		Trébol Egipcio	<i>Trifolium alexandrinum</i>
		Trigo Duro	<i>Triticum durum</i> o <i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>Durum</i>
		Trigo Emmer	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>dicoccum</i>

No.	Centro	Planta	Nombre científico
3	Mediterráneo	Trigo Polaco	<i>Triticum polonicum</i>
		Zanahoria	<i>Daucus carota</i>
4	Medio Oriente	Albaricoque	<i>Prunus armeniaca</i>
		Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>
		Alholva o Fenogreco	<i>Trigonella foenum-graecum</i>
		Almendro	<i>Prunus dulcis</i>
		Altramuz o lupino	<i>Lupinus sp.</i>
		Avena	<i>Avena spp.</i>
		Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>
		Cebolla	<i>Allium cepa</i>
		Centeno	<i>Secale cereale</i>
		Cereza	<i>Prunus avium</i>
		Ciruela	<i>Prunus spp.</i>
		Espino	<i>Crataegus rhipidophylla</i>
		Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i>
		Granada	<i>Punica granatum</i>
		Higo	<i>Ficus carica</i>
		Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>
		Lentejas	<i>Lens culinaris</i> o <i>Lens esculenta</i>
		Lino	<i>Linum usitatissimum</i>
		Manzana	<i>Malus domestica</i>
		Melocotón	<i>Prunus persica</i>
		Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i>
		Pera	<i>Pyrus spp.</i>
		Pistacho	<i>Pistacia vera</i>
		Trigo Común	<i>Triticum aestivum</i>
		Trigo Duro	<i>Triticum durum</i> o <i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>Durum</i>
		Trigo Einkorn	<i>Triticum monococcum</i> o <i>T. boeoticum</i>
		Trigo Khorasan o oriental	<i>Triticum turgidum</i> ssp. <i>Turanicum</i>
		Trigo Persa	<i>Triticum carthlicum</i>
		Uva	<i>Vitis vinifera</i>
		Vicia	<i>Vicia spp.</i>
Vicia Peluda	<i>Vicia hirsuta</i> - <i>V. villosa</i>		
5	Abisinio	Arveja	<i>Pisum sativum</i>
		Berro	<i>Lepidium sativum</i>
		Café	<i>Coffea spp.</i>
		Caupí	<i>Vigna unguiculata</i>
		Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>
		Cebolla	<i>Allium cepa</i>
		Culantro	<i>Coriandrum sativum</i>

No.	Centro	Planta	Nombre científico		
5	Abisinio	Enset, Plátano Etíope o de Abisinia	<i>Ventricosum Ensete</i>		
		Índigo, Azul Violeta	<i>Indigofera tinctoria</i>		
		Linaza	<i>Linum usitatissimum</i>		
		Lino	<i>Linum usitatissimum</i>		
		Mijo Africano	<i>Eleusine coracana</i>		
		Mijo Perla	<i>Pennisetum glaucum</i>		
		Mirra	<i>Commiphora myrrha</i>		
		Okra	<i>Abelmoschus esculentus</i>		
		Ricino	<i>Ricinus communis</i>		
		Sésamo	<i>Sesamum indicum</i>		
		Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>		
		Teff	<i>Eragrostis tef</i>		
		Trigo Emmer	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>dicoccum</i>		
		Trigo Polaco	<i>Triticum polonicum</i>		
		6	Asia Central	Ajo	<i>Allium sativum</i>
				Algodón	<i>Gossypium spp.</i>
Almendra	<i>Prunus dulcis</i> , syn. <i>Prunus amygdalus</i>				
Cáñamo Industrial	<i>Cannabis sativa</i>				
Cebolla	<i>Allium cepa</i> L.				
Espinaca	<i>Spinacia oleracea</i>				
Frijol Mungo	<i>Vigna radiata</i>				
Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i>				
Guisante, Arveja	<i>Pisum sativum</i>				
Haba de Caballo	<i>Vicia faba</i> var. <i>equina</i>				
Lentejas	<i>Lens culinaris</i> o <i>Lens esculenta</i>				
Lino	<i>Linum usitatissimum</i>				
Manzana	<i>Malus domestica</i>				
Mostaza Blanca Suave	<i>Sinapis alba</i>				
Mostaza Negra	<i>Brassica nigra</i>				
Mostaza Oriental	<i>Brassica juncea</i>				
Pera	<i>Pyrus spp.</i>				
Pistacio, Pistacho	<i>Pistacia vera</i>				
Sésamo	<i>Sesamum indicum</i>				
Trigo Blando	<i>Triticum aestivum</i>				
Uva	<i>Vitis vinifera</i>				
Zanahoria	<i>Daucus carota</i> subsp. <i>Sativus</i>				
7	Indo				
7	Indo-Birmania	Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>		
		Algodón de Árbol	<i>Crotalaria spp.</i>		
		Bambú	<i>Bambuseae spp.</i>		

No.	Centro	Planta	Nombre científico
7	Indo		
7	Indo-Birmania	Berenjena	<i>Solanum melongena</i>
		Canela	<i>Cinnamomum verum</i>
		Caña de Azúcar	<i>Saccharum spp.</i>
		Cáñamo	<i>Cannabis sativa</i>
		Cártamo	<i>Carthamus tinctorius</i>
		Caupí	<i>Vigna unguiculata</i>
		Cidra	<i>Citrus medica</i>
		Crotalaria	<i>Crotalaria spp.</i>
		Crotón o Junco	<i>Codiaeum variegatum</i>
		Cúrcuma	<i>Curcuma longa</i>
		Frijol de Arroz	<i>Vigna umbellata</i>
		Frijol Mungo	<i>Vigna radiata</i>
		Gandúl	<i>Cajanus cajan</i>
		Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i>
		Goma Arábiga	<i>Acacia (sensu lato), Acacia senegal</i>
		Índigo, Azul Violeta	<i>Indigofera tinctoria</i>
		Kenaf o Yute de Java	<i>Ibiscus cannabinus</i>
		Mandarina	<i>Citrus reticula L.</i>
		Mango	<i>Mangifera indica</i>
		Ñame	<i>Colocasia esculenta</i>
		Palma de Coco	<i>Cocos nucifera</i>
		Pepino	<i>Cucumis sativus</i>
		Pimienta Negra	<i>Piper nigrum</i>
		Rábano	<i>Raphanus raphanistrum subsp. Sativus o Raphanus sativus</i>
		Sándalo	<i>Santalum album</i>
		Sésamo	<i>Sesamum indicum</i>
		Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>
		Taro o Kalo	<i>Colocasia esculenta</i>
		Yute	<i>Corchorus olitorius</i>
7A	Siam-Malaya-Java	Abacá	<i>Musa textilis</i>
		Arroz	<i>Oryza spp.</i>
		Candlenut o Kukui	<i>Aleurita moluccanus</i>
		Cártamo	<i>Carthamus tinctorius</i>
		Clavo de Olor	<i>Syzygium aromaticum</i>
		Caña Azúcar	<i>Saccharum spp.</i>
		Cáñamo de Manila	<i>Musa textilis</i>
		Frijol Terciopelo	<i>Mucuna pruriens</i>
		Fruta de Pan	<i>Artocarpus altilis</i>

No.	Centro	Planta	Nombre científico
7A	Siam-Malaya-Java	Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i>
		Jengibre	<i>Zingiber officinale</i>
		Lágrima San Pedro	<i>Coix lacryma-jobi</i>
		Lenteja	<i>Lens culinari</i>
		Mango	<i>Mangifera indica</i>
		Mangostán	<i>Garcinia mangostana</i>
		Nuez Moscada	<i>Myristica fragrans</i>
		Palma de Coco	<i>Cocos nucifera</i>
		Pepino	<i>Cucumis sativus</i>
		Pimienta Negra	<i>Piper nigrum</i>
		Plátano, Banano	<i>Musa acuminata y Musa balbisiana</i>
		Pomelo	<i>Citrus maxima o Citrus grandis</i>
		Sorgo	<i>Sorghum spp.</i>
	China	Adormidera	<i>Papaver somniferum</i>
		Arroz	<i>Oryza glaberrima y O. sativa</i>
		Ajonjolí, Sesamo	<i>Sesamum indicum</i>
		Albaricoque	<i>Prunus spp.</i>
		Alcanfor de Ginseng	<i>Panax spp.</i>
		Avena	<i>Avena sativa- A. brizantia</i>
		Caña de Azúcar	<i>Saccharum spp.</i>
		Cáñamo	<i>Cannabis sativa</i>
		Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>
		Cebolla	<i>Allium cepa L.</i>
		Cereza	<i>Prunus avium</i>
		Durazno	<i>Prunus persica</i>
		Espárrago	<i>Asparagus officinalis</i>
		Haba de Terciopelo	<i>Mucuna pruriens</i>
		Judía Adzuki	<i>Vigna angularis</i>
		Kiwi	<i>Actinidia deliciosa</i>
		Litchi	<i>Litchi chinensis</i>
		Manzana China	<i>Pyrus pyrifolia</i>
		Melocotón	<i>Prunus persica</i>
		Mijo de Escoba	<i>Panicum miliaceum</i>
		Mijo Italiano	<i>Panicum italicum L.</i>
		Mijo Japonés Corral	<i>Echinochloa esculenta</i>
		Morera	<i>Morus alba</i>
		Naranja	<i>Citrus maxima</i>
		Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>
		Nuez	<i>Juglans regia</i>
		Ñame Chino	<i>Dioscorea polystachya</i>

No.	Centro	Planta	Nombre científico
8	China	Pepino	<i>Cucumis sativus</i>
		Pera	<i>Pyrus spp.</i>
		Rábano	<i>Raphanus raphanistrum</i> subsp. <i>Sativus</i> o <i>Raphanus sativus</i>
		Repollo Chino	<i>Brassica rapa</i> , subsp. <i>pekinensis</i> y <i>chinensis</i>
		Sorgo	<i>Glycine max</i>
		Soya	<i>Glycine max</i>
		Trigo Sarraceno	<i>Fagopyrum esculentum</i>

Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Center_of_origin. León (1994). Revisión de literatura por los autores.

En un interesante estudio desarrollado por el connotado científico nacional experto en temas de recursos fitogenéticos, Dr. Jorge León Arguedas (Figura 4), titulado “Aportes de Mesoamérica a la Agricultura Mundial”, procura identificar la contribución genética de esa región al mundo, emplazada desde el Centro y Sur de México, Belice, Guatemala, El Salvador, la Región Occidental de Honduras, la Vertiente del Pacífico de Nicaragua y la Península de Nicoya en Costa Rica. Cabe señalar que Vavilov reconoció y declaró en 1930 esta región como uno de los Centros de Origen más relevantes por su significativo aporte a la agricultura mundial y también a la domesticación de muchas especies importantes.

Considera el Dr. León que existen cerca de 80 cultivos que pueden considerarse originarios de la región de Mesoamérica, siendo algunos de ellos de amplio reconocimiento y aceptación mundial, como acontece con el maíz, cacao, algodón, tomate, frijoles (cinco especies), chile, aguacate, chayote y otras cucurbitáceas (ayote, güicoy, pepitoria, chilacayote); asimismo la vainilla, el sisal, la tuna y las dalias proceden de la zona. De igual manera se han ubicado muchas especies de frutales (jocote, zapote mamey, zapote verde, anona), ornamentales, plantas medicinales (mejorana, flor de muerto, nardo, flor de mayo), la tradicional flor de pascua y numerosas especies hortícolas (Cuadro 2).

Expresó el Dr. León en torno al tema, que “De especial interés es el hecho de que las especies mencionadas tienen en Mesoamérica una alta diversidad, y que incluye cultivares primitivos y poblaciones y congéneres silvestres, de valor potencial en programas de mejoramiento genético.” Apenas como dato interesante, cabe anotar que en conversación personal mantenida con el Dr. León, este manifestaba que las dos grandes contribuciones de Costa Rica al mundo fueron el chayote (*Sechium edule*) y el tacaco (*Sechium tacaco*).

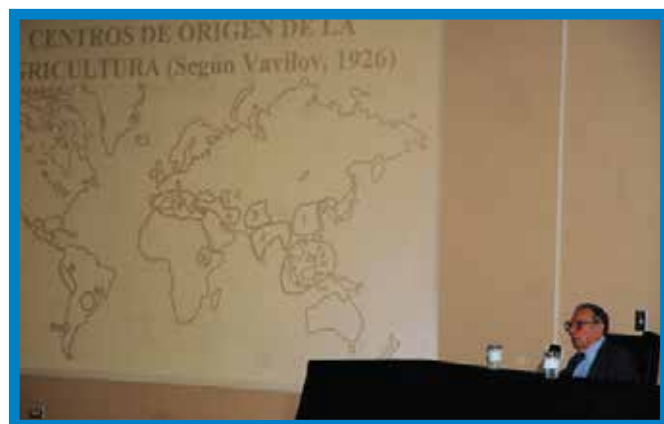


Figura 4.

Exposición del Dr. Jorge León Arguedas (*) sobre los Centros de Origen de Vavilov.

Centro de origen de la caña de azúcar

Los parientes silvestres de las plantas domesticadas y de potencial uso comercial, son aquellas especies que tienen algún tipo de vínculo genético con la especie domesticada, incluyendo a sus ancestros directos. Por lo general, esos antecesores suelen tener y presentan altos grados de diversidad genética que son el resultado de largos procesos evolutivos naturales de miles a millones de años de acumulación; razón por la cual, su periodo evolutivo es muy superior en relación al tiempo de vida que han mantenido las especies domesticadas que se estima no supera los 10.000 años de antigüedad.

Asimismo, su historia natural no ha sido influenciada ni intervenida por el hombre. La definición de pariente silvestre se basa en el grado de relación o parentesco que una especie tenga con el cultivo. **El principio filogénico de los parientes silvestres resulta fundamental para poder vislumbrar, dimensionar y sobre todo comprender la importancia que ese valioso recurso tiene y mantiene en cualquier emprendimiento serio de mejora genética, en este caso de la caña de azúcar, que pretenda introducir cambios relevantes en la composición de las progenies que se deriven del cruce de progenitores valiosos.**

En concordancia con lo anterior, Vavilov definió como fue ya abordado, los Centros de Origen de las plantas cultivadas como regiones de máxima variación que usualmente incluye e involucra características y formas endémicas, sugiriendo que pueden ser considerados como centro de formación de biotipos. En esos lugares se pueden hallar con bastante frecuencia en el interior de su distribución, caracteres genéticos dominantes, diferenciándose de los de la periferia que pertenecen generalmente a formas recesivas; esto por cuanto se encuentran bajo condición de aislamiento en islas, montañas o lugares agrestes. Es en esos centros donde puede encontrarse mayor diversidad de variedades específicas.

En este acápite, Vavilov hace la separación y distinción entre centros primarios y secundarios



de diversidad, donde los primarios se refieren a las áreas de aparición inicial de los cultivos, y los centros secundarios, a aquellos que también poseen una alta diversidad interespecífica, pero que se encuentran distantes respecto de los centros primarios donde se originó su domesticación, y que serían resultado de la rápida y simultánea dispersión de algunos cultivos a otras regiones.

