Manejo sostenible de tierras en la Producción de caña de azúcar Tomo II

Hipólito Pérez Iglesias, Ignacio Santana Aguilar, Irán Rodríguez Delgado

Universidad Técnica de Machala

Manejo Sostenible de Tierras
en la Producción de Caña de Azúcar
Tomo II

Ing. César Quezada Abad, MBA
Rector

Ing. Amarilis Borja Herrera, Mg. Sc.
Vicerrectora Académica

Soc. Ramiro Ordóñez Morejón, Mg. Sc.
Vicerrector Administrativo

COORDINACIÓN EDITORIAL
VICERRECTORADO ACADÉMICO

Tomás Fontaines-Ruiz, PhD.
Investigador Becario Prometeo-Utmach
Asesor Del Programa De Reingeniería

Ing. Karina Lozano Zambrano
Coordinadora Editorial

Ing. Jorge Maza Córdova, Ms.
Ing. Cyndi Aguilar
Equipo de Publicaciones

Manejo Sostenible de Tierras en la Producción de Caña de Azúcar Tomo II

Hipólito Pérez Iglesias

Ignacio Santana Aguilar

Irán Rodríguez Delgado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
2015

Agradecimiento

La presente obra, recoge en apretada síntesis, los principales resultados de casi 50 años de trabajo del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. En la obtención de los mismos ha participado, de una forma u otra, todo el colectivo de investigadores y trabajadores en general, sin ellos habría sido imposible alcanzar este objetivo.

También queremos agradecer a los especialistas de la Agencia de Medio Ambiente (AMA) del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), al Programa de Asociación de País (OP-15) para el apoyo al programa nacional de lucha contra la desertificación y la sequía, quienes apoyaron sin vacilación desde el primer momento la primera edición de esta obra.

A todos ellos nuestro más profundo reconocimiento.

Los autores

Segunda edición 2015

ISBN: 978-9942-24-031-6

D.R. © 2015, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
Ediciones UTMACH
Km. 5 1/2 Vía Machala Pasaje
www.utmachala.edu.ec

ESTE TEXTO HA SIDO SOMETIDO A UN PROCESO DE EVALUACIÓN POR PARES EXTERNOS CON BASE EN LA NORMATIVA EDITORIAL DE LA UTMACH.

Portada:
Concepto editorial: Jorge Maza Córdova
Diseño: Karina Lozano Zambrano

Diseño, montaje y producción editorial: UTMACH

Impreso y hecho en Ecuador
Printed and made in Ecuador

Advertencia: "Se prohíbe la reproducción, el registro o la transmisión parcial o total de esta obra por cualquier sistema de recuperación de información, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, existente o por existir, sin el permiso previo por escrito del titular de los derechos correspondientes".

Índice

Nutrición y Fertilización 25

Mario Ernesto de León Ortiz
Hipólito Israel Pérez Iglesias
Rafael Villegas Delgado

Elementos Esenciales para las Plantas 26
Leyes Generales de la Fertilización 27
Ley de Restitución-Ley de Conservación Universal..... 27
Ley del Mínimo y de Interdependencia-Ley Biológica Universal 27
Ley de los Aumentos Decrecientes-Ley Económica Universal ... 29
Fundamentos para el Empleo Eficiente de los Fertilizantes Minerales (Npk) en la Caña de Azúcar 30
Nitrógeno 30
El Nitrógeno en la Naturaleza 30
Contenido y Formas del Nitrógeno en el Suelo 31
Ciclo del Nitrógeno en un Agroecosistema con Caña de Azúcar 32
Transformaciones del Nitrógeno en el Suelo 33
Transformaciones del Nitrógeno en la Planta 33
Efectos del Nitrógeno sobre la Caña de Azúcar 34
Efectos del Nitrógeno sobre el Rendimiento Agrícola 35
Efectos del Nitrógeno sobre la Depresión del Contenido de Sacarosa 36
Efectos del Nitrógeno sobre el Incremento de Azúcares Reductores 37

Efectos del Nitrógeno sobre el Contenido de Nitrógeno
y Fósforo en el Jugo 37
Pérdidas y Ganancias de Nitrógeno 37
Pérdidas de Nitrógeno 38
Ganancias de Nitrógeno 39
Factores que Determinan la Efectividad en el uso del Nitrógeno 39
Diagnóstico de la Necesidad de Nitrógeno por la Caña de Azúcar 45
Correcciones de las Dosis de Nitrógeno a Través del Análisis
Foliar 46
Recomendaciones de Nitrógeno Vigentes en Cuba..... 47
Biofertilización 48
Los Biofertilizantes en Cuba..... 49
La Fijación Bilógica del Nitrógeno en la Caña de Azúcar 49
Generalidades sobre el Azospirillum y su
uso en Caña de Azúcar en Cuba..... 50
Fósforo..... 52
Contenido y Formas del Fósforo en el Suelo 52
Componentes del Fósforo Total..... 53
Transformaciones del Fósforo en el Suelo..... 54
Pérdidas y Ganancias de Fósforo..... 55
Pérdidas de Fósforo..... 55
Ganancias de Fósforo..... 56
Efectos del Fósforo sobre la Caña de Azúcar..... 56
Factores que Determinan la Efectividad en el uso del Fósforo.. 57
Diagnóstico de la Necesidad de Fósforo por la Caña De Azúcar 58
Fertilización Fosfórica y Calidad de los Jugos
en Caña de Azúcar 59
Relación entre la Dosis de Fósforo y
el Contenido de Fósforo en el Jugo 59
Efecto de la Fertilización Fosfórica sobre
la Clarificación del Jugo 60
Efecto de la Fertilización Fosfórica Sobre
el Contenido de Almidón en el Jugo..... 61
Relación N/P_2o_5..... 61
Recomendaciones de Fósforo Vigentes en Cuba 65
Síntomas Visuales de Deficiencia de Fósforo..... 65

Potasio 66
Contenido y Formas del Potasio en el Suelo 66
Fijación 67
Pérdidas y Ganancias de Potasio 67
Pérdidas 68
Ganancias de Potasio 69
Efecto del Potasio sobre la Caña de Azúcar 69
Diagnóstico de la Necesidad de Potasio por la Caña de Azúcar. 71
Correcciones de Dosis de Potasio a Través del Análisis Foliar .. 71
Fertilización Potásica y Calidad de los Jugos
de la Caña de Azúcar 72
Recomendaciones de Potasio para la Caña de Azúcar
Vigentes en Cuba 75
Síntomas Visuales de Deficiencia De Potasio 76
El Ph Y La Disponibilidad De Nutrientes 77
Microelementos 78

Abonos Orgánicos y Verdes. Rotación de Cultivos y
Encalado 81

Nelson Cristóbal Arzola Pina
Hipólito Israel Pérez Iglesias
Irán Rodríguez Delgado

Aprovechamiento De Residuos Orgánicos
en La Agricultura Cañera 81
Residuos De La Producción De Azúcar 82
Residuos De La Elaboración De Alcohol Y Levadura Torula 82
Vinaza 82
Levadura Torula 84
Enfriamiento De Los Residuos 85
Residuos Sólidos 88
Cachaza 88
Ceniza 93
Compost 93
Síntesis De Algunos Resultados Obtenidos, Con el Uso de
Residuos Agroindustriales De La Caña De Azúcar 96

Abonos Verdes 96
Rotación de Cultivos 98
Encalado..... 99
El Encalado y la Reacción del Suelo 100
La Acidez del Suelo 100
El Ph y los Cultivos 100

Riego y Drenaje 103
Reynaldo Roque Rodés
Carlos José Lamelas Felipe

Potencialidades Productivas de la Caña de Azúcar Bajo Riego.. 104
Comportamiento de las Precipitaciones y
las Condiciones del Suelo..... 105
Importancia del Comportamiento de las Precipitaciones 105
Propiedades del Suelo que Influyen
en el Manejo del Agua de Riego 105
Régimen de Riego de la Caña de Azúcar 106
Variables Que Afectan El Balance Hídrico..... 107
Necesidades de Riego 109
Técnicas de Riego Más Empleadas en la Caña de Azúcar..... 110
Riego por Superficie 110
Riego por Aspersión 115
Riego Localizado..... 118
Índices Técnicos para Seleccionar las Tecnologías de Riego 120
Pronóstico de Riego 120
Drenaje. Caracterización y Categorización de los Problemas de
Drenaje Superficial y Subsuperficial. Recomendación de las
Tecnologías 122
Caracterización y Categorización de los Problemas de Drenaje. 124
Tecnologías de Drenaje para las Áreas Cañeras 125
Métodos de Drenaje..... 127
Nivelación del Terreno 129

Estimados, Programación de Corte y Cosecha 133
Luis Humberto Soler Figueroa
Yoel Betancourt Rodríguez
Hipólito Israel Pérez Iglesias

Estimados 133
Desglose del Estimado 133
Confección del Estimado 134
Caña a Dejar Quedar 134
Control del Estimado 134
Liquidación de Estimados 135
Programación de Corte 135
Estrategia de Corte 136
Período de Zafra 137
Uso de Desaceleradores de Crecimiento 137
Inhibición de la Floración 138
Cosecha 139
Sistemas de Cosecha 139
Medios Empleados en la Cosecha de la Caña 140
Alzadoras 141
Cosechadoras de Proceso Completo 141
Organización de la Cosecha 144
Índices de Eficiencia de la Cosecha 147
Efectos de la Quema de Caña de Azúcar 149
Productividad de las Cosechadoras 151
Cosecha de Caña en Condiciones de Alta Humedad 151

Servicios Científicos Técnicos y Extensión Agrícola 153
Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE) 153
Mario Ernesto de León Ortiz
Jacinto Campos Asín

Impactos del SERFE 154

Servicio de Variedades Y Semilla (SERVAS) 156
Rolando Medardo González Acosta
José María Mesa López