Incorporando y aplicando sus criterios y principios metodológicos, Vavilov propuso como se anotó y describió anteriormente ocho centros primarios y subcentros o centros secundarios de origen de la agricultura, ubicando con ello el **posible origen de la caña de azúcar en los Centros de China y la India considerando sus subcentros Indo-Burma y Siam-Malaya-Java**, como se indicó en la Figura 3. De manera concordante y coincidente, Chaves (2018a) ubica en esa amplia región geográfica y caracteriza por su componente cromosómico, el presunto lugar de origen y contenidos de sacarosa y fibra de cada una de las seis especies asociadas al género y grupo Saccharum, como se describe en el Cuadro 3 adjunto.

Cuadro 3.

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

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

* Especies silvestres.

Fuente: Chaves (2016, 2018a); Moore *et al* (2014); Heinz (1987); Stevenson (1965).

En lo específico y particular al valorar las especies del género *Saccharum*, señala Chaves (2018a) que el origen probable de *Saccharum officinarum* L. se ubica en el archipiélago de Indonesia, Nueva Guinea y el este de la línea de Wallace de Huxley (línea imaginaria que marca un límite biogeográfico en el archipiélago malayo y que separa los continentes de Asia y Oceanía); su posible origen se proyecta hasta Filipinas. Cita como posibles ancestros de la especie *S. spontaneum*, *Miscanthus* y *Erianthus arundinaceus*.

En torno a la especie *Saccharum spontaneum* señala que la misma es polimórfica mostrando la distribución geográfica más amplia de todo el género *Saccharum*, lo que la ubica en zonas tropicales y subtropicales que van desde las islas del Pacífico Sur, Taiwán, la península Malaya hasta Afganistán. Se le considera junto con *S. robustum* una especie silvestre. Se dice que las cañas de *Saccharum barberi* Jeswiet son por su parte muy antiguas, ubicando su posible origen en el norte de la India. Las cañas de la especie *Saccharum sinense* Roxb resultan ser por su parte

muy similares en sus características a *S. barberi*, aunque su origen antiguo casi prehistórico se establece en la región de China, por lo cual son reconocidas como las “cañas chinas”. En el caso de *Saccharum robustum* Brandes se le considera por origen y distribución geográfica como la especie silvestre más afín y cercana a *S. officinarum*. Se le encuentra creciendo en las montañas y riberas de los ríos en Nueva Guinea e Indonesia, estableciéndose su rigen desde la línea de Wallace, a través de Nueva Guinea y Nuevas Hébridas. Se le considera junto con *S. spontaneum* una especie de carácter silvestre.

La *Saccharum edule* Hassk es morfológicamente una especie muy similar a *S. robustum* motivo por el cual algunos investigadores la califican como un mutante de la misma; otros autores sugieren por el contrario la existencia de dos grupos: 1) de Nueva Guinea resultado de la introgresión de *S. robustum* x *Miscanthus* y 2) de Fiji producto del cruzamiento de *S. officinarum* x *Miscanthus*.

Conclusión

La reciente celebración del décimo segundo aniversario del Depósito Mundial de Semillas (también conocido como Depósito del Juicio Final), inaugurado en febrero del 2008 con el fin de proteger de una posible catástrofe local o mundial, en una galería subterránea ubicada en las Islas Svalbard en Noruega, semillas que representan y contienen la biodiversidad de las especies de los cultivos básicos (cerca de un millón de plantas únicas) que son la base alimentaria universal, restituye la atención sobre la importancia y necesidad de conservar semillas indispensables para la alimentación y la agricultura, pero sobre todo, rinde tributo y reconocimiento a la importante labor realizada por Vavílov por procurar acabar con la hambruna mundial (Wikipedia 2020b). No hay duda en reconocer que los agricultores han mejorado los cultivos durante milenios, sin embargo, resulta justo y meritorio reconocer que el énfasis prestado en la conservación de la diversidad de cultivos *ex situ* está históricamente vinculado a Nikolái Vavílov, que creó uno de los primeros bancos de germoplasma en Rusia en el año 1921.

Es un hecho cierto y demostrado que la diversidad de parientes silvestres de cultivos y plantas comestibles se está erosionando continuamente, razón por la cual, es de esperar que muchas de estas variedades se extingan en un plazo no muy lejano, motivo para pensar y actuar en su inmediata recuperación y resguardo. La idea de Vavílov no pierde ni perderá nunca vigencia.

Pese al peligro subyacente, existe aún un rico acervo vegetal con gran potencial que constituye un importante reservorio de información genética por explotar. De acuerdo con FAO, hay en el mundo cerca de 300.000 a 500.000 especies de plantas de las cuales se han identificado y descrito apenas unas 250.000, de las cuales solo 30.000 son comestibles y 7.000 de las mismas han sido recolectadas, manteniendo el sustento alimentario básico mundial en apenas 30 de ellas. Los números del enorme potencial genético cautivo esperando ser aprovechado son muy reveladores.

Los Centros de Origen son fuentes de

biodiversidad donde se encuentran y conservan los parientes silvestres que dieron origen a las plantas cultivadas, motivo por el cual representan una valiosa e incuestionable fuente de variación genética potencial para promover el mejoramiento de los cultivos, lo que resulta de mucha relevancia actual virtud de los escenarios futuros de incertidumbre ambiental producto del cambio climático. Los parientes silvestres de la caña de azúcar suelen ser más diversos y prolíficos en el lugar de su origen ancestral, en este caso Asia.

Como quedó demostrado, lo indicado y aplicado por Vavílov como resultado de sus múltiples expediciones por el mundo, es muy acertado con respecto al cultivo de la caña de azúcar; lo cual resulta de extrema importancia y trascendencia para el trabajo de mejoramiento genético de la planta. Es conocido y está suficientemente confirmado que la caña de azúcar es una planta excepcional dotada de características y atributos muy especiales en lo anatómico y fisiológico, que pese a poseer una alta capacidad combinatoria y de variabilidad basada en su poliploidia y genética privilegiada, requiere imperativamente sin embargo, superar la alta condición de endogamia y consanguinidad que mantiene en la mayoría de cultivares de uso comercial, y que lamentablemente se fortalece cada vez más con el perjuicio que eso conlleva.

Por esta y otras razones, resulta obligado acudir a las fuentes silvestres de variabilidad natural que se ubican en los Centros de Origen Vavílov, para introducir cambios que aseguren adaptabilidad a condiciones adversas asociadas al incremento de los índices de productividad agroindustrial.





Literatura consultada

- Angulo, A.; Durán, J.R.; Chaves, M. 1999. *Composición genética del Banco de Germoplasma de caña de azúcar de Costa Rica*. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: Manejo de Cultivos. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen II. p: 233-234. También en: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 73-74. También en: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 14-15.
- Chaves Solera, M.A. 1995. *Características de la variedad ideal de caña para la producción de azúcar en Costa Rica*. En: Simposio sobre Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Costa Rica, 1, Puntarenas, Costa Rica, 1995. Memorias. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. p: 293-306.
- Chaves, M. 1999. *Determinación de la vigencia comercial de 60 variedades tradicionales de caña de azúcar en Costa Rica*. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: Manejo de Cultivos. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen II. p: 237. También en: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 77. También en: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 18.

- Chaves Solera, M.A. 2013. *Composición del Banco de Germoplasma de caña de azúcar de Costa Rica*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, enero. 28 p.
- Chaves Solera, M.A. 2016. *La mejora genética de la caña de azúcar en Costa Rica*. En: Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, 14, Centro de Conferencias del Hotel Wyndham Herradura, Heredia, Costa Rica, 2016. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, octubre 27 al 29. 28 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017a. *Floración en la Caña de Azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, abril. 68 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017b. *Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica*. En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 2017c. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 38 p.
- Chaves Solera, M.A. 2018a. *Genética aplicada a la mejora de las plantaciones comerciales de caña de caña de azúcar*. En: Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 43 p.
- Chaves Solera, M.A. 2018b. *Siembra comercial de variedades de caña de azúcar: dinámica histórica de su cultivo en Costa Rica*. En: Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 89 p.
- Chaves Solera, M.A. 2018c. *Las 75 variedades de caña de azúcar más sembradas comercialmente en Costa Rica durante el periodo 1986-2016 (30 años)*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 15 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. *Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. *Clima y floración en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(9): 5-7, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019c. *Ambiente agro climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.
- Chaves Solera, M.A. 2019d. *Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica*. En: Seminario Internacional: Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica. Hotel Condovac La Costa, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2019. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 15, 16 y 17 de octubre, 2019. 114 p.

SECCIÓN EDITORIAL

- Chaves Solera, M.A. 2019e. *Clima, maduración y concentración de sacarosa en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático. Volumen 1 Número 15, octubre-noviembre. p: 5-8.
- Chaves Solera, M.A. 2019f. *Temperatura, desarrollo y concentración de sacarosa en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático. Volumen 1 Número 16, octubre-noviembre. p: 5-9.
- Chaves Solera, M.A. 2019g. *Incidencia de las bajas temperaturas en la concentración de sacarosa en la caña de azúcar: el caso de Costa Rica*. Boletín Agroclimático. Volumen 1 Número 17, noviembre-diciembre. p: 6-10.
- Chaves Solera, M.A. 2020a. *Estrés por calor en la caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(5): 5-12, marzo.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. *Estrés por frío en la caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(7): 6-16, marzo-abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. *Estrés hídrico en la caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(8): 5-16, abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020d. *Estrés por viento en la caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(9): 4-15, abril.
- Chaves Solera, M.A. 2020e. *Atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar para enfrentar el cambio climático*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 5-14, mayo.
- Crow, J. F. 2001. *Plant breeding giants. Burbank, the artist; Vavilov, the scientist*. Genetics 158(4): 1391-1395.
- Díaz Guillén, F. 2010. *El proceso de domesticación en las plantas*. Consultado el día 09 de agosto 2020 en la dirección: http://www.uam.mx/difusion/casadel tiempo/28_iv_feb_2010/casa_del_tiempo_elV_num28_66_70.pdf
- Fernández Sanmartín, E. 2017. *Vavilov y las plantas cultivadas*. En: Exposición "Plantas de Ida y de Vuelta" & Ciclo de Conferencias. Academia Malagueña de Ciencias, España, abril. p: 125-131.
- Heinz, D.J. 1987. *Sugarcane improvement through breeding*. New York, U.S.A. Elsevier Science Publishers B.V. 603 p.
- Laguna, E. 2016. *Revisión de Libro. Vavilov, N.I. Cinco continentes*. Bilbao, España. Libros del Jata S.L. Rev. Biol. Trop. Vol 64 (2): 927-930, june. p: -927-930.

León, J. 1994. *Aportes de Mesoamérica a la Agricultura Mundial*. En: Historia General de Guatemala. Tomo I. Asociación de Amigos del País. Guatemala. p: 495 - 502.

León, J. 2003. *Nikolái Ivánovich Vavilov: padre de la fitogeografía aplicada*. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) N° 67: 1-4.

Moore, P.H.; Paterson, A.H.; Tew, T. 2014. *Sugarcane: The Crop, the Plant, and Domestication*. In: Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology. 2014. edited by Paul H. Moore, Frederick C. Botha. John Wiley & Sons, Inc. p: 1-17.

Parra Rondinel, F.A. 2014. Consultoría. *Servicio de Sistematización de Información para la elaboración de un documento sustentatorio sobre Centros de Origen y Diversidad Genética para el Convenio sobre la Diversidad Biológica - CBD*. Perú. Dirección General de Diversidad Genética, Ministerio del Ambiente. 75 p.

Stevenson, G.C. 1965. *Genetics and Breeding of Sugar Cane*. Longmans Trop. Sc. Series, London. 284 p.

Wikipedia. 2020a. *Germoplasma*. Consultado el día 20 de agosto 2020 en la dirección: https://www.google.com/search?rlz=1C1NHXL_esCR766CR766&ei=myEwX732HKGJggeMioXQBQ&q=Germoplasma&oeq=Germoplasma&gs_lcp.

Wikipedia. 2020b. *La 'bóveda del fin del mundo' supera el millón de muestras de semillas almacenadas*. Consultado el día 23 de agosto 2020 en la dirección: <https://www.lavanguardia.com/natural/20200225/473786349973/arca-de-noe-artica-supera-millon-de-semillas-almacenada-con-nue>





USO DE ATRAYENTES PARA EL CONTROL DE PLAGAS EN CAÑA DE AZÚCAR.

Ing. Agr. Jose Daniel Salazar Blanco¹

Introducción

Los semioquímicos son compuestos químicos liberados naturalmente por los organismos que facilitan la comunicación entre miembros de la misma o de diferente especie. Los semioquímicos se dividen en dos tipos: feromonas en cuyo caso son sustancias químicas que sirven para la comunicación intraespecífica y en aleloquímicos que corresponden a señales químicas que transfieren diversos mensajes entre diferentes especies de un ecosistema. En animales, la capacidad de detectar y discriminar feromonas en un entorno químico complejo contribuye sustancialmente a la supervivencia de la especie. Los insectos utilizan ampliamente las feromonas para atraer parejas de apareamiento, para alarmar a los congéneres o para marcar caminos hacia fuentes ricas de alimentos. Las diversas funciones de las feromonas para los insectos se reflejan en la diversidad química de las mismas. La detección precisa de las señales intraespecíficas relevantes se logra mediante neuronas quimiosensoriales especializadas alojadas en la sensilia ubicada en la superficie de los apéndices corporales (Fleischer y Krieger, 2018).

Las feromonas son sustancias químicas secretadas por los animales que provocan comportamientos específicos en otros individuos de la misma especie. Se comportan como un medio de transmisión de señales cuyas principales ventajas son el alcance a distancia y el poder sortear obstáculos, puesto que son arrastradas por las corrientes de aire (Regnier y Law, 1968). Otra definición de feromona es que

son compuestos orgánicos que sirven para la comunicación entre individuos de la misma especie, e inducen un cambio en el comportamiento o en el proceso de desarrollo. Los insectos presentan diferentes feromonas propias de cada especie: sexual, trillo, defensa, agregación, anti microbios, entre otros (Blanco, 2004).

El término feromona se deriva del griego "pherein" (para llevar) y "horman" (para excitar, estimular). Las feromonas funcionan influenciando a otros miembros de la misma especie, no al individuo que las produjo. Las feromonas afectan el sistema nervioso central en



¹Ing. Agrónomo. Programa de Fitosanidad – Manejo de Plagas. LAICA – DIECA. jsalazar@laica.co.cr



dos diferentes caminos. Primero, una clase de compuestos provoca una respuesta conductual inmediata en la recepción, como en el caso de las sustancias sexuales mencionadas anteriormente. El segundo grupo de compuestos tiene un efecto retardado en el comportamiento. La naturaleza misma de la comunicación química entre los animales requiere que las feromonas sean volátiles y así estar sujeto a las leyes de difusión gaseosa. En la mayoría de los casos, las feromonas se liberan de las glándulas exocrinas como líquidos que se evaporan en el aire circundante y forman una nube de vapor sobre el animal de señalización (Regnier y Law, 1968).

La distancia a través de la cual una feromona puede transmitir un mensaje es una función de la volatilidad del compuesto, su estabilidad en el aire, su velocidad de difusión, eficiencia olfativa del receptor y, por supuesto, las corrientes de viento (Regnier y Law, 1968).

Entendiendo que las feromonas son producidas naturalmente, un sector químico industrial ha aprovechado la capacidad de sintetizarlas en laboratorio para su aprovechamiento comercial cubriendo una parte del mercado de productos fitosanitarios. La producción anual estimada de señuelos para monitoreo y captura masiva es del orden de decenas de millones, cubriendo al menos 10 millones de hectáreas (Witzgall et al., 2010).

Las feromonas son cada vez más eficientes a bajas densidades de población, no afectan negativamente a los enemigos naturales y, por lo tanto, pueden provocar una reducción a largo plazo en las poblaciones de insectos que no se pueden lograr con los insecticidas convencionales (Witzgall et al., 2010). La eficacia de las feromonas ha sido demostrada en múltiples trabajos a nivel mundial, como lo reportado en Zambia en donde evaluaron variantes de trampas para capturas de polillas de *Spodoptera frugiperda* con feromona sexual con redes impregnadas de insecticidas de dos colores en cultivos de maíz y trigo; capturaron 78,7% más insectos que el control sin feromona y sin redes (Chipabica et al., 2018).

Investigaciones realizadas en Costa Rica determinaron que la captura del picudo rayado de la caña de azúcar (*Metamasius hemipterus serius*) fue significativamente mayor con feromona de agregación y una kairomona respecto a las capturas en el control sin ese último compuesto (McDonald et al., 1996).

Es importante indicar que el uso de las feromonas dependerá de la presencia de adultos volando según la época del año, donde las condiciones ambientales pueden ser determinantes para la presencia de la plaga, siendo que las capturas de polillas de *Spodoptera*

disminuyen casi por completo durante el periodo de lluvias a pesar de hacer reemplazos de las feromonas cada 30 días (Salazar et al., 2020). Otras investigaciones indican que a pesar del reemplazo de la trampa de captura con señuelo fresco, las capturas se mantienen bajas, lo que significa que la población de plagas disminuyó debido a los aerosoles de insecticidas que mataron larvas de *Spodoptera* o al agotamiento de la población (Chipabica et al., 2018).

Los señuelos de feromonas son componentes importantes tanto en el monitoreo como en el control de plagas de insectos. Para ser utilizado efectivamente, es necesario comprender la biología del insecto junto con los aspectos socioeconómicos de su uso (Chipabica et al., 2018). Conocer sobre los componentes de la trampa según la feromona usada y el insecto meta a atraer, es necesario para ser más efectivos en las capturas, en donde se debe considerar además el diseño de la trampa, la resistencia de los materiales a las condiciones de las fincas, la época en la que se deben colocar, distribución en el campo y el costo, sin dejar de lado los medios para evitar el escape de los insectos capturados (agua + jabón, sustancia adhesivas, insecticidas, entre otros).

Esta técnica de monitoreo y control masivo de insectos se acopla muy bien a sistemas de manejo integrado de plagas contribuyendo con un menor y más responsable uso de insecticidas, haciendo control del agente plaga y no afectando organismos no objetivo.

En caña de azúcar se utilizan básicamente tres tipos de semioquímicos:

a) Feromonas sexuales: intervienen en la atracción del macho hacia la hembra. Son formulaciones químicas obtenidas en laboratorio que se utilizan para capturar insectos. Su mecanismo de acción está basado en la imitación de las sustancias que los propios insectos segregan para atraer a los individuos de sexo contrario. Las feromonas sexuales liberan todo el repertorio de comportamiento sexual. Por lo tanto, un insecto macho puede sentirse atraído e intentar copular con un objeto

inanimado que tiene feromona sexual. Parece que la mayoría de los insectos son bastante sensibles y selectivos para la feromona sexual de su especie (Regnier y Law, 1968). Si bien las feromonas sexuales generalmente se consideran señales de reconocimiento de pareja específicas de la especie, los estudios han demostrado diversos grados de especificidad de feromonas entre especies estrechamente relacionadas, así como el polimorfismo de feromonas en zonas geográficamente separadas (Robbins et al., 2006). En Costa Rica se reporta que feromonas sintéticas de especies de *Phyllophaga* pueden capturar abejones de diferentes especies de ese género y en otros casos abejones de géneros diferentes en regiones geográficas diferentes (Salazar et al., 2016, LAICA, 2017 y LAICA, 2019). Las feromonas comerciales de *Spodoptera* spp., la de *Elasmopalpus lignosellus* y las de distintos tipos de *Diatraea* corresponden a feromonas sexuales.

b) Feromonas de agregación: corresponden a feromonas producidas por un sexo, generalmente el macho, que tiene efecto de atracción sobre los dos sexos. Las utilizan los individuos para acercarse, lo que lleva a que se reúnan en gran cantidad formando colonias en un mismo lugar. El uso potencial de una feromona de agregación, como la producida por el gorgojo (picudo) de la caña de azúcar *Metamasius hemipterus serius* (Oliver), puede ser empleada para el monitoreo de actividad adulta o para su trampeo masivo (McDonald, 1996).

c) Kairomonas: es un semioquímico emitido por un organismo, que media interacciones interespecíficas que son recibidas por individuos de especies diferentes, con una acción beneficiosa para los receptores. Las kairomonas proporcionan dos claves ecológicas principales, generalmente indican una fuente de alimento para el receptor o la presencia de un depredador o riesgo ante agentes patógenos (Grasswitz y Jones, 2002).

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

Feromonas para abejones de mayo (*Phyllophaga* spp.) Es una de las más utilizadas en el país, iniciando en Guanacaste en la década de los años 90 con estudios pioneros realizados en CATSA. Para la captura de abejones de mayo se utiliza una feromona sexual para atraer machos de diversas especies del género *Phyllophaga*.

Estas feromonas sexuales tienen algunas características que es necesario conocer para tener claro su uso. Por un lado, una alta proporción de las capturas son machos. En Estados Unidos, se encontró que la captura de hembras en trampas con feromonas sexuales en especies del género *Phyllophaga* solo representa el 0,38% de la captura total, lo que sugiere que los atrayentes sintetizados no funcionan como feromonas de agregación en ninguna de las especies (Robbins *et al.*, 2006). La relación de sexos en *P. elenans* puede ser cercana a 4 machos por hembra (Oehlschlager *et al.*, 2003) lo que demuestra, si se compara con los resultados en Estados Unidos que hay variaciones en esa relación según los componentes de las feromonas, las especies meta a capturar y la distribución geográfica. Además, se ha demostrado la capacidad de capturas de las trampas con esos atrayentes si se compara a trampas sin ellas. También se evidencia la importancia del uso de trampas con feromonas sexuales porque las capturas de machos de las trampas de control solo representó el 0,25% de la captura total (Robbins *et al.*, 2006).

La captura del abejón de mayo en las regiones cañeras de Costa Rica con influencia de la Vertiente de Pacífico (Guanacaste, Puntarenas, Valle Central y Región Sur) es una de las estrategias más importantes del control y prevención de daños de esta plaga. Para ello se debe utilizar la feromona sexual de la especie que predomina en cada región. Diversas investigaciones realizadas para determinar la eficiencia en la captura de abejones de mayo en el país permitieron confirmar cuáles son las feromonas que se deben usar. En Guanacaste la feromona más eficiente es la de *Phyllophaga elenans* (Oehlschlager *et al.*, 2003). Está demostrado que en Puntarenas predomina *P. elenans*, por tanto es la feromona que se debe usar, aunque en una localidad cercana los estudios demostraron que se pueden usar las

feromonas de esa especie así como las de *P. vicina* y *P. obsoleta*. En el Valle Central se recomienda la feromona de *P. menetriesi* pero dependiendo de la localidad el uso de *P. vicina* se puede justificar. En la Región Sur se debe usar la feromona de *P. menetriesi*, pero se encontró que la feromona de *P. vicina* puede capturar abejones de *P. vicina* y otras especies como *P. morganella*, *P. chiriquina*, *P. menetriesi* y algunas especies de los órdenes *Anomala* y *Cyclocephala* entre otros (Salazaret *al.*, 2016).

Un trabajo de validación de feromonas considerando dos localidades con influencia de la Vertiente Caribe de Costa Rica (Juan Viñas y Turrialba) ubicadas en tres pisos altitudinales por un periodo de 18 meses estableció que la feromona que se debe usar en esas condiciones ambientales es la de *P. menetriesi* que capturó el 92,8% de abejones cuando se colocan entre 1145 y 783 msnm, mientras a alturas cercanas a 1545 hay más diversidad de abejones pero con niveles de captura muy bajos (LAICA, 2017). Trabajo similar se ejecutó en la Región Norte del país en tres localidades con capturas muy bajas encontrando que la feromona con mayores capacidad de capturar fue la de *P. vicina* (LAICA 2019).

Estas feromonas se colocan en trampas inmediatamente después de la primera lluvia, al finalizar la época seca y por un periodo aproximado de 22-30 días que corresponde al mayor periodo de vuelo de los abejones (Figura 1). Se colocan a 50 metros entre sí en los bordes de los cañales. La captura se incrementa cuando se ubican cerca de árboles hospederos, donde se alimentan, en los bordes del cultivo con respecto al campo de donde emergen o en bordes cubiertos con hierbas (Oehlschlager *et al.*, 2003). Algunos de esos árboles son malinche, guácimo, madero negro y poró, entre otros.

Las trampas pueden ser hechas con diferentes materiales como lata y plástico (Figura 2). Las cubetas, pichingas, estañones y huecos en el suelo con plástico en el fondo son muy efectivas (Salazar, 2020).

La feromona se coloca en la trampa por lo general guiando de la tapa o de la estructura que sirve para que los abejones choquen al ser atraídos y caigan en el recipiente de captura.

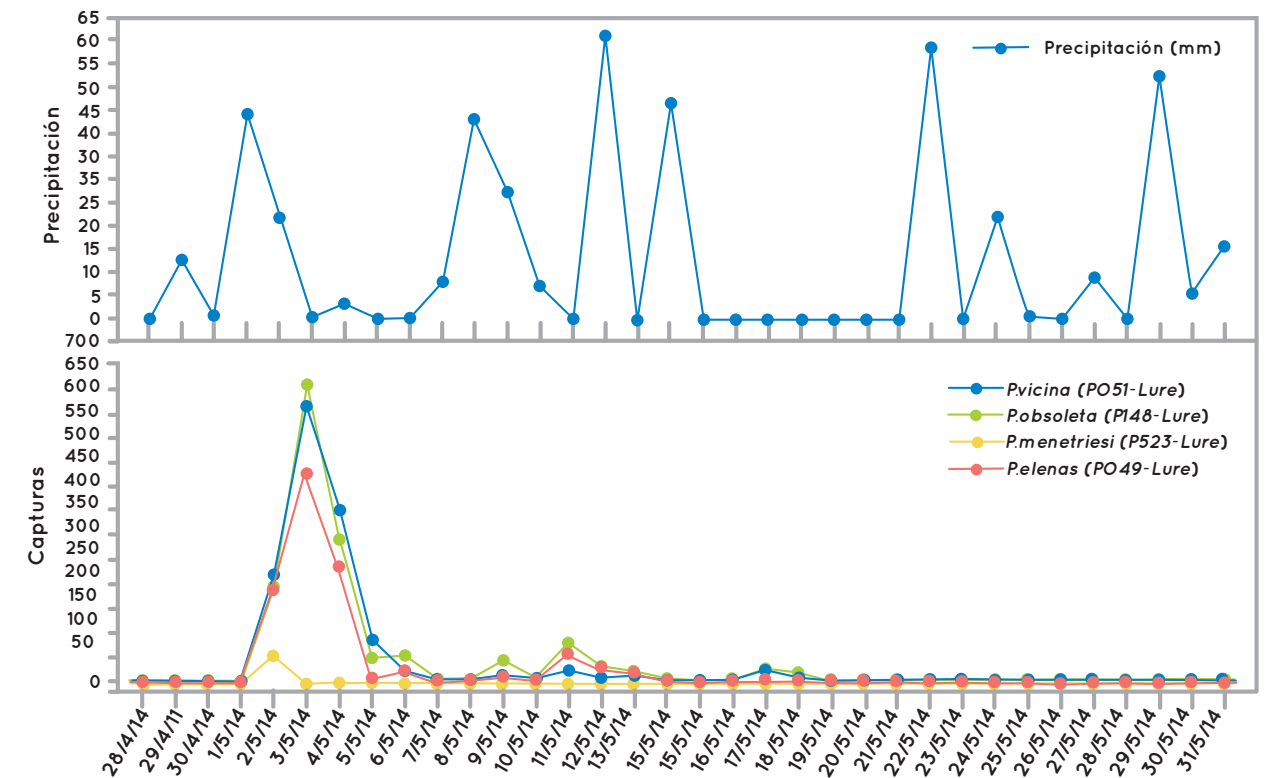


Figura 1.

Captura promedio diaria de abejones por trampa con cuatro feromonas sexuales en Tivives, Costa Rica. Fuente: Salazar *et al.*, 2016.



Figura 2.

Tipos de trampas con feromona sexual para la captura del abejón de mayo *Phyllophaga* spp. Salazar, 2020.

Feromonas para picudos (*Metamasius* spp.)

En Costa Rica, los primeros trabajos de capturas del picudo con feromonas de agregación se desarrollaron en San Carlos y Juan Viñas en la década de los 90 cuando se encontró que trampas con el señuelo capturaba cuatro veces más picudos que trampas sin el señuelo (McDonald et al., 1996). También valoraron el efecto de trampas a nivel de suelo y a un metro de altura, compararon trampas de bambú y plásticas, distribución y distancia entre trampas. Posteriormente, se realizaron diversas investigaciones sobre modelos de trampas

(galones plásticos y bambú) y atrayentes (caña + feromona contra caña + feromona + acetato etilo); de esos resultados se derivan las recomendaciones que se hacen para la utilización del trapeo con la feromona como un método de monitoreo, captura y regulación de poblaciones (Oehlschlager et al, 2003).

La captura del picudo de la caña (*Metamasius hemipterus*) se realiza mediante la utilización de una feromona de agregación llamada "Metalure", mientras el picudo de la piña que puede aparecer en plantaciones de caña, se captura con la feromona *Metamasius dimidiatipennis* (Figura 3) (LAICA, 2017 y LAICA, 2019).