Contribución del SERVAS a la Protección Fitosanitaria..... 157
Valoración Económica 158
Servicio Fitosanitario (SEFIT) 159
Mérida Loreto Rodríguez Regal
Eida Luisa Rodríguez Lema
Jesús Matos García

Impactos del SEFIT 159
Servicio para el Control Integral de Malezas (SERCIM)..... 165
Lorenzo Rodríguez Estrada
Rigoberto Martínez Ramírez

Principales Funciones del SERCIM 166
Servicio de Labranza (SERLAB) 166
Yoel Betancourt Rodríguez

Objetivos del SERLAB 167
Alcance del SERLAB..... 167
Servicio Integral de Explotación de Riego y Drenaje (SIERIED). 168
Carlos José Lamelas Felipe
Reynaldo Roque Rodés

Impactos del SIERIED 169
Servicio de Ordenamiento Territorial (SEROT) 169
Manuel Pérez Izquierdo

Utilidad de un Sistema de Información Geográfica (SIG) 170
El Ordenamiento Territorial Como Un Servicio Científico Técnico..... 171
Sistema Automatizado para la Gestión y la Asistencia Científico Técnica en la Agricultura Cañera..... 171

Extensión Agrícola 172
Nancy Yumarys Zambrano Quiñones
Irán Rodríguez Delgado

El Proceso de la Enseñanza en la Labor de Extensión Agrícola. 173
Adopción De Una Nueva Tecnología..... 174
Condiciones Principales que debe Reunir un Buen
Extensionista 174

Bibliografía 177

Prólogo

En los últimos años el término "Manejo Sostenible de Tierras" ha ganado espacio e interés en las formas de producción agrícola. No es posible hablar de desarrollo agrícola sin tener presente los principios de sostenibilidad. Producir suficientes alimentos para la creciente población mundial, sin ocasionar daños a los recursos naturales (suelos, agua, clima y bosques), de los cuales depende la subsistencia del género humano, constituye un reto de primer orden para las generaciones presentes y futuras.

En los países en vías de desarrollo, la mayoría de los aumentos de la producción de alimentos en los próximos años, resultará de la intensificación de la producción agrícola, en las tierras actualmente cultivadas, mediante el incremento de insumos como, agroquímicos, maquinaria agrícola, riego de agua, entre otros. Sin embargo una Agricultura Sostenible exige que estos insumos sean utilizados de manera racional para una máxima eficiencia en la producción de alimentos, pero con un mínimo de efectos negativos sobre el medio ambiente.

En la presente obra "Manejo Sostenible de Tierras en la Producción de Caña de Azúcar" se enfoca en los 12 capítulos que la conforman, los principios de Agricultura Sostenible. En ella los investigadores, directivos, técnicos y fundamentalmente los productores, así como los estudiantes de agronomía, de la generación presente y futura, tendrán en sus manos un material de estudio y consulta permanente, de los avances tecnológicos más recientes, en el manejo sostenible de la cadena productiva de la caña de azúcar, sin dañar el entorno natural.

El 11 de noviembre de 1964, el compañero Fidel Castro, al clausurar el Primer Fórum Nacional Azucarero expresó: "Siendo nosotros el primer

país en volumen de producción y siendo un país cuya economía ha dependido y tendrá que depender todavía por un lapso de tiempo fundamentalmente de la producción azucarera, es posible que seamos el último país del mundo en cuanto a investigaciones y técnica azucarera. Si abrimos cualquier libro sobre cuestiones de azúcar y de caña, nos encontramos referencias a las investigaciones realizadas en numerosos países, donde quiera que ha habido un poco de lógica entre el interés por la producción y la importancia que tiene la investigación".

"No quiere esto decir que en Cuba no existiesen buenos técnicos en cuestiones de caña. Precisamente, de Cuba surgieron en el siglo pasado una serie de teorías y de conocimientos relacionados con la caña en un libro que recorrió el mundo y que era mucho más conocido fuera de Cuba que en Cuba, libro que sirvió algo así como de guía a las investigaciones en casi todos los países del mundo. Este libro comienza de nuevo a circular y a ser conocido en nuestro país".

Se refería Fidel al libro "Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar" de Álvaro Reynoso, que había sido reimpreso por el Ministerio de Industrias y comenzaba a llegar a todas partes del país, Universidades, Institutos Tecnológicos Agrícolas y Granjas de Producción Cañera.

En ese mismo acto del 11 de noviembre de 1964, Fidel creó el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), adscrito a la Academia de Ciencias de Cuba.

Hoy, poco antes de conmemorarse el 50 Aniversario de ese Instituto y en saludo a tan importante fecha, los investigadores del INICA, en este medio siglo de duro y constante trabajo investigativo, representados en el colectivo de autores que elaboramos esta obra científica y después de haberse cumplido más de 65 y 60 años de investigaciones en las Estaciones Experimentales de la Caña de Azúcar de Jovellanos y Guaro, respectivamente, le hacemos este modesto regalo a nuestro Comandante en Jefe, al personal que labora en el sector agro-azucarero, a los estudiantes de agronomía y las futuras generaciones.

Los autores

Tierra

"Se refiere a un área definida de la superficie terrestre que abarca el suelo, la topografía, los depósitos superficiales, los recursos de agua y clima, las comunidades humanas, animales y vegetales que se han desarrollado como resultado de la interacción de esas condiciones biofísicas. Ello permite referirse más directamente al manejo, o como otros lo nombran, gestión integral de los recursos naturales" [1]

[1]María Nery Urquiza Rodríguez, Candelario Alemán, Leonardo Flores, María Paula Ricardo y Yulaidis Aguilar Pantoja: Manual de Procedimientos para Manejo Sostenible de Tierras. Programa de Asociación de País para el Apoyo al Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. CIGEA 2011.ISBN: 978-959-287-027-7. pp. 5-10.

Manejo Sostenible de Tierra

"modelo de trabajo adaptable a las condiciones de un entorno específico, que permite el uso de los recursos disponibles en función de un desarrollo socioeconómico que garantice la satisfacción de las necesidades crecientes de la sociedad, el mantenimiento de las capacidades de los ecosistemas y su resiliencia"

"asociado a este modelo de trabajo, necesariamente habrá que conseguir una nueva forma de pensar y actuar en la agricultura, de manera que se conjuguen las acciones multidisciplinarias y transectoriales en función de la gestión integrada de los recursos" .

[2] María Nery Urquiza Rodríguez, Candelario Alemán, Leonardo Flores, María Paula Ricardo y Yulaidis Aguilar Pantoja: Manual de Procedimientos para Manejo Sostenible de Tierras. Programa de Asociación de País para el Apoyo al Programa Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. CIGEA 2011.ISBN: 978-959-287-027-7. pp 5-10.

Caña de Azúcar

Planta extraordinaria, capaz de sintetizar y almacenar en sus tallos, el más universal de los alimentos. Introducida en Cuba en mayo de 1515, procedente de República Dominicana, donde había llegado unos años antes en el segundo viaje realizado, por el almirante Cristóbal Colón en 1493. Su adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la Isla propiciaron una rápida extensión y diseminación por todo el país, convirtiéndose en el primer productor y exportador de azúcar del mundo, lo cual ocasionó una terrible destrucción de los frondosos y admirados bosques cubanos, fue la causante del comercio de negros esclavos traídos de África, de trabajos forzados y despiadados, sin embargo se trata de una planta maravillosa que bien manejado su cultivo, es capaz de proteger el suelo, evitar o disminuir la contaminación ambiental y al mismo tiempo ofrecer espectaculares ganancias al productor cañero y al país en general.

Moreno Fraginals [3] en su libro "El Ingenio" expresa: "y hemos ido hacia esta investigación porque estamos plenamente convencidos de que sin un estudio exhaustivo de la economía azucarera no hay posibilidad alguna de interpretar la historia de Cuba".

[3] Moreno Fraginals, M. (1964). El Ingenio. El complejo económico social cubano del azúcar. Tomo I (1760-1860). Empresa Consolidada de Artes Gráficas, Comisión Nacional Cubana de la UNESCO. La Habana, Cuba, pp. 63-138.

Nutrición y Fertilización

Mario Ernesto de León Ortiz
Hipólito Israel Pérez Iglesias
Rafael Villegas Delgado

Todas las labores que se realizan en la cadena productiva de la caña de azúcar son importantes y deben estar armónicamente sincronizadas para que los rendimientos no declinen vertiginosamente. Especial atención se necesita brindar a la nutrición de esta planta y en particular a la fertilización, porque para las condiciones de Cuba, esta labor constituye una práctica cultural de máxima importancia para que los campos de caña alcancen rendimientos adecuados y estables. Su elevado costo, exige realizar un uso oportuno y efectivo para asegurar el máximo aprovechamiento. En los suelos tropicales donde los procesos de degradación son intensos, no es posible garantizar sin la aplicación de fertilizantes minerales, una nutrición balanceada de la caña de azúcar y mucho menos alcanzar producciones altas y rentables.

En este capítulo se exponen los elementos básicos indispensables, para manejar adecuadamente la fertilización mineral de la caña de azúcar, en las condiciones edafoclimáticas de Cuba, sin olvidar que los fertilizantes minerales son los de mayor impacto negativo en el entorno cuando se usan en exceso, sobre todo los nitrogenados y fosfóricos, pero bien utilizados, son capaces de aumentar los rendimientos hasta en un 25%, incrementar significativamente la rentabilidad del productor y la calidad de la materia prima en armonía con el entorno.

Elementos Esenciales para las Plantas

La nutrición de las plantas depende de 16 elementos esenciales (Tabla 8.1).

Tabla 8.1. Elementos esenciales para el crecimiento de las plantas.