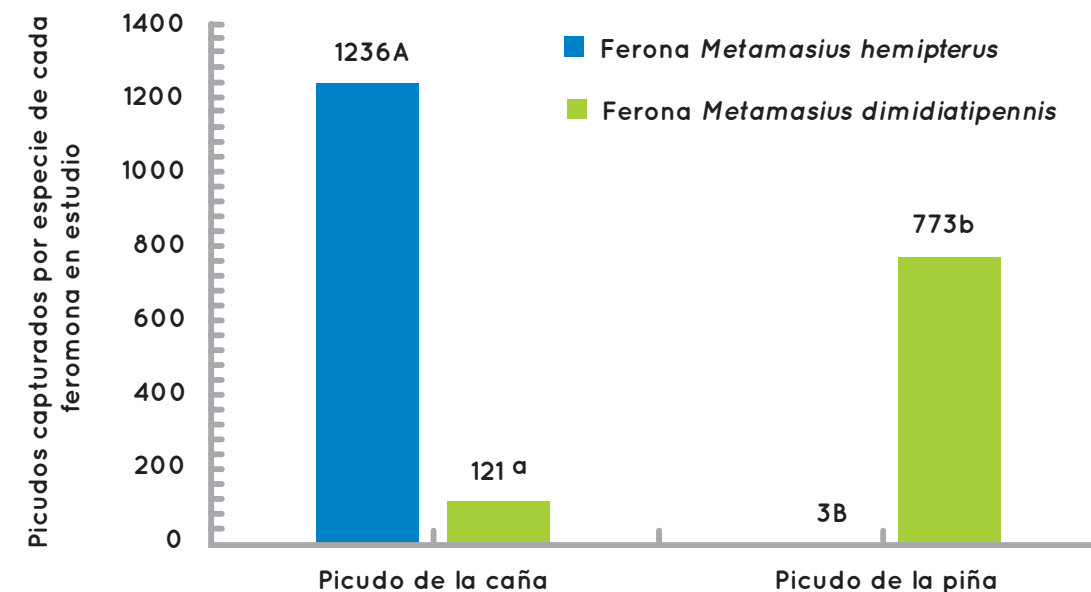


Figura 3.

Captura total de picudos en trampas con feromonas de agregación durante un periodo de 13 meses. Los Chiles, Alajuela. Años 2017-2018. Fuente: LAICA, 2019.

La feromona se coloca en trampas confeccionadas con bambú o botellas plásticas. Los atrayentes deben ser reemplazados cada tres meses. La trampa debe quedar a nivel de suelo y recubierta con hojas secas. Se debe limpiar y renovar la caña y la solución de agua + melaza + insecticida cada 10-15 días. Es necesario usar como potenciador de las capturas el producto Weevil Magnet compuesto de acetato etilo y que actúa como una kairomona (Figura 4).

Otra técnica de control que puede ser utilizada es la colocación de hongos entomopatógenos en la trampa reemplazando el insecticida químico, buscando con ello la diseminación de entomopatógeno entre colonias del picudo (Castro 2012 y Araya 2017).

Mediante una investigación sobre densidad de trampas se determinó que 5 trampas/ha cebadas con caña y feromona tenían mayor efecto en la captura de picudos (66 picudos/trampa/semana)

en comparación a colocar 30 trampas por hectárea solo con caña (6 picudos/trampa/semana). Señalan los autores que colocar hasta 15 trampas con los atrayentes/ha puede provocar una importante eliminación de picudos pero la decisión dependerá que sea económicamente rentable (Oehlschlager et al., 2003).

Actualmente se recomienda colocar 1 trampa/ha para monitoreo y 4-5 trampas/ha para capturas masivas.





Figura 4.

Trampa para captura de picudos del género *Metamasius*. Salazar 2020.

Feromonas para adultos del cogollero

El uso de métodos de control basados en feromonas para la captura de polillas de *Spodoptera* son la piedra angular de una exitosa estrategia Integrada en el Manejo de Plagas (MIP) debido a la especificidad y la eficacia de la mezcla de feromonas para atraer a los machos (Chipabica et al., 2018).

Recientemente se desarrollaron trabajos de investigación para la validación de feromonas sexuales de *Spodoptera* (LAICA 2019) y se determinó una dinámica de población en plantaciones de caña provenientes de la rotación

con arroz hasta la primera soca (LAICA 2020). Se encontró que la feromona más eficaz en la captura de machos fue la de *Spodoptera frugiperda* y con menor capacidad la de *S. sunia*. También fue posible determinar el efecto de algunas condiciones climáticas en la presencia de polillas de esta plaga encontrando que los meses de la estación seca favorecieron mayores poblaciones, por lo que factores como mayor temperatura promedio, amplitud térmica y menor humedad relativa se asociaron con mayores capturas en las trampas, por otro lado durante el periodo de lluvias las capturas prácticamente fueron nulas (Figura 5) (Salazar et al., 2020).

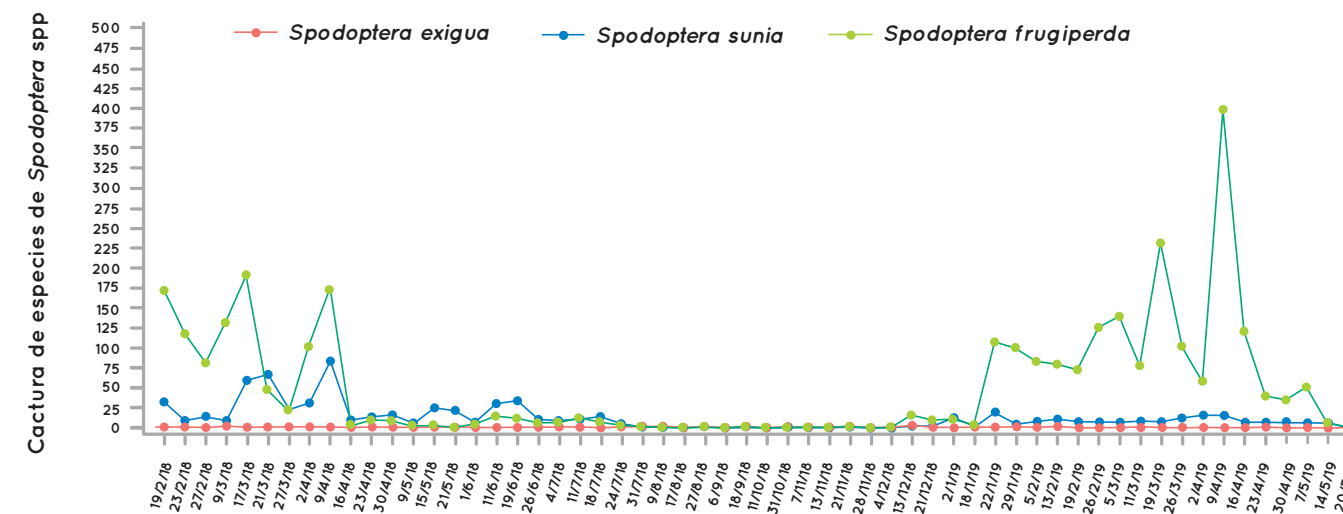


Figura 5.

Dinámica poblacional de tres especies del género *Spodoptera* en una plantación de caña de azúcar. 2018-2019. Cañas, Costa Rica. Fuente: Salazar et al., 2020.

Se recomienda el uso de trampas cada 30 m en los bordes de la plantación y a una altura de 1,5 m del suelo. La trampa se construye con un galón plástico con una ventana de 6x15 cm en la parte superior del recipiente (Figura 6). La septa con el atrayente se coloca dentro del galón sostenida de la tapa con un alambre; la septa debe quedar a unos 2,5 cm de la tapa. Se debe dar mantenimiento con la frecuencia necesaria (8-10 días) para sacar las polillas que caen dentro de la trampa, limpiar y cambiar el agua + jabón. La feromona tiene una vida útil de 30-45 días y se coloca en las plantaciones al final de la etapa de preparación del terreno y antes de la siembra para proteger el brote y las primeras etapas de crecimiento de la planta del ataque del gusano cogollero.





Figura 6.

Trampa para captura de polillas del cogollero *Spodoptera spp.* Salazar, 2020.

Feromonas para barrenador del verano (*Elasmopalpus lignosellus*)

Diversas razones de manejo, técnicas y económicas han provocado que la feromonas para capturas de machos de este barrenador no se implemente como los otros casos anotados anteriormente. Algunos trabajos en campo no han logrado demostrar la eficiencia en la captura pero se puede decir que ha existido errores sistemáticos en el establecimiento de las valoraciones que han afectado los resultados (LAICA, 2017). Una de las dudas que se tienen es

el momento para la colocación de la trampa con la feromona y que se manifieste el efecto real en las capturas.

Recientemente se estableció un trabajo en Cañas, Guanacaste con el objetivo de determinar si la población de machos de este barrenador responde a la feromona formulada para Brasil o a la original formulada para Estados Unidos. Se demostró que la feromona comercial disponible como está formulada para Estados Unidos es igualmente eficaz aquí en Costa Rica, por lo que el uso óptimo de la feromona necesita más investigación de campo (Figura 7).

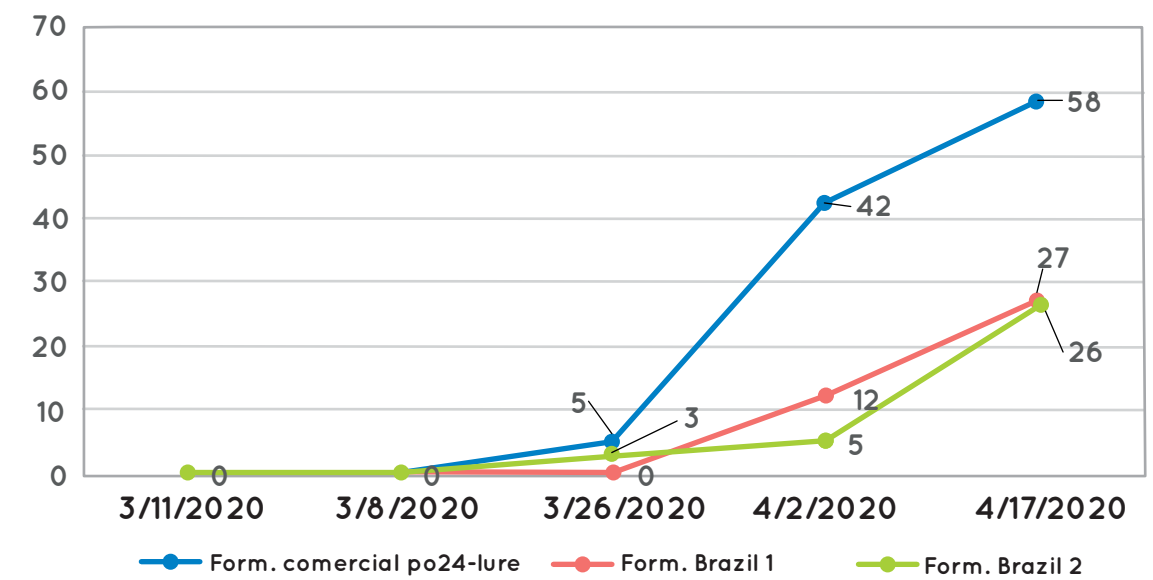


Figura 7.

Capturas totales de *E. lignosellus* en trampas cebadas con diferentes formulaciones de feromona. Cañas, Guanacaste. 2020.
Fuente: González y Salazar, sin publicar.



Figura 8.

Trampa para capturas de polillas del barrenador *Elasmopalpus lignosellus*. Salazar, 2020.

Futuro de investigación con atrayentes en caña de azúcar

Si bien en algunos casos se han utilizado feromonas por muchos años y se ha generado suficientes investigaciones al respecto como se expone en este documento, pueden surgir inquietudes sobre el uso más eficiente y práctico del trampeo con feromonas, por tanto puede ser necesario establecer temas de investigación sobre distribución espacial en el campo, densidad de trampas, tipo de trampas, ubicación, altura, entre otros temas.

También se están abriendo nuevos campos de investigación de manera conjunta con Chémica Internacional con estos productos desde el área de ecología química, composición de las feromonas y otros temas de interés. Se ha venido trabajando en una alianza técnica buscando alternativas para el control de otras plagas como es el caso del barrenador común del tallo, realizando valoraciones de compuestos para capturas de machos de *Diatraea saccharalis* o validando feromonas para las capturas de otras especies de ese género (LAICA 2020).

Se continúa con el interés de encontrar atrayentes para la captura de adultos del barrenador gigante (*Telchin atymnius*), un tema complejo pero que no debe dejar de explorar.

Pero no solo hay posibilidades de investigar y desarrollar trabajos en la atracción de insectos plagas, existe la posibilidad de incursionar en acciones para la atracción de depredadores o parasitoides a campos cañeros mediante productos de síntesis que se han estado desarrollando.

Atrayentes disponibles para el manejo de plagas en caña de azúcar

En el siguiente cuadro se describe para cuales plagas del cultivo de la caña de azúcar hay disponibilidad de feromonas, el nombre comercial por el cual se pueden adquirir y algunas características de las mismas.

Cuadro 1.

Feromonas disponibles para la captura de adultos de algunas plagas en el cultivo de caña de azúcar. 2020.

Familia	Género	Especie	Nombre común	Feromona (Nombre comercial)	Vida útil	Densidad o distribución de trampas
Scarabaeidae	<i>Phyllophaga</i>	<i>elenans</i>	Abejón de mayo	<i>Phyllophaga elenans</i> (P049-lure)	4-5 semanas	cada 30-50 m en bordes de la plantación
		<i>menetriesi</i>		<i>Phyllophaga menetriesi</i> (P523-lure)		
		<i>vicina</i>		<i>Phyllophaga vicina</i> (P051-lure)		
Curculionidae	<i>Metamasius</i>	<i>hemipterus</i>	Picudo de la caña	Metalure (P044-lure)	3 meses	Monitoreo 1/ha Captura masiva 4/ha
	<i>Metamasius</i>	<i>dimidiatipennis</i>	Picudo de la piña	<i>Metamasius dimidiatipennis</i> (P155-lure)	3 meses	Monitoreo 1/ha Captura masiva 4/ha
		Ambos picudos			Weevil Magnet Pouch (P080-lure) kairomona	3 meses
Noctuidae	<i>Spodoptera</i>	<i>frugiperda</i>	Cogollero	<i>Spodoptera frugiperda</i> (P061-lure)	4 semanas	Monitoreo 1/ha Captura masiva 6 a 10/ha o cada 25 m en los bordes de la plantación
	<i>Spodoptera</i>	<i>sunia</i>	Cogollero	<i>Spodoptera sunia</i> (P060-lure)	4 semanas	Igual a la anterior
Pyralidae	<i>Elasmopalpus</i>	<i>lignosellus</i>	Barrenador coralillo o de verano	<i>Elasmopalpus lignosellus</i> (P024-lure)	8 semanas	4 a 20/ha



Literatura consultada

- Araya Blanco, J. 2017. Comparación de dos sistemas de control de picudo rayado (*Metamasius hemipterus*), en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum sp.*), en la comunidad de Santa María, Cajón, Pérez Zeledón, Costa Rica. Práctica Dirigida, Bach. San José, Costa Rica, UNED. 38p
- Blanco-Metzler, H. 2004. Las feromonas y sus usos en el manejo integrado de plagas. Hoja técnica N°47. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). N°71 p.112-118.
- Castro, L. 2012. Potencial de diseminación de hongos entomopatógenos con picudos (*Metamasius hemipterus*). Congreso Tecnológico DIECA (5, 2012, Grecia, Costa Rica). Grecia, Costa Rica, LAICA. 1 disco compacto.
- Chipabika, G.; Gonzalez, F.; Bingham, GV and Matimelo, M. 2018. Efficacy of a pheromone trap with insecticide-treated long-lasting screen against fall armyworm (FAW), *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Zambia Agriculture Research Institute. Outlooks on Pest Management. p 215-219.
- Fleischer, J. y Krieger, J. 2018. Insect Pheromone Receptors – Key Elements in Sensing Intraespecific Chemical Signals. Front Cell Neurosci 2018; (12):425. Published online Nov 2018
- Grasswitz, T.R.; Jones, G.R. 2002. "Chemical Ecology". Encyclopedia of Life Sciences. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1038/npg.els.0001716.

- LAICA (Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, Costa Rica); Programa de Fitosanidad – Manejo de Plagas. 2017. San José, Costa Rica. Informe Anual 2016.
- LAICA (Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, Costa Rica); Programa de Fitosanidad – Manejo de Plagas. 2019. San José, Costa Rica. Informe anual 2018.
- LAICA (Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar, Costa Rica); Programa de Fitosanidad – Manejo de Plagas. 2020. San José, Costa Rica. Informe anual 2019.
- McDonald, R.; Oehlschlager, C.; Sáenz, C.; Oviedo, R., Alfaro, D. y Gómez, M. 1996. Uso potencial de la feromona de agregación para el monitoreo y trapeo masivo del picudo de caña de azúcar *Metamasius hemipterus sericeus* (Coleoptera: Curculionidae) en el cultivo comercial de la caña de azúcar en Costa Rica. Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales (10, 1996, San José, Costa Rica). San José, Costa Rica. Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica. 1 v. p 340
- Oehlschlager, AC.; Leal, WS; González, L.; Chacón, M. y Andrade, R. 2003. Trapping of *Phyllophaga elenans* with a female-produced pheromone. Journal of Chemical Ecology, (29) 1:27-36.
- Regnier, FR. y Law, JH. 1968. Insect pheromones. Journal of Lipid Research. (9):541-551.
- Robbins PS, Alm SR y Armstrong CD. 2006. Trapping *Phyllophaga spp.* (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae) in the United States and Canada using sex attractants. Department of Entomology, University of Nebraska – Lincoln, USA. Journal of Insect Science.(6):124p
- Salazar B. JD.; Oviedo A. R. Cadet P. E. Alfaro S. D.; Sáenz A. C.; Villalobos M. C.; Barrantes M., JC.; Bolaños P. J. 2016. Validación de feromonas sexuales para la captura de machos de "abejones de mayo" en diferentes regiones cañeras de Costa Rica. Congreso ATALAC (10, 2016, Veracruz, México). México DF, México, Asociación de Técnicos Azucareros de México. 1 disco compacto.
- Salazar-Blanco, J.D. 2020. Acciones de manejo de abejones y jobotos según la época del año. Boletín Agroclimático Caña de Azúcar. 2(8):5-8.
- Salazar-Blanco, JD.; Cadet-Piedra, E.; González-Fuentes, F. 2020. Monitoreo de *Spodoptera spp.* en caña de azúcar: uso de trampas con feromonas sexuales. Agronomía Mesoamericana. 31(2):445-459.
- Witzgall, P., Kirsch, P. y Cork, A. 2010. Sex Pheromones and Their Impact on Pest Management. J Chem Ecol (2010) 36:80-100.



SISTEMA RADICULAR DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y AMBIENTE PROPICIO PARA SU DESARROLLO EN EL SUELO.

Ing. Agr. Marco A. Chaves Solera, M.Sc.
mchavezs@laica.co.cr

Gerente. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)

Por antecedente, una de las secciones vegetales menos estudiada por la ciencia y sobre la cual menos conoce la agricultura comercial, lo constituye el sistema radicular de las plantas, lo cual resulta paradójico y hasta contraproducente al cotejarlo y ponderarlo en relación a la importancia que el mismo tiene en la producción competitiva de los cultivos. Este descuido por la raíz, como asegura Dillewijn (1952), ha ido sin embargo en contrapartida en favor del estudio de las partes aéreas; lo cual atribuye a las dificultades que presenta este tipo de estudios, por: 1) encontrarse el sistema de raíces oculto en una masa de terreno que requiere cuidadosa excavación, 2) el medio de crecimiento (suelo), al contrario de las partes aéreas a menudo se caracteriza por la heterogeneidad (piedras, capas duras, diferencias en humedad, en estructura y composición química del suelo) dando lugar a grandes diferencias en el desarrollo de la raíz y 3) lo anterior dificulta la interpretación de los resultados. Opinión similar mantienen Vasconcellos y Casagrande (2008) en torno al mismo tema, anotando adicionalmente como dificultad, lo concerniente a las técnicas y métodos de investigación empleados. Esos mismos autores, citando a Luxmoore y Stolzy (1987), agregan otros elementos calificados como desafíos, como son: a) la arquitectura geométrica compleja del sistema radicular, b) la amplia gama de tipos y diámetros de raíces de las plantas perennes, c) las diferencias existentes en la actividad fisiológica de las raíces en diferentes edades, d) el rápido crecimiento y

descomposición de las raíces más finas, e) los procesos microbiológicos que ocurren en la interfase suelo/raíz, f) las relaciones simbióticas que acontecen en la Rizosfera y g) la variabilidad prevaeciente en el ambiente edáfico (física, química y biológica) en el cual se desenvuelven las raíces.

Esta realidad constituye y debe representar una preocupación y una motivación más que una justificación, para abordar y procurar ahondar responsablemente en conocer los aspectos relevantes y reveladores de la raíz, que puedan contribuir con la optimización del potencial inherente a la planta. Cualquier pretensión de mejora sostenible y competitiva de carácter agro productiva que se pretenda implementar, debe ineludible e insoslayablemente considerar valorar e intervenir sobre la condición y optimización del sistema radicular, como factor determinante del éxito agroindustrial y empresarial de una plantación, en este caso de caña de azúcar. Es trascendente considerar y tener muy presente, que las plantas presentan naturalmente diferencias importantes, no apenas en los tallos, hojas, flores o frutos, como muchos podrían erróneamente creer, sino también en las raíces, motivo por el cual resulta importante indagar y profundizar en torno al mismo. El abordaje del tema de la raíz, constituye el objetivo primario del presente documento.

¹Ing. Agrónomo. Programa de Fitosanidad – Manejo de Plagas. LAICA – DIECA. jsalazar@laica.co.cr



Entorno productivo de la caña en el país

Por lo general, las condiciones y localidades geográficas en que se desarrolla la actividad agrícola no siempre son las mejores y las más idóneas para expresar, materializar y plasmar en productividad el potencial disponible intrínsecamente en un determinado material genético. Lo anterior se agrava y dificulta cuando se trata de un cultivo extensivo como la caña de azúcar, donde encontrar homogeneidad significa un verdadero reto. Esta realidad obliga imperativamente incorporar medidas de contención, corrección, mejora o mitigación a las limitantes existentes; lo cual sin embargo, resulta muchas veces insuficiente, deficiente u oneroso, si por acaso la planta es susceptible o sensible a la intensidad, magnitud o características de una o varias de las condiciones limitantes prevalecientes. La agricultura rentable y competitiva ha procurado resolver esta condición por la vía del manejo responsable, sostenible y ecoeficiente, procurando por medio del mejoramiento genético desarrollar sistemas de raíces rústicas pero eficientes que se adapten, toleren y superen la situación limitante presente.

Como se ha ampliamente señalado, comentado y demostrado, en el caso particular de la caña de azúcar, las condiciones y localidades de cultivo en el país son muy heterogéneas y disimiles en casi cualquiera de los indicadores básicos con que se pretendan evaluar y comparar. Lo anterior ha sido referenciado y puntualizado por Chaves (2019cd) al manifestar, que “Sin tener que ir territorialmente lejos, pueden encontrarse y

localizarse en Costa Rica condiciones muy disimiles y opuestas en prácticamente todos los elementos que participan directa o indirectamente en la producción de caña, donde destacan y marcan diferencias significativas los elementos clima, edáficos, relieve, fitosanidad, manejo agronómico de plantaciones, potencial mecanizable, ciclos vegetativos (12-24 meses), variedades cultivadas, estructura de tenencia de la tierra, potencial de riesgo climático (sequía, inundación, tormenta, huracán, etc.), ciclo de maduración, inversión tecnológica, capacidad y eficiencia fabril, entre muchos otros que pueden identificarse y nombrarse.”

Las condiciones limitantes y adversas que prevalecen y dominan en varias localidades de Costa Rica para producir caña de azúcar de alta calidad, son numerosas y en la mayoría de los casos difíciles de superar, lo que demanda para ser productivo y competitivo, adoptar imperativamente medidas en varias direcciones para mitigarlas, corregirlas, mejorarlas o en su caso contornarlas. El clima es un factor que afecta bastante la actividad agrícola vinculada al cultivo, como también la calidad de la materia prima que se produce, cosecha y procesa en nuestras fábricas de azúcar, como lo demostrara Chaves (2020a). No hay duda que en esta difícil gestión de ajuste y mejora, el empleo de variedades adecuadas constituye una de las mejores y más inteligentes acciones por implementar, virtud de no implicar costos extraordinarios adicionales que afecten la rentabilidad final de la empresa cañero-azucarera. Asimismo, la administración visionaria, responsable y eficiente en el manejo de los recursos coadyuva de manera significativa en esta misión.

Importancia de la raíz

La raíz desempeña y cumple un papel fundamental y determinante en el desarrollo general del ciclo vegetativo del cultivo de la caña de azúcar, siendo parte esencial de la primera etapa del mismo, como lo indicara Chaves (2019b). La dotación de una raíz fuerte, pródiga, resistente y eficiente representa posiblemente una de las alternativas tecnológicas más viables, rentables y factibles de implementar para resolver muchos de los problemas que en este caso presentan e inducen el suelo y el clima, principalmente. Esos dos factores van estrechamente asociados al manejo agronómico que se le realice a la plantación comercial y que contribuyen con incrementar la productividad agroindustrial. Asegura Chaves (2018) al respecto, que “El sistema radicular es determinante en el potencial de adaptación y éxito comercial que pueda tener una determinada variedad, en consideración de los diversos entornos en que es cultivada, siendo sometida por ello, a condiciones de estrés muy diversos (bióticos y abióticos). Esta estructura es muy importante en la labor de mejora genética de la caña de azúcar y se procura mejorar mediante cruces interespecíficos.”

Los programas mundiales de mejora genética prestan en la actualidad especial atención a los factores de índole anatómico-fisiológica de la planta, buscando incorporar propiedades y atributos apropiados y sobresalientes a los nuevos clones, mediante cruzamientos intra e interespecíficos con especies del mismo género o afines a él, en este caso *Saccharum*, que los favorezcan y abastezcan en su participación como progenitores (Chaves, 2018). El notorio avance logrado en las técnicas, procedimientos y protocolos científicos lo habilitan y permiten en la actualidad.

En el caso particular de la caña de azúcar, las características y propiedades dominantes que tipifican sus seis especies (*officinarum*, *spontaneum*, *robustum*, *barberi*, *sinense* y *edule*), muestran diferencias importantes de constitución, que pueden ser determinantes para los intereses comerciales de la actividad, lo que es utilizado por los mejoradores del cultivo para

su aprovechamiento, reconociendo que por naturaleza la caña es una planta muy compleja. La reconocida y tradicional *Saccharum officinarum* es un biotipo de caña que aporta contenidos importantes de sacarosa, significativamente más que cualquiera de las otras especies, pero es en contrario muy débil y limitada en lo concerniente a otras características deseables; lo que se busca resolver e incorporar por aporte heredable externo de otras de las especies del género. A la especie *S. spontaneum* se le atribuye por ejemplo presentar rizomas de varios metros de longitud; a *S. barberi* y *S. sinense* (cañas chinas) se les distingue y reconoce su alta rusticidad y gran tolerancia a desarrollarse en condiciones ambientales extremas y difíciles. La *S. robustum* se considera por su parte, la especie más afín a *S. officinarum* y es junto a *S. spontaneum* las dos especies silvestres del género y dotada (la última) por ello de una mayor rusticidad (Chaves, 2018). Como se nota, esas propiedades especiales van asociadas y coligadas directamente con la raíz, pues por posición y exposición, este órgano sufre los embates del entorno inmediato; ahí la importancia de que las variedades de uso comercial cuenten con una raíz robusta, rústica y muy activa.

Las actuales variedades de caña de azúcar de uso comercial sembradas por los agricultores en el mundo, corresponden a híbridos obtenidos a partir del cruzamiento principalmente de las especies *S. officinarum* y *S. spontaneum*. Se infiere de lo anterior, la importancia que adquiere y mantiene la genética en la fabricación de clones promisorios, lo cual parte de la raíz como órgano que da soporte y provee la hidratación y nutrición a la planta. La raíz es en definitiva un órgano con propiedades y aportes ganadores y determinantes del éxito que pueda tener un cultivar de caña de azúcar, que pretenda destacarse y consolidarse comercialmente virtud de sus atributos, propiedades y características agroindustriales.

Sistema radical de la caña

Una estructura de constitución y función tan compleja como es la raíz, ha merecido y generado descripciones diferenciadas en su caracterización y definición, las cuales son sin embargo bastante coincidentes. Se le ubica como el primer órgano embrionario de las plantas vasculares que se desarrolla durante la germinación de la semilla, que por lo general crece orientada hacia el interior del suelo por presentar geotropismo positivo y fototropismo negativo. La raíz en conjunto con el tallo constituye el eje principal de la planta, no existiendo entre ambas estructuras una separación clara por poseer las dos un cilindro de tejido vascular contenido en el tejido fundamental; sin embargo, la estructura radicular tiende a ser más simple que la del tallo debido a su hábitat subterráneo. Cuando los tallos a su parte de ellos crecen debajo del suelo son llamados rizomas. En las monocotiledóneas como la caña, la raíz embrionaria pierde funcionalidad pronto y el sistema radicular de la planta adulta se forma por encima del lugar de origen de la raíz inicial. El sistema de raíces de la caña se denomina homorrizo (no hay raíces principales), es fasciculado (constituido por un puñado de raíces secundarias que tienen el mismo grosor o muy parecido), en cabellera o fibroso, está formado por un conjunto de raíces adventicias y se halla profusamente ramificado. Es interesante mencionar que las raíces principales dan origen a las secundarias, estas a las terciarias y así sucesivamente (radicelas). Algunos autores señalan que en la caña de azúcar se pueden encontrar dos tipos de tallos; el primero que es un falso tallo subterráneo denominado rizoma, y el segundo nombrado tallo aéreo, a partir de donde se extrae el jugo que contiene la sacarosa. En el rizoma surgen raíces de vida subterránea que no deben confundirse con la raíz de la planta.