Elementos o materiales	Símbolo o fórmula	kg ha-[1]
Suministrado por el aire y el agua		
Hidrógeno (agua)	H_2O	2 - 6 millones
Oxígeno (aire)	O_2	5 000 – 8 000
Carbono (dióxido de carbono)	CO_2	15 000 – 25 000
Elementos primarios (Suministrados por el suelo y los fertilizantes)		
Nitrógeno	N	20 - 300
Fósforo	P	20 - 100
Potasio	K	20 - 400
Elementos secundarios (Suministrados por el suelo, fertilizantes o enmiendas)		
Calcio	Ca	20 - 400
Magnesio	Mg	20 - 100
Azufre	S	10 - 100
Microelementos (Suministrados por el suelo y los fertilizantes)		
Cloro	Cl	5 - 20
Hierro	Fe	1 - 5
Manganeso	Mn	0,5 - 5
Boro	B	0,2 - 2
Zinc	Zn	0,3 - 3
Cobre	Cu	0,2 - 2
Molibdeno	Mo	0,01 – 0,1

De ellos, tres: Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (O) constituyen cerca del 95% de la planta y provienen del agua y del aire. Estos tres elementos participan en la fotosíntesis. Los 13 elementos restantes se clasifican en mayores primarios, mayores secundarios y microelementos y son los que las plantas absorben del suelo o de los fertilizantes y enmiendas que se aplican. El hecho de que un elemento se encuentre formando parte de los tejidos de la planta no es prueba de que resulte esencial, pues para ello deben cumplirse determinados requisitos como son:

• El elemento debe estar directamente implicado en el metabolismo de la planta.

• En caso de insuficiencia aparecerán anormalidades o síntomas definidos.

• De faltar, la planta no completará su ciclo vegetativo o reproductivo.

El calcio, el magnesio y el azufre se denominan elementos mayores secundarios, a diferencia de los principales (N, P, K) porque sus insuficiencias son menos frecuentes que las de estos últimos, y por lo tanto se usan menos como fertilizantes.

Leyes Generales de la Fertilización

Ley de restitución-Ley de conservación universal.

"Restituirle al suelo los elementos esenciales que se han perdido por diversas vías, para evitar su agotamiento nutricional" (Figura 8.1).

Figura 8.1. Restitución de los nutrientes que salen del suelo por exportación de la cosecha, lavado y erosión, mediante la aplicación de fertilizantes.

Ley del mínimo y de interdependencia - Ley biológica universal.

"Del conjunto de nutrientes esenciales, el que se encuentre al mínimo con respecto a las necesidades de la planta (K, en la Figura 8.2) es el que determina el rendimiento que se alcanzará (nivel de agua del barril

en la ilustración)". De ahí que sólo aplicando potasio sería posible en este caso aumentar el rendimiento.

El vaso comunicante en el barril, representa el potencial genético de rendimiento de la variedad (genotipo), el cual se alcanzará en mayor o menor medida, dependiendo de los factores nutricionales que limiten los rendimientos (ambiente). Desde otro punto de vista, serán mejor aprovechadas las potencialidades de rendimiento en un ambiente determinado, mientras mayor potencial de rendimiento posea la variedad plantada, lo que ilustra la relación entre el genotipo y el ambiente.

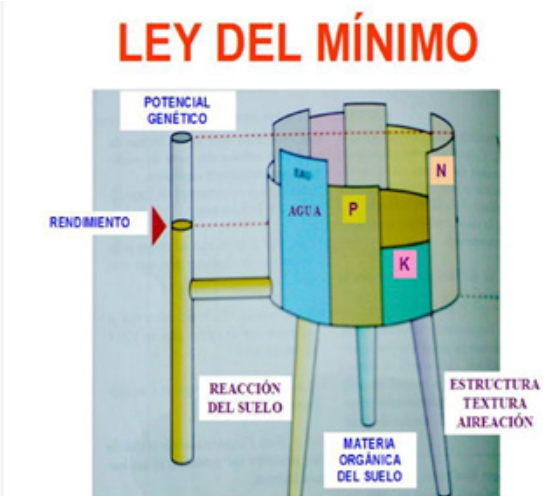


Figura 8.2. Esquema que representa la ley del mínimo.

Las tres patas que sostienen el barril representan aquellos factores que poseen mayor influencia sobre las propiedades del suelo que definen el rendimiento del cultivo. Estas son:

1. El estado estructural del suelo: Dado que el deterioro de la estructura define la degradación física del suelo, manifestada principalmente a través de problemas de compactación, impermeabilidad, costras, mal drenaje, pobre aireación y erosión (hídrica y eólica).

2. La materia orgánica del suelo (MOS): La cual favorece diferentes propiedades del suelo. Este efecto beneficioso es mayor mientras más humificada se encuentre la MOS.

3. La reacción del suelo o pH: El cual influye sobre las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y biológicas del suelo.

Ley de los aumentos decrecientes-Ley económica universal.

"Cuando se aportan cantidades crecientes del elemento esencial que limita el rendimiento del cultivo (factor limitante), a aumentos constantes, corresponden incrementos cada vez menores del rendimiento a medida que la cosecha se acerca a su máximo". Esto explica porque el óptimo económico de la dosis de aplicación de un nutriente, es algo inferior al máximo rendimiento que se puede alcanzar con el suministro de la misma. Aplicaciones por encima de las necesarias para alcanzar un máximo rendimiento sólo ocasionan mayores gastos y deterioro ambiental (consumo de lujo) y puede llegarse a un exceso nutricional, con disminución de los rendimientos (Ley del máximo) (Figura 8.3).

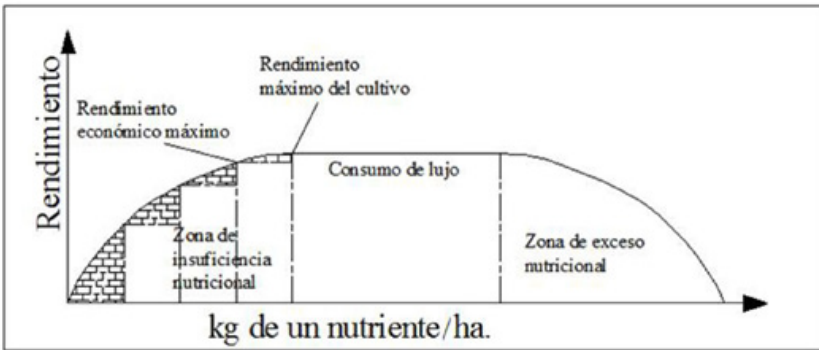


Figura 8.3. Incremento en rendimiento a dosis crecientes de fertilizantes.

Desde el punto de vista de la ley del mínimo, cualquiera de los factores ambientales que actúe como limitante, impedirá que otro factor modifique favorablemente el rendimiento. Como el efecto de la fertilización mineral sobre el rendimiento depende de una gran cantidad de factores presentes en cualquier localidad, estos deben ser evaluados y categorizados para emplear en correspondencia con ellos un manejo agrícola adecuado. Por ejemplo, en un campo infestado de malezas o con fuerte ataque de plagas o enfermedades, podrían resultar inútiles

todos los esfuerzos que se realicen por aumentar los rendimientos mediante el empleo de fertilizantes.

El uso racional de los fertilizantes posee un interés económico, como se explica por la ley de los aumentos decrecientes, una vez que se llega al tope de rendimiento, las aplicaciones adicionales no aumentan el rendimiento, incluso éstas pueden resultar en un exceso que afecte el rendimiento o la calidad del producto agrícola (Ley del máximo). Por otra parte, existe un daño ecológico, pues la porción del fertilizante que no es extraída por la planta queda como residuo en el suelo, donde podría perderse por diferentes vías, contaminando el entorno o creando un exceso nutricional perjudicial para la producción o para la calidad del producto agrícola.

Fundamentos para el Empleo Eficiente de los Fertilizantes Minerales (NPK) en la Caña de Azúcar

Atendiendo a las leyes mencionadas es necesario precisar en cada localidad cual o cuales nutrientes limitan el rendimiento de la caña de azúcar y que dosis, momento, lugar y forma de aplicación del fertilizante que lo(s) contiene debe utilizarse para alcanzar los mejores resultados económicos y ecológicos, basado en los principios del manejo sostenible de tierras.

Nitrógeno.

El nitrógeno en la naturaleza.

En el aire comprendido sobre una hectárea de tierra hay alrededor de 85 000 toneladas de nitrógeno [4], pero éste es inaccesible en forma directa para las plantas superiores. Sin embargo, la atmósfera sólo contiene un 6% del nitrógeno total en la tierra, el resto se encuentra en la litósfera, principalmente en los minerales primarios del manto, bajo formas no alcanzables ni disponibles para las plantas.

[4] El nitrógeno constituye el 78% en volumen del aire seco y el 75,5% de su masa.

Contenido y formas del nitrógeno en el suelo.

El N no está distribuido uniformemente a través del perfil del suelo, su contenido disminuye con la profundidad. Esto se debe a la dependencia que el N del suelo tiene de la MOS. Más de 95% de este elemento en el suelo se encuentra en la MOS, constituyendo de 5 a 6% de su masa. La mayor cantidad de N se localiza en el horizonte de cultivo lo que resulta ventajoso para la caña de azúcar, planta gran consumidora de N y con el mayor porcentaje de raíces en la capa de suelo de 0-40 cm El hecho de que anualmente sólo se mineralice entre 1 y 3% del N presente en la MOS, da lugar a que ésta constituya una reserva suficientemente estable de las formas asimilables de este nutriente por las plantas.

En las condiciones de Cuba, en los suelos cañeros son frecuentes valores de MOS en el entorno de 3%, en una hectárea, aproximadamente de 2 240 t de suelo fértil, se tienen unas 67,2 t de MOS, con unos 3 696 kg de N. Considerando 5,5% de N en la MOS, del que entre 37 y 111 kg pueden ser disponibles para las plantas, con una tasa de mineralización de 1 a 3%. Si esta reserva no se renueva, apenas bastaría, para unas seis décadas. El contenido de humus y nitrógeno en diferentes suelos cañeros de Cuba se muestran en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2. Contenido de nitrógeno y humus en diferentes tipos de suelos cañeros de Cuba.