Es importante señalar para mejor comprensión que **en el caso particular de la caña de azúcar, lo correcto es concebir el conjunto de raíces no de manera simple e independiente, sino por el contrario como todo un “sistema complejo y articulado”, que se reconoce y denomina sistema radical o radicular.** Cabe recordar que la caña de azúcar se reproduce por la vía asexual a partir del brotamiento de yemas axilares situadas en la semilla, que corresponde a un trozo (esqueje) de

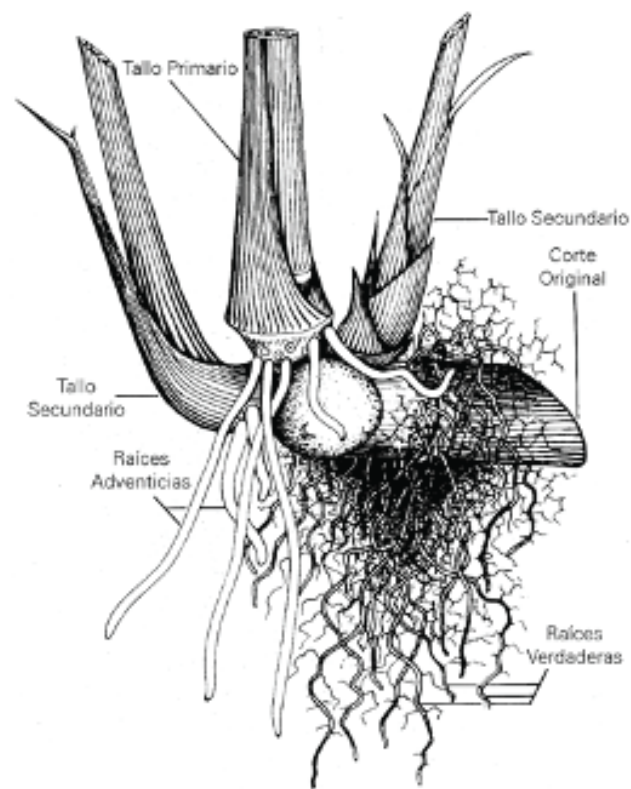


Figura 1.

Sistema radicular de la caña de azúcar
Fuente: Martin et al, 1961.

tallo con al menos una yema (fitómero) capaz de engendrar y reproducir un nuevo individuo. Sobre esa yema se origina un brote guía o tallo primario, a partir de donde se forman los tallos secundarios y sucesivamente los terciarios y más, conformando lo que conocemos como “cepa o macolla”.

La mayoría de autores describen la raíz como la sección subterránea de la planta que está conformada por dos tipos de raíces (Foto #1): **a) Raíces primordiales o adventicias:** son las primeras que brotan del anillo radicular del esqueje inicial implantado durante la siembra; son delgadas, muy ramificadas, con pelos absorbentes y

radicelas, cuentan con un período de vida activa muy corto que no supera por lo general los 2-3 meses, dan sostén al nuevo vástago en el tanto se establece el otro sistema funcional (permanente), aparecen después de 24 horas de la siembra, lo que sin embargo es muy varietal; y **b) Raíces permanentes:** son aquellas que surgen de los nuevos brotes a los 5-7 días de plantada la semilla, son gruesas, numerosas, color blanco, menos ramificadas, de rápido crecimiento y su proliferación acompaña el desarrollo de la planta; su longitud, cantidad y tiempo de vida dependen de la variedad, de los factores ambientales y las condiciones del medio suelo. Conforme salen del vástago gradualmente se van haciendo más delgadas.

Cabe mencionar que la reproducción de la caña se realiza mediante la siembra de esquejes o trozos del tallo donde cada nudo posee una yema axilar y un anillo de primordios radiculares, a partir de donde surge la nueva planta. La yema en crecimiento depende en principio de las reservas contenidas en el esqueje y lo que las raíces primordiales le provean; lo cual si las condiciones del medio lo favorecen, pronto es sustituido por las propias de la nueva planta en activo crecimiento. Las raíces del esqueje (a)

mantienen su emergencia y crecimiento luego de efectuada la siembra por un periodo de 6 a 15 días, desapareciendo entre los 60 y 90 días (2-3 meses) tiempo en el cual abastecen de agua y nutrientes a los tallos en crecimiento, que utilizan también las reservas contenidas en el esqueje. Se estima que entre 4-5 meses las raíces primordiales necrosan y pierden funcionalidad aunque algunas permanecen. Posteriormente las raíces de los nuevos retoños primarios satisfacen ese requerimiento, por lo que las primordiales pierden su función y actividad. Puede asegurarse que luego de 3 meses del plantío, la caña planta depende casi exclusivamente de los retoños recién germinados. En este momento el sistema de raíces está localizado prácticamente en los primeros 30 cm. Es cierto también que la vida de las raíces del nuevo vástago es limitada, pero como cada nuevo retoño produce sus propias raíces, el sistema como tal, se renueva y rejuvenece permanentemente no viéndose afectado. Este mecanismo de producción continua de nuevas raíces es muy valioso, ya que permite que la planta de caña se auto ajuste a los cambios surgidos en las condiciones ambientales impuestas por su entorno.



SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

En referencia al tema anatómico-genético y particularmente al analizado en el presente documento, Chaves (2018) menciona que, la raíz de la caña de azúcar “constituye todo un sistema que de acuerdo con Dillewijn (1952) y Bacchi (1983) está compuesto por tres subsistemas: **a) raíces superficiales, ramificadas y absorbentes, b) raíces de fijación más profundas y c) raíces cordón**, que pueden alcanzar hasta 6 m de profundidad. El profuso y poderoso sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo. Las raíces propiamente se identifican en su desarrollo inicial en dos tipos principales: a) primordiales del esqueje original (semilla): brotan a partir de la banda de primordios ubicada en el anillo de crecimiento del tallo sembrado, son muy finas, ramificadas y de vida muy corta hasta la aparición de los brotes (a los 2 a 3 meses), b) permanentes: emergen rápido y en gran número de los anillos de crecimiento de los nuevos brotes, son gruesas y proliferan con el desarrollo vegetativo de la planta. Varían con las variedades y son muy influenciadas por los elementos del clima y el manejo agronómico de la plantación.”

La proporción entre los tipos de raíces predominantes es una característica propia y específica de las variedades, lo cual trasciende inclusive a las especies del género; se ha comprobado que *Saccharum officinarum* posee menor cantidad de raíces de sustentación o fijación que *Saccharum spontaneum*, lo que explica y justifica su mayor rusticidad y resistencia a soportar condiciones secas. Se considera que las raíces de cordón están más vigorosamente desarrolladas en las cañas con origen silvestre que en las cañas nobles tropicales. Esa propiedad es heredable y se busca introducir con el trabajo de mejora genética realizado por los científicos. El sistema de raíces cordón se caracterizan, según Dillewijn (1952), por crecer más verticalmente hacia abajo y formar cordones que pueden contener e integrar de 15 a 20 raíces que pueden resistir esfuerzos de ruptura elevados; son además capaces de ofrecer una vigorosa absorción, debido particularmente a que descienden a profundidades del suelo que por lo general se mantienen húmedas, aún en épocas de extrema sequía. Las raíces cordón crecen tanto en plantaciones recién establecidas (planta) como también en los ciclos posteriores de retoño. Resulta en la práctica agronómica di-



fácil poder diferenciar las raíces tipo superficiales de fijación de las de sostén.

Con la cosecha y corta de la sección aérea las raíces no mueren o el sistema radicular es naturalmente renovado, como bien podría creerse; lo cual sí es favorecido y provocado por los ciclos permanentes de humedecimiento-secado que ocurren en el suelo y que son coincidentes con la corta de las plantaciones, cuando las condiciones ambientales pueden concordar con periodos de estrés hídrico. Los retoños salidos luego de superar la primera cosecha en caña planta poseen un sistema de raíces propio, motivo por el cual, luego de la cosecha de la plantación el sistema de raíces existente se mantiene activo por un tiempo corto y luego es sustituido por el sistema emitido por

los nuevos vástagos. En caña soca las raíces son más superficiales respecto a las de la caña planta; por lo cual, entre más cantidad de cosechas más volumen de raíces se encuentra en los horizontes superficiales del suelo. Esta particularidad es fácil observarla en plantaciones viejas que han sufrido muchos cortes.

La caña presenta también bajo ciertas condiciones especiales raíces adventicias, que no se originan en la radícula del embrión, sino en cualquier otro lugar de la planta, surgiendo por lo general en las partes aéreas. Es común observarlas cuando las condiciones de humedad ambiente son muy altas, hay nubosidad y la temperatura lo favorece; o también, cuando los tallos industrializables vuelcan y tocan el suelo, surgiendo en el anillo radicular de los tallos. Estos crecimientos no son industrial y comercialmente convenientes pues le hacen perder a la planta riqueza en sacarosa.

Función de las raíces

El desarrollo del sistema radicular es uno de los factores determinantes que operan e interactúan en la interacción genotipo-ambiente. Como funciones principales se le consignan a la raíz de la caña varias acciones básicas, como son: a) la absorción de agua para facilitar la hidrólisis de los carbohidratos de reserva y activar la movilización de las enzimas que controlan la división, diferenciación y crecimiento de las células que originan las raíces, b) la absorción de sales minerales del medio necesarias para la síntesis de carbohidratos, c) el transporte (acrópeto y basípeto) de agua y solutos a las partes aéreas de la planta, d) servir de anclaje, sostén y fijación de las plantas al suelo, e) participar en la formación y mantenimiento de asociaciones simbióticas complejas con microorganismos (bacterias y hongos) del suelo, f) almacenar materiales de reserva y defensa, y g) participar en la creación y protección del suelo mediante la segregación de moléculas y enzimas, entre otras.

Por medio de los pelos absorbentes, la planta absorbe y transporta hasta la raíz agua, sales y

compuestos simples que son conducidos (como savia bruta) hacia el tallo y las hojas donde metabólicamente se transforman anabólicamente en compuestos orgánicos complejos durante la fotosíntesis (Chaves, 2020b). No puede omitirse tampoco que las raíces actúan como “mensajeros” mediante señales para la sección aérea, tales como las fitohormonas del ácido abscísico (ABA), las citocininas o citoquininas que promueven la división y la diferenciación celular y el flujo de nitrato, los cuales actúan sobre la fisiología de la planta, en especial la expansión foliar, el comportamiento estomático, el crecimiento y la biosíntesis de enzimas fotosintéticas y la defoliación. Es conocido también en la práctica agrícola, que las raíces de la caña poseen una excepcional y elevadísima capacidad y poder de extracción de nutrientes del suelo, lo cual llega muchas veces si no se opera una labor correctiva de adición suplementaria por medio de la fertilización, al grado de agotamiento tornándolos infértiles e improductivos, como lo mencionan Alfaro y Chaves (1999).

La eficiencia con que se den y satisfagan esas funciones depende de diversos mecanismos fisiológicos, lo cual ejerce influencia directa sobre algunas propiedades de la planta de caña y el cultivo, como son entre otras: a) aportar tolerancia a la sequía; b) asistir con tolerancia al exceso de humedad; c) aumentar la capacidad de brotamiento, retoñamiento y ahijamiento; d) contribuir con el porte de la planta (erecto o inclinado); e) dar tolerancia al movimiento y circulación de equipo mecánico; e) proveer eficiencia en la absorción de agua; f) eficientizar la absorción y transporte de nutrimentos; g) favorecer tolerancia al ataque de plagas del suelo; h) mostrar tolerancia al volcamiento de la plantación por causa del viento y el peso de la biomasa; i) hacer aprovechamiento de los recursos disponibles o aquellos incorporados al suelo (fertilizantes sintéticos y abonos orgánicos); j) contribuir con la prolongación de la vida comercial de la plantación. Como se infiere, de la adecuación y preferiblemente optimización de todos esos factores, depende en alto grado la productividad agroindustrial y duración de la vida comercial de la plantación que pueda alcanzarse en cualquier proyecto agro comercial.



Tamaño, localización, distribución y profundización de las raíces

Los estudios de raíz se han concentrado mayoritariamente en evaluar y valorar el ciclo planta respecto a la soca o retoño, revelando que las últimas sufren más las condiciones adversas del entorno, generando como respuesta por su ciclo vegetativo más corto raíces más superficiales. Es un hecho comprobado que la masa de raíces muestra una declinación exponencial conforme se profundiza en el suelo; encontrándose la mayoría de raíces situada en los primeros 2 m superficiales, aunque hay informes de raíces a mayores profundidades. De igual manera pareciera encontrarse mayor volumen de raíz en sistemas de producción en verde con cosecha mecanizada, respecto a los de caña quemada y cortada manualmente.

La distribución en profundidad y la velocidad de crecimiento radicular están íntimamente vinculadas y determinadas por el genotipo, la edad de la planta, las condiciones físico-químicas del suelo y la disponibilidad hídrica, lo que impide establecer patrones y tendencias de comportamiento virtud de la dinámica, variabilidad y complejidad de los mecanismos

implicados. Se ha constatado también que las raíces superficiales son las primeras en desaparecer durante un periodo seco; aunque también son las primeras en renovarse con la llegada de las lluvias o la aplicación de humedad. Existe mucha variabilidad entre los resultados reportados por la investigación sobre el tema, ratificando la dificultad que impone su investigación (Faroni y Ocheuze, 2006; Romero *et al*, 2015).

La experiencia y la mayoría de los resultados aportados por la investigación, revelan que las raíces superficiales se localizan mayoritariamente en los primeros 60 cm de profundidad, su distribución y movimiento es preferiblemente horizontal y se localizan hasta los 2 m de longitud (crecimiento horizontal) o más, lo que depende del ambiente inmediato en particular en torno a la humedad disponible y la textura. Algunas investigaciones reportan encontrar un 75% de la masa radicular en los primeros 20 cm superficiales y el 55% en los 30 cm próximos a la cepa. Las raíces profundas son escasas. Se considera que en general, entre el 80-90% de las raíces operan en los primeros 40-60 cm de profundidad, lo que depende mucho del suelo y la humedad contenida en el mismo.

En un estudio realizado en Costa Rica, Alfaro y Ocampo (2015) encontraron con 3 repeticiones al evaluar 4 columnas (0-20; 20-40; 40-60 y 60-80 cm) de un suelo del orden Andisol, establecido en estaciones plásticas (56 x 90 cm alto) y cultivado con la variedad Mex 79-431, que las raíces se encuentran en los primeros 40 cm al medirla a los 3, 6 y 9 meses de edad en porcentajes del 55,8%, 55,8% y 50,3%, respectivamente. En espesor las raíces variaron según profundidad al clasificarlas en 4 grosores (<1; 1-2; 2-3 y >3 mm), siendo el de 1-2 mm el más constante durante todo el ciclo. A los 3 meses el 33,7% de las raíces se encontró en los primeros 20 cm y el 87,8% fue de grosor menor a 2 mm. La medición de los 6 meses reveló para los mismos indicadores, índices de 34,2% y 38,5%; los cuales a los 9 meses correspondieron a 28,1% y 72,1%, respectivamente. En la sección menor a 20 cm se notó que a los 6 meses las raíces <1 mm se incrementaron respecto a los 3 meses, para luego descender a los 6 meses. Por su parte, las raíces con un grosor entre 1-2 mm se mantuvieron constantes en cantidad, contrario a las que tenían un diámetro entre 2 y 3 mm, las cuales descienden en proporción con el tiempo pasando del 50% a los 3 meses a un 15% a los 9 meses; igual comportamiento se presentó con las raíces de mayor diámetro (>3 mm). Las raíces de grosor >2 mm crecieron con el tiempo. Se encontró correspondencia lineal entre el crecimiento radicular y el foliar hasta los 6 meses, cuando el área foliar sobrepasó el volumen de las raíces, luego de lo cual se dio un merma en el desarrollo foliar. Concluyeron esos investigadores, que los obstáculos (densidad aparente aumentó con el tiempo) que encuentran las raíces en su crecimiento activo en el suelo, generaron una mayor producción de raíces secundarias más finas propensas a generar una mayor absorción de agua y nutrientes.