Tipo de suelo	Perfiles (Cantidad)	Profundidad (cm)	Humus (%)	N total (%)	N hidrolizable (mg/100 g)
Ferralítico Rojo	73	0 – 20	2,99	0,172	10,17
		20 – 30	2,31	0,132	7,96
		30 – 40	1,63	0,104	6,51
		40 – 50	1,00	0,076	5,50
		50 – 60	1,00	0,067	4,94
		60 – 80	0,78	0,057	4,39
Ferralítico Amarillento	14	0 – 20	3,38	0,204	11,79
		25 – 35	2,03	0,134	9,82
		40 – 50	0,93	0,081	6,19
		55 – 65	0,85	0,056	5,11
		80 – 90	0,67	0,049	4,18

Vertisuelos	68	0 – 20	3,74	0,146	6,53
		20 – 30	2,33	0,086	6,00
		30 – 40	1,46	0,066	5,28
		50 – 60	1,36	0,042	4,40
		70 – 80	0,84	0,026	3,60
		80 – 100	0,70	0,023	4,02
Gris Amarillento	36	0 – 20	3,40	0,182	9,16
		20 – 30	1,86	0,120	6,31
		30 – 40	1,49	0,085	6,29
		50 – 60	0,86	0,060	6,20
		60 – 80	0,79	0,036	4,09
		80 – 100	0,48	0,024	5,52
Pardo Sialítico	118	0 – 20	3,75	0,254	9,87
		20 – 30	2,72	0,152	7,23
		30 – 40	1,83	0,100	6,31
		40 – 50	1,24	0,068	4,67
		50 – 60	0,95	0,051	4,30
		60 – 70	0,75	0,046	-

En general el valor reportado por diferentes países cañeros para el N total de la capa arable es «Bajo», del orden de 0,01 a 0,50% de la masa de la capa arable del suelo.

Además del N orgánico componen el N total las formas iónicas amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3), productos de la mineralización de la MOS o transferida de la atmósfera al suelo con las precipitaciones pluviales y algunas formas gaseosas como el óxido nitroso (N_2O), el óxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el amoníaco (NH_3), debidas a reducciones bióticas y químicas que ocurren en el suelo.

Ciclo del nitrógeno en un agroecosistema con caña de azúcar.

Al estudiar el N en un agroecosistema se encuentra que este elemento llega a establecer determinado equilibrio entre entradas y salidas, estableciendo un ciclo. Cuando el hombre explota industrialmente un cultivo, contribuye a alterar la estabilidad del ciclo. Es por ello que cuando se hace referencia a un cultivo es necesario atender a nuevas consideraciones en atención al

ciclo de los nutrientes que en él intervienen. Como las plantas toman casi todo su nitrógeno del suelo, resulta útil al estudiar el ciclo, atender por una parte a las transformaciones que sufre el elemento en el suelo, y por otra, a las diferentes vías de entradas y salidas del nitrógeno en el mismo.

Transformaciones del nitrógeno en el suelo.

El mayor contenido de N en los horizontes de cultivo está en la MOS, la que al degradarse por diferentes procesos de carácter microbiano, pone a disposición de las plantas el nitrógeno en formas minerales asimilables. En la evolución de la MOS hacia formas asimilables se distinguen dos fases: la humificación y la mineralización.

Transformaciones del nitrógeno en la planta.

El N absorbido por las raíces de las plantas en forma de nitrito (NO_2) y de nitratos (NO_3), se reduce en la célula vegetal a amoníaco (NH_3), que sin llegar a acumularse entra en reacción con los ácidos oxalacético, cetoglutárico y oxálico, productos de la oxidación de los carbohidratos, dando lugar a los ácidos aspártico y glutámico, aminoácidos éstos que por el proceso de transaminación pueden transferir el nitrógeno amínico a cualquier otro cetoácido con lo que se obtienen los restantes aminoácidos que componen las moléculas de proteínas (Figura 8.4).

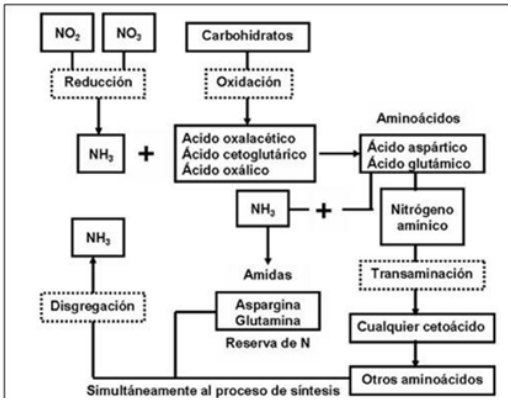


Figura 8.4. Transformaciones del nitrógeno en la planta.

Pero simultáneamente al proceso de síntesis de sustancias orgánicas nitrogenadas, ocurre en las células de las plantas la disgregación de las sustancias orgánicas formadas, descomponiéndose hasta amoníaco. Con razón Prianischnikov sentenció:

«…el amoníaco tomado por las plantas o formado dentro de ellas en el proceso de reducción de los nitratos, es la sustancia básica para la síntesis de las proteínas y al mismo tiempo es el producto final de la descomposición de las sustancias nitrogenadas…» A lo que agregó: «…el amoníaco es alfa y omega del metabolismo de las sustancias nitrogenadas en las plantas, o sea, que de él empieza y con él termina dicho metabolismo…»

Efectos del nitrógeno sobre la caña de azúcar.

El N forma parte de las proteínas simples y compuestas, que a excepción del agua, constituyen la mayor parte del citoplasma de las células vegetales, participando en importantes funciones estructurales, energéticas y enzimáticas. Entra en la composición de los ácidos nucleicos, ribonucleico y desoxirribonucleico, que juegan un papel exclusivo en el metabolismo y la síntesis proteica. Es parte esencial de la molécula de clorofila, sustancia gracias a la cual es posible convertir la energía solar en energía química y se sintetizan los hidratos de carbono. También está presente en hormonas, en los transportadores de energía, fosfatos de adenosina, en vitaminas y muchos otros compuestos orgánicos. Van Dillewijn (1975) refiriéndose a la gran importancia funcional de este elemento destacó que, aunque constituye sólo una fracción de 1% de la masa total de la caña madura, su papel es comparable a los del carbono, el hidrógeno y el oxígeno, que en su conjunto constituyen más de 98% de la materia seca.

Los efectos del N sobre la caña de azúcar pueden sistematizarse en dos grupos: uno que comprende la acción sobre el rendimiento agrícola y otro la acción sobre la calidad del jugo. El primer grupo es afectado por las deficiencias del nutriente, mientras que el segundo lo es por los excesos. Cuando el N se aplica sin atender a otros factores limitativos y, por consiguiente, no se obtienen beneficios, se está aplicando en demasía, situación que ocurre con frecuencia. La aplicación de N en exceso, aún sin

que llegue a causar daños a la planta, constituye una erogación de recursos económicos sin retribución que afecta la rentabilidad del productor.

Un notable aspecto a tenerse en cuenta con relación al uso excesivo de nitrógeno es la contaminación del medio ambiente. Los fertilizantes nitrogenados están entre los productos más contaminantes usados en la agricultura. Sus óxidos volátiles contribuyen al efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono; los nitratos lavados contaminan el agua freática y las corrientes fluviales, pudiendo llegar a causar serias afecciones al hombre y otros animales, provocando enfermedades tales como: cáncer y metahemoglobinemia.

Efectos del nitrógeno sobre el rendimiento agrícola.

Cuando la disponibilidad de formas asimilables del N es limitativa, su aplicación da lugar a un incremento progresivo de la población de tallos, lo que es considerado como el mayor efecto de los fertilizantes nitrogenados sobre la producción. Este efecto se manifiesta con diferente intensidad en las distintas cepas, ausente frecuentemente en caña planta y más marcada en los retoños. El aumento del número de tallos «molibles» alcanza un límite no superado por cantidades adicionales del nutriente. Algo similar ocurre con el ritmo de elongación y el grosor del tallo, se incrementan hasta cierto límite, rebasado el cual no se producen nuevos efectos. La Figura 8.5, muestra los referidos componentes del rendimiento en un tercer retoño.

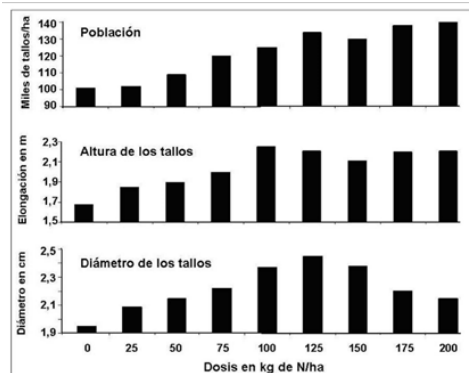


Figura 8.5. Efecto de diferentes dosis de nitrógeno sobre las componentes del rendimiento agrícola en un tercer retoño de Ja60-5.

La acción del nitrógeno como estimulante del ahijamiento y de la población de tallos ha sido referida por muchos autores desde tiempos pretéritos, entre los que se encuentran Borden (1943), Van Dillewijn (1975). Estos autores coinciden en que el mayor efecto del nitrógeno sobre la producción de caña es debido al aumento del número de tallos molibles.

Paralelamente, las aplicaciones de nitrógeno, al acrecentar el área foliar y contribuir a la formación de clorofila, favorecen la actividad fotosintética y estimulan la formación de materia seca. La insuficiencia de este nutriente disminuye la actividad de las enzimas responsables de la fijación del CO_2.

Efectos del nitrógeno sobre la depresión del contenido de sacarosa.

Simultáneamente con el efecto decisivo del N sobre la producción agrícola de la caña de azúcar, concurre su capacidad para deprimir la madurez y alterar la calidad del jugo como materia prima para la obtención de sacarosa. El efecto depresivo del nitrógeno sobre el contenido de sacarosa estriba en que promueve el desarrollo de tejidos adicionales en los que son empleados los carbohidratos producidos.

La tendencia del N de bajar el contenido de sacarosa de los jugos de la caña de azúcar, se acentúa en la medida en que se incrementa la dosis aplicada. El efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de sacarosa en diferentes suelos, cepas y variedades, indican que las aplicaciones de N reducen el porcentaje de azúcar en caña, siendo este efecto más notable con dosis superiores a 120 kg de N ha^{-1}.

La declinación de la concentración de sacarosa en el jugo debido a la fertilización nitrogenada puede ser de 1 a 3% y en ocasiones hasta 4%. El efecto es más notable en las cepas de caña planta que en los retoños y depende de la cantidad aplicada y del tiempo trascurrido desde su aplicación a la cosecha.

Efectos del nitrógeno sobre el incremento de azúcares reductores.

Con el aumento de las dosis de N se incrementa la concentración de azúcares reductores en el jugo, lo que se traduce en una disminución de sacarosa cristalizable. Sin embargo, la presencia de azúcares reductores es favorable durante el período de crecimiento, siendo un indicador de desarrollo exuberante. El efecto sobre los azúcares reductores tiende ocasionalmente a disminuir con la edad de la caña y hasta puede haber desaparecido al momento de la cosecha. No obstante deben evitarse aplicaciones altas y tardías de este elemento.

Efectos del nitrógeno sobre el contenido de nitrógeno y fósforo en el jugo.

La aplicación de N incrementa el contenido de este elemento en el jugo. Desde el punto de vista tecnológico, las sustancias nitrogenadas afectan la clarificación e influyen sobre la cantidad de azúcar que finalmente cristaliza. Paralelamente puede ocurrir una disminución en el contenido de fósforo (P) en el jugo, dependiente de la disponibilidad de fósforo asimilable en el suelo, a mayor contenido de P asimilable menor afectación. Atendiendo a este aspecto, en suelos deficientes en P asimilable, deben evitarse cualquier exceso en las aplicaciones de N.

Pérdidas y ganancias de nitrógeno.

El conocimiento de la magnitud de las entradas y salidas de N en un agroecosistema, en un instante dado, no tiene por lo general, suficiente representatividad ni trascendencia, poco tiempo después.

La «economía» del nitrógeno se reduce en esencia a una cuestión de reservas del elemento y de su factibilidad de mineralización. Sin embargo, el conocimiento de las vías de pérdidas (salidas) y ganancias (entradas) permiten al agrónomo un mejor manejo, disminuyendo unas

y favoreciendo otras. La Figura 8.6 muestra las entradas y salidas de N al agroecosistema cañero.

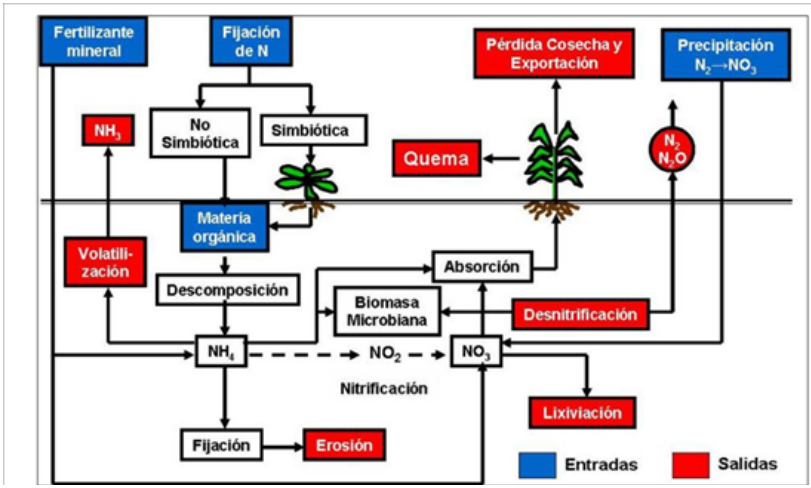


Figura 8.6. Entradas y salidas del nitrógeno al agroecosistema cañero.

Pérdidas de nitrógeno.

Las pérdidas de N del agroecosistema cañero más frecuentes son:

Exportación de nitrógeno por la cosecha: La media de extracción de nitrógeno para la caña de azúcar en Cuba está en el entorno de 1,18-1,49 kg/t de caña, con un valor correspondiente a la exportación de 0,50-0,55 kg de N/t de tallos. Estos valores son dependientes de las variedades utilizadas y de las circunstancias en que se realiza la cosecha.

Quema de la caña para la cosecha: Conduce a pérdidas considerables de N.

Volatilización: Importante cuando se utiliza como portador de nitrógeno el amoniaco anhidro y cuando se usa urea, nitrato de amonio o sulfato de amonio en la superficie del suelo. Si el pH es alcalino se incrementan.

Lavado: Las formas minerales del N presentes en el suelo son solubles en agua, las cuales pueden ser arrastradas hacia capas del suelo más profundas, fuera del alcance del sistema radical, lo que constituye una pérdida.

Erosión: La magnitud de esta pérdida es difícil de predecir, puede ser desde decenas hasta cientos de kg de N ha^{-1}.

Desnitrificación biológica: Pérdidas de 20% del N de los fertilizantes amoniacales y 30% del N de los nítricos, pudiendo incrementarse hasta 50% en suelos inundados.

Desnitrificación química: reducción de nitritos y nitratos a formas gaseosas.

Ganancias de nitrógeno.

La ganancia principal de N en el agroecosistema cañero está dada por la fertilización y el aporte que resulta de la mineralización de la MOS, pero existen además otras dos vías importantes: la fijación asimbiótica y el aporte realizado por las lluvias.

Fijación del nitrógeno atmosférico: En el cultivo de la caña de azúcar juega un papel importante la fijación asimbiótica, llevada a cabo por microorganismos de vida libre o asociativos cuyos géneros más reportados son: Azospirillum, Azotobacter, Acetobacter, Beijerinkia y Glucoacetobacter. La cantidad de N que puede ser fijada en forma asimbiótica en las plantaciones de caña de azúcar es variable, pero con frecuencia se observan reportes con valores en el intervalo cero a 60 kg de N ha^{-1} al año.

Aporte de nitrógeno por las lluvias: Los compuestos nitrogenados que se volatilizan del suelo, como el amoniaco y los óxidos de nitrógeno, así como los compuestos que se forman por acción fotoquímica, o por descargas eléctricas, o por la combustión de diversos carburantes, pueden ser lavados o removidos de la atmósfera por las lluvias y transferidos al suelo.

Factores que determinan la efectividad en el uso del nitrógeno.

El efecto de las aplicaciones de N sobre la caña de azúcar no es uniforme, está determinado por factores dependientes del genotipo, del ambiente y del manejo que el hombre realiza de la fertilización y del cultivo.

Interacción nitrógeno-variedad: Las variedades muestran entre sí diferencias morfológicas y fisiológicas que pueden obrar sobre la capacidad de las mismas para asimilar nutrientes. Así se tiene, por ejemplo, distinta amplitud del sistema radical, o de la actividad fotosintética, o de la aptitud para acumular nutrientes.

La interacción nitrógeno–variedad no ha sido suficientemente estudiada en Cuba, en cultivares comerciales Ja60-5, C87-51, B4362, My5514 y My5354, no se encontró interacción en ningún caso. No obstante el hecho de no haberse encontrado interacción en los análisis estadísticos, los resultados de primer retoño en suelos vérticos mostraron mejor respuesta a las aplicaciones de nitrógeno con las variedades Ja60-5, B4362 y C87-51.

Uso del nitrógeno por las diferentes cepas: Para las condiciones de Cuba se ha demostrado que la caña de azúcar plantada en «primavera» (enero a junio) bajo condiciones normales de cultivo y para cualquier edad de cosecha, no requiere de la aplicación de N para producir al mes hasta 10 t de caña ha^{-1} y, aunque en las plantaciones de «frío» (julio a diciembre) se han encontrado respuestas ocasionales a dosis bajas, 40 a 75 kg de N ha^{-1}, en la actualidad se prefiere prescindir de las aplicaciones de N a las mismas, debido a la baja frecuencia con que se observan las respuestas excepto en los casos de hidromorfía, compactación manifiesta u otra condición de estrés presente en el suelo.

Los efectos beneficiosos de la fertilización nitrogenada sobre los retoños son más frecuentes y en la actualidad hay consenso en admitir que la demanda de N aumenta con el número de cortes, hasta un límite. Las dosis de N para retoños, referidas con mayor frecuencia por autores de la literatura cañera de diversos países varían en el intervalo 100 a 150 kg de N ha^{-1}. Bajo las condiciones de Cuba se ha observado que por lo general dosis de 75 a 150 kg de N ha^{-1} son suficientes. La necesidad de aplicaciones crecientes de N en los retoños se explica comúnmente por el deterioro gradual de las condiciones del suelo. En las cepas de planta las condiciones del suelo favorecen el aprovechamiento de sus reservas de nitrógeno, pero no debe relegarse a un plano secundario los aspectos fisiológicos y morfológicos de cada cepa (Tabla 8.3).

Tabla 8.3. Frecuencia por tipo de suelo con que se manifiestan efectos favorables ante la fertilización nitrogenada en cepas de caña planta.