En plantaciones con riego las raíces se concentran primordialmente en los primeros 20 cm o donde la textura lo permita y la lámina de agua humedezca el suelo. La frecuencia de riego afecta y determina en alto grado la distribución de las raíces en el perfil del suelo; algunas experiencias revelan que conforme el periodo de riego se prolonga el volumen se raíces se incrementa y profundiza más, lo cual se torna

extremo entre condiciones de riego y sequía; ratificando con ello el fuerte estímulo que sufre la planta por buscar agua y evitar padecer el estrés hídrico, aún en suelos de textura arcillosa. Thompson (1976) encontró en plantaciones de caña con riego y suelo arcilloso, que las raíces absorbieron agua almacenada a 90 cm de profundidad; mientras que en condiciones irrigadas el suelo exploró y alcanzó profundidades de 1,20 m. En suelos sin irrigación las raíces profundizaron hasta los 4,0 m, absorbiendo agua hasta los 1,8 m.

Durante el desarrollo vegetativo del cultivo es válido estimar y establecer un interesante patrón de distribución de la masa seca entre la sección aérea y la radicular, el cual varía en función de las condiciones ambientales y la variedad. Alfaro y Ocampo (2015) encontraron que el desarrollo foliar de la caña creció linealmente hasta los 3 meses, pero a partir de los 6 meses disminuyó posiblemente por el mayor crecimiento de los tallos. La Relación Sección Aérea/Raíces medida en peso (g) es muy reveladora del vínculo y relación directa que existe entre ambas secciones, lo cual al estimarla a partir del resultado anterior, se encuentran valores de 3,14, 3,0 y 2,1 a los 3, 6 y 9 meses, respectivamente. La literatura reporta en cañas de 6 meses de edad deficientes en N, una relación de 1,32, que al contar con N se elevó a 4,0.



¿Qué perjudica y qué favorece a la raíz?

Son numerosos y muy diversos en cuanto a características, magnitud, intensidad, efecto, impacto y consecuencias, los elementos y factores del entorno agro productivo que intervienen, tanto de manera independiente como en interacción, sea afectando o en su caso promoviendo, potenciando y favoreciendo el desarrollo del sistema radicular; motivo por el cual, identificarlos resulta determinante en cualquier pretensión de solución y mejora del ambiente inmediato a la raíz. Genéricamente los factores que influyen de alguna manera el sistema de raíces de la caña, pueden agruparse en: **a) Meteorológicos, b) Edáficos, c) Físico-químicos, d) Mecánicos, e) Biológicos, f) Agronómicos y de manejo, g) Fitosanitarios y h) Genéticos**, entre otros.

En el Cuadro 1 se proponen, describen, desagregan y exponen con gran detalle dichos factores de naturaleza biótica y abiótica, expresados y desarticulados en los elementos que en grado variable y con diferente magnitud e intensidad participan e intervienen sobre el sistema radicular de la caña de azúcar; sea estimulándolo y promoviéndolo en una clara relación sinérgica o, por el contrario, limitándolo y afectándolo en una relación antagónica de efectos detrimentales y consecuencias negativas para la productividad agroindustrial del cultivo.

El intenso tráfico vehicular y de equipos mecánicos que circulan habitualmente por las plantaciones de caña durante las labores de siembra, manejo y cosecha, provocan una distribución desequilibrada de las cargas sobre el suelo que conducen a la compactación de los horizontes internos, principalmente si hubiese humedad en exceso, reduciendo por restricción física los espacios porosos (macro y micro) ocupados por aire y agua, afectando consecuentemente el crecimiento de raíces y el suministro de agua y nutrientes (Chaves, 2017ab, 2019a). Es definitivo que el factor edáfico es integralmente determinante para optimizar el

desarrollo y la actividad del sistema radicular, lo cual en el caso de Costa Rica, se dificulta virtud de la diversidad de tipos de suelo presentes y utilizados, representado por 9 órdenes y 16 subórdenes de acuerdo con la taxonomía USDA que están sembrados con caña de azúcar. Esta situación admite y permite la presencia de restricciones físicas (Vertisoles) y también químicas (Ultisoles, Andisoles, Alfisoles) por prevalencia de condiciones ácidas, presencia de elementos tóxicos, deficiencias y desbalances nutricionales, que marcan diferencias de fondo que se proyectan y manifiestan en los índices de productividad agroindustrial (Chaves, 2017ab, 2019a).

El factor genético y la expresión genotípica de las variedades comerciales marca significativas diferencias entre los sistemas radiculares de la caña de azúcar, lo cual está muy bien documentado. En la práctica se observa que las variedades que generan muchos retoños, están dotadas de sistemas radiculares muy profusos, lo cual es consecuencia del aporte individual y agregado de cada nuevo retoño. De igual manera, aquellos clones que mantienen un crecimiento y penetración de raíces más horizontal (menos gravitrópico favoreciendo el crecimiento basípeto de las raíces, que se hunden en el suelo) presentan mayor tolerancia a la sequía, respecto a los de respuesta más gravitrópica. Se considera que las diferencias que manifiestan algunas variedades de tolerancia o sensibilidad a la sequía, es debida en parte a la capacidad de exploración y profundización a que pueden llegar las raíces. Se ha comprobado que en suelos de baja fertilidad y con problemas de humedad la raíz prolifera más, sugiriendo que en esa condición la planta requiere contar con más puntos de absorción respecto a un suelo fértil, donde se puede lograr el mismo suministro con menos raíces y un gasto energético menor; la planta responde a la exigencia y necesidad en este caso, generando más raíces. Es importante dejar claro que no siempre una mayor cantidad de raíces se traduce en mayor rusticidad, pues las variedades pueden diferir en las características anatómicas y fisiológicas internas de las raíces, lo que ha sugerido utilizar el factor anatómico (diámetro del metaxilema, cortex) como criterio



de selección para identificar mayor capacidad de absorción. Los factores genéticos actúan sobre el medio ambiente por medio de las raíces.

En definitiva, cualquier agente, factor o elemento que interfiera y afecte la sección del suelo más próxima a las raíces de la planta constituida por las radículas, conocida como Rizosfera, deteriora la estabilidad y equilibrio general de todo el cultivo, pues esta es la zona donde se desarrollan las relaciones físicas, químicas y microbiológicas que afectan la estructura del suelo y a los organismos (microflora) que conviven en el medio, generando propiedades diferentes no siempre favorables. La Rizosfera normalmente circunda unos cuantos milímetros o algunos centímetros alrededor de la raíz; caracterizándose por el

aumento de la biomasa microbiana y el asocio con una población muy grande de microorganismos que ejercen un papel relevante en la absorción de nutrientes y otros procesos afines. El sistema radicular puede alterar las condiciones químicas del suelo por la excreción de sustancias que causan alteraciones del pH en la Rizosfera.

El clima y el factor edáfico son restricciones y/o estímulos determinantes al sistema de raíces de la caña de azúcar. Como se infiere, la temperatura y la condición de humedad presentes en el suelo constituyen elementos del clima trascendentes para estimular o en su defecto afectar el desarrollo de las raíces; a lo cual deben agregarse la oxigenación como elemento vital y la variedad como factor genético.

Cuadro 1.

Factores (66) que podrían directa o indirectamente intervenir (±) el sistema radicular de la caña de azúcar.

Factor	Elemento	Impacto / Consecuencia
Meteorológico	Lluvia continua y en cantidades elevadas	El anegamiento genera falta de oxígeno (anoxia). Estimula la producción de Etileno que altera a su vez el ABA; restringiendo el crecimiento de las raíces
	Presencia de alta humedad en el suelo	Favorece la presencia de plagas y patógenos en el medio. Induce mayor liberación de Óxido Nitroso (N ₂ O)
	Niveles bajos e insuficientes de lluvia	Pueden inducir periodos secos y limitaciones de humedad a la raíz. Provoca Geotropismo negativo que perjudica la productividad
	Condiciones secas prolongadas	El crecimiento y desarrollo de raíces se ve severamente impedido
	Alta temperatura ambiente	El estrés térmico por alta temperatura afecta el metabolismo de la planta
	Baja temperatura ambiente	El estrés térmico por baja temperatura afecta el metabolismo vegetal
	Baja temperatura en el suelo	Constituyen un impedimento al crecimiento normal
	Alta evapotranspiración	Provoca pérdida de humedad, cierre estomático y límites al metabolismo. Lámina foliar se reduce bajando Punto de Compensación y Tasa de Asimilación de CO ₂
	Alta humedad ambiente	Interviene el metabolismo y limita por derivación la actividad radicular
	Baja humedad ambiente	Favorece la evapotranspiración, una mayor Tasa Fotosintética y más raíces
	Viento de alta velocidad (km/hr)	Afecta el metabolismo, promueve cierre estomático y la actividad radicular
	Baja luminosidad	Impacta fotosíntesis y actividad metabólica general de la planta
	Presencia de heladas	Impiden el crecimiento y desarrollo normal de las raíces
	Altitud elevada de la localidad	>1.000 msnm reduce crecimiento, afecta filotaxia de hojas retardando su emisión
	Edáficos	Topografía del relieve
Grado de pendiente dominante		Según su grado favorece erosión y limita mecanización si es alto
Origen pedogenético del suelo		Las características y propiedades físicas y químicas del suelo vienen definidas y determinadas en alto grado por su origen y formación
Orden y suborden taxonómico (USDA)		Caracteriza y tipifica los potenciales y también las limitantes del suelo
Físico Suelo	Textura del suelo	Determina la aireación, el movimiento del agua y la actividad radicular
	Cantidad y tipo de arcilla	Además de lo anterior interviene sobre la nutrición y la compactación

Factor	Elemento	Impacto / Consecuencia	
Físico Suelo	Grado de agregación	Si es limitante afecta la movilidad y la capacidad de penetración de la raíz	
	Nivel de compactación	La compactación es una restricción y una limitante extrema para la raíz	
	Adhesividad y plasticidad	Determinan la compactación e intervienen en la mecanización y sus efectos	
	Grado de aireación (macro y micro poros)	Sin oxigenación adecuada el desarrollo y la actividad radicular no es posible o se torna muy limitada lo que influye en la productividad	
	Profundidad del perfil	Interviene y define el área de exploración y movilización de las raíces	
	Friabilidad del suelo	Determina la resistencia o facilidad al rompimiento de las capas y la penetración	
	Profundidad del Nivel Freático	Determina la disponibilidad de humedad; aunque puede ser también negativa	
	Movimiento del agua en el suelo	Sin oxigenación ni agua la actividad radicular no es posible	
	Grado de erosión	Induce pérdida superficial de la capa arable y fértil del suelo creando limitantes	
	Químico Suelo	Grado de acidez del medio (pH)	Índices extremos (<5:>8) afectan la estabilidad y actividad de los tejidos celulares
		Saturación de acidez	Valores altos (>1,5 cmol(+)/l) revelan condición y ambiente inconveniente
Contenido de Al, Fe, Mn, Cu, Na		En alta concentración pueden "quemar" los tejidos. Son restrictivos	
Capacidad de Intercambio Cationico alta		La CICE adecuada debe fluctuar entre 5 y 25 cmol(+)/l favoreciendo el crecimiento	
Contenido de Bases acorde a necesidades		La Suma de Bases adecuada debe fluctuar entre 5 y 25 cmol(+)/l para tener balance	
Contenido de Materia Orgánica (MO)		Favorece la agregación, el aporte nutricional y la actividad microbial en el suelo	
Relación C/N		Dependiendo de los materiales implicados puede favorecer y promover la mineralización o la inmovilización. Determina el aporte de N. Debe ser < 20	
Contenido nutricional óptimo y balanceado (macro y micronutrientos)		La raíz es la "boca de la planta" y determina en alto grado su estado hídrico y condición nutricional, lo que requiere disponer de salud y nutrición adecuada	
Balance nutricional (cationes, aniones)		Como cualquier ser vivo la raíz requiere gozar de una buena nutrición balanceada	
Grado de salinidad		De ser elevado las raíces simplemente no crecen o reducen cantidad y calidad	

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

Factor	Elemento	Impacto / Consecuencia
Mecánico	Calidad y capacidad de equipo mecánico empleado en labores de manejo y cosecha	De ser inadecuado pueden provocar compactación y deterioro de la estructura del suelo; o en su caso, no cumplir a cabalidad con el objetivo procurado
	Grado de mecanización aplicado	La intensidad baja o alta puede afectar el desarrollo de las raíces al destruir la agregación y favorecer la compactación del suelo
	Profundidad de mecanización	En suelos arcillosos o compactados favorece la movilidad de la raíz
Biológico	Fauna y micro fauna presente	Contribuyen con la incorporación y desagregación (aminación) de la MO
	Actividad microbial prevaleciente	Activan y dinamizan el proceso de mineralización y humificación de la MO
Agronómico	Uso de riego	El aporte de humedad crea ambiente favorable al crecimiento superficial de la raíz
	Disposición de drenajes	Evita el acúmulo de agua y la falta de oxigenación y con ello el crecimiento radical
	Corrección y encalamiento del suelo	Corrige y mitiga el efecto detrimental provocado por la acidez del suelo
	Uso de enmiendas	Aportan nutrimentos y mejoran condición físico-química del suelo
	Prácticas de conservación del suelo	Evitan y reducen la pérdida de la capa arable y activa del suelo
	Terreno para siembra de la plantación	Define en alto grado el área potencial de movilización y exploración de la raíz
	Semilla y siembra de la plantación	La densidad, el número de yemas, la profundidad (≈5 cm) y la colocación influyen
	Labranza mínima	Mantiene estructura, aporta MO y minimiza deterioro del suelo
	Uso de coberturas	Aportan MO, nutrimentos y mejoran la físico-química del suelo
	Empleo de agroquímicos	Según tipo, cantidad, intensidad y forma de uso pueden ser perjudiciales. Pueden sin embargo proteger contra plagas y patógenos del suelo
	Nutrición de la plantación	Aporta nutrimentos esenciales. En exceso puede generar perjuicios (antagonismo)
	Manejo de residuos vegetales	Bien operado puede favorecer o en su caso perjudicar ambiente edáfico
	Quema en pie de planta durante la cosecha	Induce pérdida orgánica, incorpora sales y puede afectar microflora del suelo
	Requema de residuos en el suelo	Afecta por temperatura actividad microbial y favorece pérdida orgánica del suelo

Factor	Elemento	Impacto / Consecuencia
Fitosanitario	Presencia de plagas del suelo	Afectan directamente las raíces (chupadores, cortadores, ácaros)
	Presencia de patógenos del suelo	Afectan directamente las raíces (hongos, bacterias, virus)
	Presencia de fitonemátodos	Representan una de las limitantes más serias al sistema radicular
	Fitosanidad de la semilla	La sanidad del órgano reproductor es básico para asegurar la calidad del producto
Genético	Variedad cultivada	La rusticidad, sensibilidad, potencial productivo, biomasa radicular, adaptación al estrés, control estomático y conservación del agua son inherentes al cultivar
	Calidad de la semilla	Una calidad deficiente incide negativamente sobre el potencial radicular
	Edad de la semilla	Incide sobre la germinación y la capacidad de desarrollo de la raíz. Ideal 6-7 meses
	Origen de la semilla	Debe proceder de semillero y tomarse del tercio superior del tallo, no de la base
	Volumen y tipo de raíces	Viene determinado por la variedad y el ambiente en que se desarrolla
	Formación de Aerénquima	Se forma en exceso de agua, limitando la formación de raíces adventicias

* Según sea la naturaleza, cantidad, intensidad, características, mecanismo y momento de exposición y/o aplicación, el factor involucrado puede inducir que el efecto e impacto sea favorable (sinérgico) o desfavorable (antagónico).