Suelo	Cantidad de cosechas efectuadas		Frecuencia favorable
	Total	Con respuesta	Porcentaje (%)
Ferralítico Rojo	96	4	4,2
Ferralítico Amarillento	28	3	10,7
Ferralítico Cuarcítico	10	2	20,0
Pardo con Carbonatos	69	2	2,9
Pardo sin Carbonatos	23	3	13,0
Total	338	30	8,8

La influencia del suelo y la cepa sobre el uso del N en la fertilización de la caña de azúcar, es muy significativa en Cuba, la prioridad de los retoños respecto a la caña planta es muy superior. La necesidad de este nutriente aumentó con el número de cortes, la mayor estabilidad en la respuesta se obtuvo en el segundo retoño, hubo un efecto favorable del nitrógeno sobre la durabilidad de la cepa, la conveniencia de aplicarlo al momento de la siembra (cuando por razones justificadas se espere respuesta en cepas de planta) o lo más pronto posible tras el corte de los retoños, próximo al sistema radical, sin necesidad de fraccionarlo, pudiendo utilizar indistintamente urea, sulfato de amonio o nitrato de amonio, así como que altas dosis, superiores a 150 kg de N ha-1, mostraron tendencia a disminuir la riqueza en sacarosa de los jugos. Las dosis óptimas encontradas en condiciones experimentales, por suelos y cepas, se muestran en el Tabla 8.4.

Tabla 8.4. Dosis óptimas de nitrógeno en tres tipos de suelo y cepas de retoños para producciones de 8 a 10 t de caña/ha/mes.

Suelo	Cepas		
	Primer retoño	Segundo retoño	Otros retoños
	Dosis en kg de N ha-1		
Ferralítico Rojo	50 a 75	125 a 175	200
Ferralítico Amarillento		125 a 150	180
Vertisuelos		75 a 125	200

Más de 3 000 cosechas de experimentos de campo, donde se estudió la efectividad de la aplicación de diferentes dosis de fertilización nitrogenada, en presencia de condiciones edafoclimáticas muy disímiles, se han realizado en Cuba. Llegándose a la conclusión que las respuestas en caña planta se producen en suelos de textura gruesa y en presencia de hidromorfía siendo necesaria la aplicación de fertilizante nitrogenado

El mejor uso de la fertilización nitrogenada por los retoños se debe, en lo fundamental, al deterioro de la estructura del suelo a causa de la compactación, situación acentuada en las cepas más viejas y en los suelos más plásticos, mientras las cepas de planta no sólo disponen de mejores condiciones físicas en el suelo, sino también de mayor contenido de materia orgánica incorporada al suelo, factores ambos derivados de los procesos de renovación de cepas.

De León (2001) al analizar las medidas de tendencia central por cepas de caña planta (PL) y retoños (R) y agrupamiento de suelos, con relación a la respuesta ante la fertilización nitrogenada, encontró comportamientos diferentes. Así, en el análisis para todos los suelos se manifestó un aumento de la respuesta, expresada en rendimiento relativo, según avanzó el número de cortes, más dispersa, a partir del quinto retoño encontrándose casos exentos de respuesta (Figura 8.7).

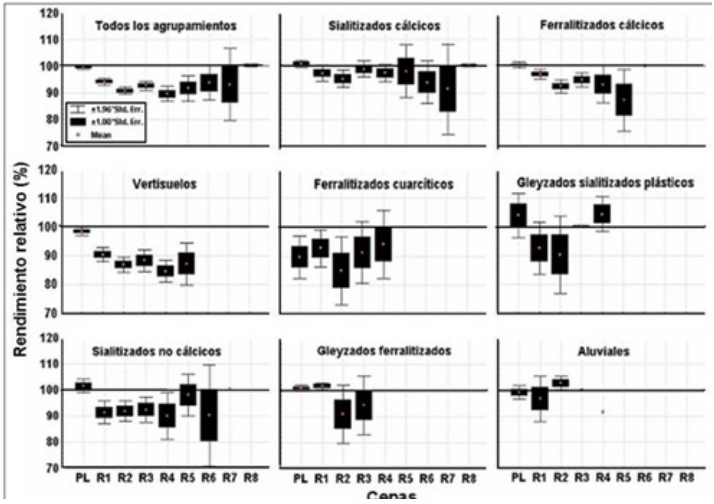


Figura 8.7. Efecto de la fertilización nitrogenada por cepas en los distintos agrupamientos de suelo.

La no aplicación consecutiva de N en caña planta y primer retoño no afecta a las restantes cepas. La Tabla 8.5 muestra los resultados obtenidos en un suelo Ferralítico Rojo, con efectos beneficiosos producto de la fertilización nitrogenada sólo en el tercer retoño, cosecha en la que como se puede observar no hubo influencia desfavorable debida a la ausencia de fertilización en las dos primeras cepas.

Influencia del suelo: Después de la cepa el otro factor que con más fuerza determina la respuesta de la caña de azúcar ante las aplicaciones de nitrógeno, es el suelo, éstos difieren en el contenido de MOS, reserva potencial de N, en composición mineralógica, en capacidad para mineralizar N y para favorecer pérdidas del mismo. En suelos con predominio de arcillas 1:1 el comportamiento es diferente, no solo son poco frecuentes las respuestas al N en las cepas de planta, sino que también son escasas en el primer retoño.

Tabla 8.5. Resultados de la cosecha de un estudio de N por cepas. Suelo Ferralítico Rojo. Lluvia 1292,6 mm. Cepa: 2do. Retoño.

Tratamiento			Rendimiento		
Planta	Retoño 1	Retoño 2	Agrícola (t ha^{-1})	Azucarero	
N kg ha^{-1}				Pol (%)	Pol (t ha^{-1})
0	0	0	83,21 b	17,63	14,67 b
		75	96,88 a	17,33	16,77 a
		150	98,44 a	17,53	17,25 a
	75	75	99,53 a	17,32	17,27 a
	150	150	98,92 a	17,48	17,27 a
75	75	75	93,92 a	17,23	16,18 ab
150	150	150	96,99 a	17,34	16,82 a
Coeficiente de variación (%)			8,53	2,07	8,36

Influencia de la lluvia: A bajos niveles de lluvia corresponde mayor necesidad de N, hasta un límite. Cuando la lluvia excede los 1 000 mm se necesita una dosis menor. Un nivel de precipitación anual de 1 200 mm se considera óptimo, y con precipitaciones de 1 600 mm en adelante el efecto de las aplicaciones de N sobre la producción prácticamente son nulas.

Formas de aplicación: Muchos autores coinciden en que la mejor forma de aplicar los fertilizantes nitrogenados es enterrándolos, próximos al sistema radical, de 8 a 10 cm de profundidad. Queda así el

fertilizante en contacto más cercano con las raíces y se evitan diversas pérdidas, sobre todo por volatilización. Incrementos de 10 a 15% que representan de 1,8 a 2,4 t de azúcar ha-1, se obtuvieron cuando el N se aplicó enterrado en los retoños sobre suelos Ferralíticos Rojos y Ferralíticos Amarillentos, respectivamente.

Desde hace más de dos décadas el INICA ha evaluado la aplicación enterrada al centro de la cepa, la que ha mostrado buenas características técnicas. No sólo sitúa el fertilizante en la rizosfera, donde su absorción está garantizada con reducción de pérdidas, sino que al seccionarse las cepas se coadyuva en el control del efecto de la dominancia apical y es más profuso el ahijamiento.

Fuentes portadoras de nitrógeno: Aunque existe una amplia disponibilidad de fuentes portadoras de N, en Cuba las que más se utilizan son:

Nitrato de amonio: Aporta 34% de N. Por poseer el anión NO_3 no debe usarse en suelos húmedos o anegados para evitar la reducción del nitrato (pérdidas gaseosas de nitrógeno). Su uso en suelos de textura gruesa, donde el agua percola con facilidad, origina pérdidas por lavado.

Sulfato de amonio: Aporta 21% de N. Es el más acidificante de los comúnmente usados, pues además de ser fisiológicamente ácido, produce ácido nítrico y sulfúrico durante su nitrificación, por ello debe evitarse su uso continuado donde exista acidez tóxica.

Urea: Aporta 46% de N. Es un compuesto orgánico que en contacto con el suelo, bajo la acción de la enzima ureasa, se hidroliza y pasa al estado de nitrógeno amoniacal, que a su vez se nitrifica. Durante la hidrólisis de la urea se forma carbonato de amonio en el suelo. Este producto es inestable y se descompone en dióxido de carbono (CO_2) y amoniaco (NH_3). Para evitar las pérdidas por volatilización de éste último, la urea debe enterrarse a suficiente profundidad, no menos de 10 cm, sobre todo en suelos arenosos y alcalinos.

Amoniaco anhidro: Aporta 82% de N. Constituye la opción más económica en el mercado. Su alta concentración permite el movimiento de mayor cantidad de nutrimento activo por tonelada de fertilizante transportado. En el suelo el amoniaco se transforma en amonio, catión que al fijarse a los coloides del suelo permanece por más tiempo a

disposición de las plantas. Es el más utilizado en Cuba actualmente. La elección de una de estas fuentes depende más del aspecto económico, de su disponibilidad, o de facilidades de manejo, que de su capacidad para nutrir la caña de azúcar.

Época de aplicación del fertilizante nitrogenado: Estudios con dosis fraccionadas de 90, 120, 190 y 240 kg de N ha-1 en cañas de retoño cosechadas con 12 meses de edad no mostraron diferencias respecto a la aplicación de una sola vez. En caña planta de ciclo largo el fraccionamiento de 120 kg de N ha-1 en dos partes (al momento de la siembra y a los 4 meses) mostró buenos resultados. Los suministros tardíos de nitrógeno fraccionado tendieron a bajar el contenido de sacarosa en el jugo.

Diagnóstico de la necesidad de nitrógeno por la caña de azúcar.

El análisis químico de muestras de suelo resulta de poca utilidad con fines de diagnóstico para la fertilización nitrogenada, dada la participación de dos sistemas biológicos en la absorción de este nutriente por las plantas: a) la mineralización de la MOS y b) la propia planta.