** Los efectos e impactos aplican directa, indirecta y/o en forma interactiva sobre la raíz o el medio en que esta se desarrolla.

¿Cómo podemos contribuir a mejorar el sistema radicular de la caña?

Las opciones de mejoramiento del sistema agro productivo en procura de habilitar, estimular y activar el sistema de raíces de la caña de azúcar, son múltiples y muy variados virtud de las características y naturaleza de las limitantes y restricciones que se pretenden potenciar y/o resolver. El empleo de prácticas como son el uso de enmiendas y correctivos de acidez efectivos, se torna obligada si se pretende alcanzar productividades competitivas. La selección de materiales e insumos convenientes, el uso de coberturas vegetales y la habilitación de prácticas de manejo agronómico apropiadas en las plantaciones, que favorezcan la incorporación de Materia Orgánica resultan siempre muy oportunas y satisfactorias. La incorporación de nutrimentos esenciales adicionados según necesidades y en cantidades balanceadas, concebidos y operados en programas apropiados y ajustados estrictamente a las condiciones particulares de cada entorno, es sano y muy contributivo con el objetivo pretendido. Cualquier mejora que se haga al sistema radicular trasciende y se proyecta sobre el brotamiento de las yemas, la formación de cepa, el ahijamiento, el retoñamiento y el crecimiento de los tallos y la planta de caña en general (Chaves, 1988, 1999ab, 2002, 2010, 2017a, 2020c; Matsuoka y Santos, 2015; FAO, 2017, Kiehl, 1985).

De igual manera, reducir al mínimo necesario y permisible el tránsito y paso de maquinaria y equipos mecánicos por el campo, evitan la compactación de áreas importantes de la plantación. Asegurar el suministro de agua en periodos secos y retirar oportunamente los excesos de humedad en periodos de lluvia alta mediante sistemas de drenaje efectivos resultan también muy contributivos a la causa. Implementar medidas de Conservación de Suelos y Buenas Prácticas Agronómicas (BPA), asegurar condiciones que favorezcan la fitosanidad, evitar o minimizar la quema de la plantación en pie y eliminar la requema de residuos vegetales en el

suelo son muy valiosas para el ambiente donde se desarrolla la planta, y con ello, para el sistema radicular, pues impiden el deterioro y afectación de la actividad biológica en el suelo.

La preparación del terreno y la siembra de la plantación son fases determinantes para potenciar un desarrollo radicular robusto, sano, dotado con un área de exploración (horizontal y vertical) amplio, que permita asegurar el suministro de agua y nutrientes en periodos secos y cuando las condiciones del entorno son adversas (Foto #2). Las actividades de acondicionamiento del suelo para colocar la semilla merecen especial atención y cuidado, pues en principio y dependiendo del tipo de sustrato, se debe aflojar el mismo en una profundidad conveniente que aseguren aireación, lixiviación y percolación del agua, lo que condiciona la actividad radicular. En suelos pesados (Vertisoles) la descompactación previa a la siembra resulta esencial; lo que aplica para todos los suelos sobre todo cuando se renuevan plantaciones viejas. En suelos poco profundos (Ultisoles, Entisoles) se debe tener sumo cuidado con el laboreo mecánico, evitando eliminar la escasa capa arable existente sea por nivelación, uso de arados o rastras pesadas de discos; esto se torna de máximo cuidado en áreas onduladas o de lomerío.

La calidad y sanidad de la semilla por utilizar debe ser máxima, sin daños mecánicos o físicos ocasionados por plagas o patógenos, asegurando que proviene de una plantación de semillero y no de una comercial, cuenta con la edad deseada (6-7 meses), procede del tercio superior del tallo, está fresca, hidratada y el esqueje sembrado consta de tres yemas, nunca el tallo completo para evitar problemas de germinación por efecto de la dominancia apical (auxina). Lo ideal es que la semilla provenga de semilleros originados a partir de plantaciones establecidas con plántulas generadas por Cultivo de Tejidos in vitro que asegure calidad y sanidad. Es recomendable de ser viable que la semilla reciba tratamiento hidrotérmico previo, por medio del cual la misma es sometida a un periodo de inmersión en agua



Figura 2.

Sistema de raíces de la caña de azúcar, variedad Mex 79-431.
Fuente: DIECA, 1999

caliente de 51°C por 60 minutos, contados a partir del momento en que el agua alcanzó temperatura estable. También se emplean periodos de 20 minutos a 52°C. En el caso de variedades sensibles al calor se deben tratar a temperaturas mayores (máximo 53°C) por 30 minutos. La semilla debe taparse con una capa de 5-6 cm de suelo. En caña soca se deben realizar labores de subsolado (profundidades de 0,4-1,0 m) periódicamente y el paso de rastra de cinceles que favorezcan la ruptura profunda y el escarificado superficial del terreno, respectivamente. La práctica de desaporcar y aporcar la plantación (30-45 días) es muy propicia como lo demuestra la experiencia del campo, pues se induce y provoca un estímulo al crecimiento de las raíces.

En materia de agroquímicos (herbicidas, insecticidas, nematicidas, acaricidas, fertilizantes, adyuvantes) se deben evitar los excesos o la impericia en la selección y empleo de los productos y materias requeridas, pues un mal uso puede ser más perjudicial que el problema que se pretende resolver. Hay que asegurar y conocer sobre ingrediente activo, dosis, oportunidad de uso, equipos de aplicación y protección, condiciones ambientales, calibración del equipo, preparación de la mezcla, sinergias y antagonismo de productos, coadyuvantes, aplicación del producto en el campo, etc.



Conclusión

Una valoración objetiva y realista de la condición actual con proyección futura del desarrollo y evolución del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica, vislumbra con mucha aproximación y certeza la posibilidad de que las condiciones del clima se tornen difíciles y contraproducentes para el bienestar de la agroindustria. Si a lo anterior agregamos las condiciones variables y heterogéneas en que se ubican las plantaciones comerciales de caña en el territorio nacional, dominada por un entorno agro productivo con presencia de serias limitantes edafoclimáticas, se constata la necesidad de orientar los esfuerzos hacia la atención de esas necesidades.

Hasta el momento, vale reconocer que en materia tecnológica y de investigación en el cultivo de la caña de azúcar mucho bueno se ha logrado en el país, lo cual ha permitido con los resultados logrados, resolver, potenciar y elucidar diversos aspectos con relación a la funcionalidad y la dinámica del desarrollo de la planta de caña; pese a lo cual, resulta necesario, imperativo e insoslayable en las actuales circunstancias de profundos cambios climáticos, ahondar en el estudio del sistema radicular y sus relaciones con el desarrollo de la sección aérea de la planta. El sistema radicular de la planta cobra en este particular especial atención,

relevancia y prioridad, lo cual resulta aún más perentorio y decisivo si consideramos la poca investigación y conocimiento que se tiene sobre esta sección de la planta.

No cabe la menor duda en reconocer entonces que los estudios sobre el desarrollo y la distribución de las raíces en el suelo son de gran valor práctico, pues están muy relacionados con la selección de variedades, la ejecución de prácticas habituales de manejo agronómico; también con el aprovechamiento y optimización de los recursos y las acciones orientadas a potenciar elevar los niveles de productividad agroindustrial, lo cual adquiere relevancia pragmática si consideramos que el sistema radicular de la caña se concentra en los primeros 40 cm de profundidad, por lo que resulta razonable realizar estudios en esa dirección.

El conocimiento del sistema radicular de la caña de azúcar y la dinámica de su desarrollo en el suelo, proporcionan y aportan elementos valiosos y muy utilitarios para comprender y orientar con buen suceso las técnicas de manejo del cultivo, en procura de lograr optimizar los limitados recursos disponibles y aprovechar el potencial de producción inherente a las variedades sembradas comercialmente en el país.

Literatura consultada

Alfaro, R.; Chaves, M. 1999. *Observaciones sobre la capacidad de extracción y agotamiento nutricional de un Ultisol cultivado con caña de azúcar*. En: Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales, 11, Congreso Nacional de Entomología, 5, Congreso Nacional de Fitopatología, 4, Congreso Nacional de Suelos, 3, Congreso Nacional de Extensión Agrícola y Forestal, 1, San José, Costa Rica, 1999. Memoria: Recursos Naturales y Producción Animal. San José, Colegio de Ingenieros Agrónomos: EUNED, julio. Volumen III. p: 36. También en: Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p: 153. También en: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, setiembre. p: 84.

SECCIÓN NOTAS TÉCNICAS

- Alfaro Portuguez, R.; Ocampo Chinchilla, R. 2015. *Evaluación del sistema radicular en tres periodos del desarrollo de la caña*. En: Congreso Tecnológico DIECA 2015, 6, Coopevictoria, Grecia, Alajuela, Costa Rica. Memoria. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 20 y 21 de agosto del 2015. 12 p.
- Bacchi, O.O.S. 1983. *Botânica da cana-de-açúcar*. En: Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. José Orlando Filho (Coordenador). Piracicaba, São Paulo, Brasil. IAA/PLANALSUCAR. p: 25-37.
- Chaves Solera, M.A. 1988. *Efeito de Relações Ca:Mg, utilizando Carbonatos e Sulfatos, sobre o crescimento e a nutrição mineral da cana-de-açúcar*. Tesis Magister Scientiae. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 186 p.
- Chaves, M. 1999a. *La práctica del encalado de los suelos cañeros en Costa Rica*. En: Congreso de ATACORI "Randall E. Mora A.", 13, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 1999. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), setiembre. p: 216-223.
- Chaves Solera, M. 1999b. *El Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- Chaves Solera, M. 2002. *Corrección de suelos ácidos para cultivar caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio. 8 p.
- Chaves Solera, M. 2010. *Dinámica del Nitrógeno en el suelo y la planta de caña de azúcar*. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, noviembre. Presentación Electrónica en Power Point. 57 Láminas.
- Chaves Solera, M.A. 2017a. *Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica*. En: Seminario Internacional Producción y Optimización de la Sacarosa en el Proceso Agroindustrial, 1, Puntarenas, Costa Rica, 2017a. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), octubre 10 al 12, Hotel Double Tree Resort by Hilton. 38 p.
- Chaves Solera, M.A. 2017b. *La compactación de suelos en la caña de azúcar*. Revista Entre Cañeros N° 9. Revista del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). San José, Costa Rica, diciembre. p: 33-48.
- Chaves Solera, M.A. 2018. *Genética aplicada a la mejora de las plantaciones comerciales de caña de caña de azúcar*. En: Congreso Tecnológico DIECA 2018, 7, Colegio Agropecuario de Santa Clara, Florencia, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Memoria Digital. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA), 29, 30 y 31 de agosto del 2018. 43 p.
- Chaves Solera, M.A. 2019a. *Humedad y compactación de suelos en la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(6): 4-6, junio-julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019b. *Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático 1(7): 5-6, julio.
- Chaves Solera, M.A. 2019c. *Ambiente agro climático y producción de caña de azúcar en Costa Rica*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 1(18): 5-10, noviembre-diciembre.

- Chaves Solera, M.A. 2019d. *Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica*. En: Seminario Internacional: Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica. Hotel Condovac La Costa, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica, 2019. Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 15, 16 y 17 de octubre, 2019. 114 p.
- Chaves Solera, M.A. 2020a. *Implicaciones del clima en la calidad de la materia prima caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(1): 5-12, enero.
- Chaves Solera, M.A. 2020b. *Atributos anatómicos, genético y eco fisiológicos favorables de la caña de azúcar para enfrentar el cambio climático*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 5-14, mayo.
- Chaves Solera, M.A. 2020c. *Participación del clima en la degradación y mineralización de la materia orgánica: aplicación a la caña de azúcar*. Boletín Agroclimático (Costa Rica) 2(11): 6-17, junio.
- Dillewijn, C. Van. 1952. *Botany of Sugarcane*. Chronica Botánica Co. Waltham, Mass. Trad. Español Instituto del Libro. La Habana, Cuba. 460 p.
- FAO. 2017. *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 90 p.
- Faroni, C.E.; Ocheuze T., P.C. 2006. *Cuantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar*. Pesquisa agropecuária bras., Brasilia 41(6): 1007-1013, jun.
- Kiehl, E.J. 1985. *Fertilizantes Orgânicos*. Piracicaba, São Paulo, Brasil; Editora Agronômica "Ceres" Ltda. 492 p.
- Martin, J.P. 1961. *The anatomy of the sugarcane plant*. In Martin J.P.; Albott, E.V.; Hughes, C.G. Sugarcane diseases of the World. Amsterdam, Holanda. Elsevier. p. 20.
- Matsuoka, S.; Santos, E.G.D. 2015. *Ecofisiologia da brotação e desenvolvimento da cana-de-açúcar*. Em: Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. Fabio Cesar da Silva, Bruno José Rodriguez Alves, Pedro Luiz de Freitas, editores técnicos. Brasilia, DF: EMBRAPA. p:190-221.
- Romero, J.L.; Correa, R.; Sosa, F.A.; Sotomayor, C.; Morandini, M.; Aranda, N.; Sanzano, G.A. 2015. *Estudios del Sistema Radicular de la Caña de Azúcar en Tucumán*. Método de la Pared de Perfil. Avance Agroindustrial 36(1): 14-20, EEAOC.
- Thompson, G.D. 1976. *Water use by sugar cane*. South African Journal 60: 627-635.
- Vasconcellos, A.C.M.; Casagrande, A.A. 2008. *Fisiologia do Sistema Radicular*. Em: Cana-de-açúcar. Eds. Leila Luci Miranda; Antonio Carlos Machado de Vasconcellos; Marcos Guimarães de Andrade Landell. Campinas, São Paulo: Instituto Agronômico. p: 79-97.

Sabe a lo
que nunca
has probado!
Nuevas bebidas instantáneas



Bajo en calorías

Con extracto de
Stevia

Descubrí tu sabor