Las recomendaciones de N vigentes actualmente en Cuba se basan en resultados obtenidos en experimentos de campo, bajo diferentes condiciones edafoclimáticas, los cuales han mostrado que las necesidades de este elemento están asociadas al tipo de cepa, al rendimiento que es posible alcanzar con la fertilización y a características del suelo, como: la hidromorfía y la compactación, muy asociadas con la aireación del suelo y el ambiente en general en que se desarrollan los microorganismos del suelo.

El contenido de materia orgánica de la capa arable del suelo es también un criterio asumido para la determinación de las dosis de nitrógeno a aplicar. De León (2001) reportó que a contenidos de MOS menores de 2,5% se incrementaba la respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de N y que con valores superiores a 6% no se observaba

respuesta a la fertilización nitrogenada (Figura 8.8). Pablos (2008) corroboró la importancia de la materia orgánica del suelo como factor importante para la estimación de las dosis de nitrógeno en caña de azúcar.

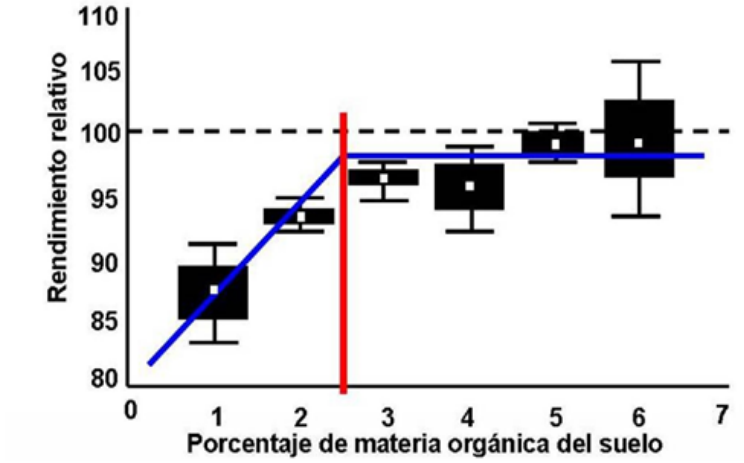


Figura 8.8. Relación entre contenido de materia orgánica del suelo y el rendimiento relativo de la caña de azúcar.

Correcciones de las dosis de nitrógeno a través del análisis foliar.

El análisis foliar se ha usado en muchos países como vía para corregir las aplicaciones de fertilizantes minerales. En la Tabla 8.6 se muestran las correcciones obtenidas para las condiciones de Cuba por el método del Primer Dewlap Visible (TVD).

Tabla 8.6. Corrección de la dosis de N con base al N de la hoja TVD, tomada a los cuatro y cinco meses de edad de la planta de caña de azúcar.

Categoría	Edad de la muestra		Corrección de dosis
	4 meses	5 meses	
	%		kg de N ha^{-1}
Deficiente	< 1,3	< 1,2	> 70
Moderado	1,3 – 1,6	1,2 – 1,5	20 – 70
Abastecido	1,6 – 2,0	1,5 – 1,9	0 – 20
Excesivo	> 2,0	> 1,9	0

Recomendaciones de nitrógeno vigentes en Cuba.

Las recomendaciones de fertilizante nitrogenado vigentes en Cuba, para diferentes condiciones de suelo y cepa de caña de azúcar se muestran en la Tabla 8.7.

Tabla 8.7 Recomendaciones de N vigentes en Cuba, para diferentes condiciones de suelos y cepas de caña de azúcar.

Rendimiento esperado	Caña planta		Retoños	
	Condición 1	Condición 2	Condición 1	Condición 2
Caña t ha^{-1}	N kg ha^{-1}			
> 30 ≤ 40	40	0	50	40
> 40 ≤ 50	50			50
> 50 ≤ 60	60		70	60
> 60 ≤ 70	70		80	70
> 70 ≤ 80				
> 80 ≤ 90	80		90	80
> 30 ≤ 40				
> 90 ≤ 100	90		100	90
> 100 ≤ 110				
> 110 ≤ 120				100
> 120 ≤ 130				
> 130 ≤ 140	100		110	110
> 140 ≤ 150	110		120	
> 150 ≤ 160	120		130	
> 160 ≤ 170	130		140	
> 170 ≤ 180				100
> 180 ≤ 190	140		150	
> 190 ≤ 200	150		160	
> 200 ≤ 210	160		170	
> 210 ≤ 220	150		160	
> 220 ≤ 230	140		150	90
> 230 ≤ 240				
> 240	130		140	80
Condición 1	Suelos con limitaciones (hidromorfía o compactación)			
Condición 2	Suelos sin limitaciones			

Biofertilización.

En el epígrafe «Ganancias de nitrógeno», se hizo referencia a que en el cultivo de la caña de azúcar juega un papel importante la fijación asimbiótica de nitrógeno, llevada a cabo por microorganismos de vida libre o asociativa. El nitrógeno atmosférico, dada su inactividad, es inaccesible en forma directa para las plantas superiores.

La naturaleza maneja al nitrógeno sacándolo de su pasividad química y controlando después su tendencia a reaccionar rápidamente, haciéndolo seguir un ciclo complicado. La imposibilidad que tienen las plantas superiores para hacer uso del nitrógeno molecular de la atmósfera, es superada por numerosos microorganismos denominados fijadores de nitrógeno. Del uso de esta cualidad, a escala industrial en la agricultura, surgen los biofertilizantes.

Los biofertilizantes contribuyen a mejorar la calidad y productividad de los cultivos mediante la eliminación parcial o total de la adición de fertilizantes químicos minerales. Los efectos beneficiosos de los biofertilizantes fijadores del nitrógeno atmosférico, no están relacionados sólo con la capacidad para fijar nitrógeno, sino también con su aptitud para la producción de compuestos antibacterianos, antifúngicos y reguladores de crecimiento. El ahorro de fertilizantes nitrogenados, a su vez, supone un ahorro paralelo de combustibles fósiles, requeridos para la síntesis amoniacal. En la actualidad es preferencial la utilización de biofertilizantes, y bioproductos en general, en la agricultura orgánica, pero con fuerte tendencia a la expansión hacia la agricultura tradicional, dado el alto costo de los portadores minerales de nutrientes y la importancia cada vez mayor de la conservación del medio ambiente.

La fijación de nitrógeno por organismos vivos fue observada por primera vez en la segunda mitad del siglo XIX. Hasta 1949 se creía que muy pocos microorganismos poseían la capacidad de fijar nitrógeno. Entre los mejor conocidos figuraban las bacterias pertenecientes al género Rhizobium, que viven en raíces de ciertas leguminosas y otros organismos de vida independiente, la mayoría de los cuales fueron incluidos en un género al que se denominó Azotobacter (etimológicamente significa bacterias fijadoras de nitrógeno).

Los registros de patentes a nivel internacional muestran que el desarrollo de los biofertilizantes se expandió en los años 80 del pasado

siglo XX, con un incremento acelerado de la actividad a partir del año 2000, lo que continúa en la actualidad como alternativa para la agricultura sostenible.

Los biofertilizantes en Cuba.

Una alternativa viable para lograr el incremento sostenible necesario de la producción agrícola, así como la protección del ambiente, a pesar de las limitaciones económicas, es la producción y uso de biofertilizantes. Importantes no solo desde el punto de vista económico, sino también, y quizás con mayor importancia, por su contribución a la disminución de la contaminación de las fuentes acuíferas. Es de destacar que en los Lineamientos Políticos y Sociales para el VI Congreso del PCC de Cuba, apareció como línea estratégica el desarrollo de los bioproductos y en particular de biofertilizantes. Ya hace cerca de un cuarto de siglo que en Cuba se investiga de una forma u otra el uso de biofertilizantes.

En 1963, el Líder de la Revolución cubana, Fidel Castro, hizo referencia a la importancia de «…la fertilización de los suelos con microorganismos…» con el fin de abaratar las producciones agrícolas y ahorrar fertilizantes químicos.

La fijación bilógica del nitrógeno en la caña de azúcar.

En la década de los 90 del pasado siglo, el INICA logró el aislamiento de una cepa autóctona de Azospirillum, la que denominó Cepa 8 INICA, la cual mostró gran actividad fijadora de nitrógeno. Fue encontrada en la rizosfera de una de la variedad Ja60–5 plantada en un Vertisuelo de la Empresa Azucarera Enrique Varona de la provincia Ciego de Ávila. Esto indujo a este instituto a llevar a cabo un proyecto para el desarrollo y aplicación de un biofertilizante a base de Azospirillum para el aporte de nitrógeno al que registró como BIOGRAM, lo que comprendió: a) estudios al nivel de laboratorio, b) estudios en parcelas experimentales y c) extensiones. Ya en 1994 se tenía un total de 40.000 litros de Azospirillum probados en 522 ha de caña de azúcar, con buenos

resultados. En estos ensayos se observó que la respuesta de los suelos Ferralitizados cálcicos fue menos consistente que las correspondientes a los Vertisuelos y Sialitizados cálcicos.

Otro biofertilizante, base Azotobacter, desarrollado en ese entonces para el aporte de nitrógeno, fue el DIMARGON, con una producción de 5.milones de litros que se aplicaron en 200 000 ha en diferentes áreas del país.

Al cabo de 20 años el INICA renovó los estudios de biofertilizantes mediante un proyecto de investigación al que denominó "Evaluación y desarrollo de tecnologías de aplicación de Azospirillum en caña de azúcar En estos estudios se ratificó el resultado de que es posible sustituir el 60% del fertilizante nitrogenado con la aplicación de 100 l ha-1 del biopreparado de Azospirillum con concentración de 109 unidades formadoras de colonia por mililitros (UFC/ml)

Generalidades sobre el Azospirillum y su uso en caña de azúcar en Cuba.

El Azospirillum es un spirillum, que desde el punto de vista evolutivo se ha sugerido que ocupa un lugar intermedio entre los fijadores libres y simbióticos, con puntos de fijación dentro de las plantas hospederas sin constituir nódulos, pues colonizan la superficie de la raíz penetrando en ella.

Actualmente se recomienda la aplicación del biopreparado de Azospirillum, con concentración de 10^9 UFC/ml, enterrada, al centro de la cepa, a dosis de 100 l ha^{-1}, en sustitución de 60% del fertilizante nitrogenado recomendado por el SERFE. También puede aplicarse asperjado, a igual dosis, con arrope de la paja tras la aplicación, aunque de esta forma es menos efectivo.

Síntomas visuales de deficiencia de nitrógeno.

Las plantas deficientes de nitrógeno presentan coloración verde clara a amarilla, uniformemente distribuida sobre toda la superficie foliar, incluyendo las hojas más viejas, cuyos ápices y márgenes se

necrosan de forma prematura. Los tallos son más cortos y finos, además se produce retraso en el desarrollo vegetativo de la plantación.

La Figura 8.9 muestra a la izquierda (A) cuando el cultivo se encuentra bajo una deficiencia prolongada de N, las hojas jóvenes son verde pálidas y los tallos delgados; en el centro (B) reducción de los entrenudos, y a la derecha (C) la separación prematura de las vainas del tallo, así como el color verde amarillento de las hojas y el color invariable de las vainas (Anderson y Bowen, 1994).

Figura 8.9. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en la caña de azúcar.

En la Figura 8.10 se observan síntomas severos de deficiencias de N en hojas de caña afectadas, comparadas con hojas de cañas normales.

Figura 8.10. Síntomas severos de deficiencia de N en hojas de caña de azúcar y hojas normales.

Fósforo.

El fósforo (P) no se pierde por lavado ni por volatilización como el nitrógeno. Sin embargo, su estabilidad implica baja solubilidad. Muchos suelos tienen además la capacidad de fijar fósforo, lo que reduce la disponibilidad de este nutrimento para las plantas.

Contenido y formas del fósforo en el suelo.

Las principales fuentes de P son las apatitas: fluorapatita y la hidroxilapatita. Algunos suelos orgánicos pueden contener la mayoría de su fósforo formando parte de la MOS, aunque la cantidad que se encuentra en esta forma disminuye rápidamente con la profundidad del suelo.

Los contenidos de P en suelos del trópico y subtrópico pueden ser muy variables, entre las condiciones edafológicas y ecológicas del suelo, las que principalmente determinan esta variabilidad son el tipo de roca parental presente, el grado de desarrollo de los suelos y el contenido de MOS. De forma localizada, suelos ricos en P total resultan de material parental rico en este elemento.

El contenido total de este nutriente en la capa arable disminuye según aumenta la intensidad de la meteorización. Los Vertisoles son por lo general muy bajos en P total, variando de 20 a 90 ppm. Al aumentar el contenido de MOS el contenido de fosfatos orgánicos y, por consiguiente, los contenidos totales, llegan a ser mayores. Factores que contribuyen a la estabilización de la MOS como los organominerales, pueden conducir al incremento de los niveles totales de P en los suelos. El contenido total de este nutriente también depende de la textura, cuando es más fina mayor es el contenido de P total y disminuye con la profundidad del suelo, lo que puede explicarse, tanto por la disminución de la MOS, como por el menor avance de la meteorización del perfil.

Las reservas totales de P de los suelos cañeros cubanos alcanzan valores medios entre 4 800 y 7 000 kg de P_2O_5 ha^{-1} en los primeros 30 cm de profundidad. Las mayores reservas corresponden a los Ferralíticos y las menores a los Pardos y Vertisuelos. Una parte considerable del P total (13 a 19%) se encuentra en forma de fosfatos activos de P–Ca, P–Al y P–Fe, de los cuales los ligados al aluminio y al calcio constituyen una

importante fuente de suministro de formas asimilables para la caña de azúcar.

Componentes del fósforo total.

Fósforo orgánico: El P orgánico representa generalmente de 7 a 30% del P total en la capa arable del suelo. Los valores más altos corresponden con mayor frecuencia a suelos altamente meteorizados, pues entre los factores que determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas dentro del P total, está el grado de desarrollo del suelo. También intervienen todos aquellos factores que tienen efectos directos sobre la MOS: temperatura, precipitación pluvial, acidez del suelo y actividad biológica, entre otros.

Para caracterizar el P orgánico es posible utilizar la relación C/N/P orgánicos. Esta relación es muy variable, valores medios adecuados serían de alrededor de 110:9:1. En el trópico llegan a ser del orden de 200:300:1, lo que indica deficiencias de fósforo.

Esta fracción se abastece de las deposiciones de restos vegetales y animales sobre la superficie. A través de los microorganismos actúa como inmovilizadora del muy limitado fósforo disponible, aunque los ácidos de los microorganismos pueden funcionar como agentes solubilizadores.

Fósforo inorgánico: Entre los fosfatos inorgánicos se diferencian tres fracciones: a) fosfatos nativos o precipitados que se encuentran en el suelo formando parte de los minerales del mismo, b) fosfatos adsorbidos al complejo coloidal y c) fosfatos solubles presentes en la solución del suelo.

Fósforo nativo o precipitado: Estas formas sólidas del fósforo inorgánico están divididas por lo general en tres fracciones activas y dos relativamente inactivas. Las fracciones activas están constituidas por los fosfatos enlazados al calcio (P–Ca), al aluminio (P–Al) y al hierro (P–Fe).

La distribución o predominancia de las formas diferentes de fosfatos en los suelos está definida por la interacción de las características propias de los diferentes fosfatos con ciertas características de los suelos como son: grado de meteorización y desarrollo del suelo, reacción del suelo, textura y régimen de humedad.

Fósforo adsorbido al complejo coloidal: Como anión que es, el fosfato está sujeto a fenómenos de adsorción e intercambio aniónico en las superficies coloidales cargadas positivamente. Dentro de los aniones presentes en el suelo los fosfatos son los que presentan mayor fuerza de retención y hasta son capaces de desplazar al resto.

Fósforo en la solución del suelo: La magnitud de esta fracción es muy baja, menos de 0,2 ppm. Se presenta en las dos formas aniónicas más solubles: ($H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-}), varía su predominio en función de la reacción del suelo. A pH entre 2 y 7 predomina la forma $H_2PO_4^-$, y entre 7 y 12 predomina la forma HPO_4^{2-}, por lo que la forma más frecuente en los suelos tropicales es el $H_2PO_4^-$.

Transformaciones del fósforo en el suelo.

Fijación: La fijación de P como parte de los procesos químicos que ocurren en el suelo es uno de los aspectos más importantes a considerar para la recomendación de fertilizantes fosfóricos. Se trata de la transformación de fosfatos monocálcicos solubles (superfosfatos) en fosfatos menos solubles de Ca, Al o Fe. A estas formas poco solubles se llega por precipitación y reacciones de adsorción con compuestos de Al y Fe, iones de Ca y coloides cristalinos y amorfos con baja relación sílice sesquióxidos que se dan en suelos ácidos.

En suelos ácidos habrá un mecanismo adicional de fijación, pues el Al y el Fe intercambiables pueden reaccionar directamente con el fertilizante fosfórico, siendo mayor la fijación en la medida en que mayor sea el contenido de óxidos de Al y Fe. En resumen, los suelos muy ácidos y meteorizados tienden a fijar altas cantidades de fósforo, mientras que suelos menos ácidos con mineralogía de silicatos laminares, tienen capacidad de fijación mucho más baja. Las reacciones de fijación más comunes son:

Precipitación: Mediante iones de Fe, Al y Mn, solubles en suelos ácidos e iones Ca en suelos menos ácidos.

Fijación: Mediante óxidos hidratados, al reaccionar el ión fosfato con éstos.

Adsorción directa del ión fosfato al complejo coloidal: En esta situación, el anión de fósforo es extremadamente susceptible de

precipitar posteriormente con algún catión (Al, Fe, Ca) presente en la solución del suelo.

Adsorción a través de un catión de intercambio: Esta última opción es frágil y fácilmente puede derivar en precipitación posterior, en este caso de P–Ca.

Mineralización: La mineralización del P orgánico se desarrolla de acuerdo con un esquema similar al del N orgánico. A partir de compuestos polimerizados nucleoproteínas se forman compuestos más simples, proteínas, ácidos nucleicos y luego, por acción de los microorganismos se libera ácido fosfórico.

Interacción: Un fenómeno importante que ocurre entre las fracciones orgánicas e inorgánicas del P es la solubilización de los fosfatos nativos o precipitados por acción de los ácidos que los microorganismos liberan.

Micorrizas: La presencia de la asociación de ciertos hongos con las raíces, originan a las micorrizas, proceso relevante en la utilización por las plantas de formas de P poco disponible.

Pérdidas y ganancias de fósforo.

El P es un elemento muy poco móvil en el suelo, por lo que se pierde mucho menos que el N y el K. Además, no sufre pérdidas por volatilización. La Figura 8.11 muestra las entradas y salidas de fósforo al agroecosistema cañero.

Pérdidas de fósforo.

Las principales pérdidas de P en el agroecosistema están dadas por la extracción por las cosechas y la erosión, pero existen además otras dos vías: el lavado y la fijación.

Extracción con las cosechas: Una de las mayores pérdidas de P del agroecosistema cañero está dada por la extracción de la planta y la exportación con los tallos cosechados alcanza valores de 0,4 a 0,5 kg de P_2O_5/t de tallos.

Erosión: Constituye, junto a la exportación con la cosecha, otra fuente importante de pérdida de fósforo.

Lavado: Las pérdidas por lavado son generalmente despreciables a causa de la baja solubilidad y limitado movimiento del fósforo en el suelo, por lo que el suministrado con los fertilizantes tiende a permanecer cerca del punto de aplicación.

Fijación: Aun permaneciendo en el suelo, el fósforo fijado constituye una real fuente de pérdida para las plantas, al menos durante algún tiempo.

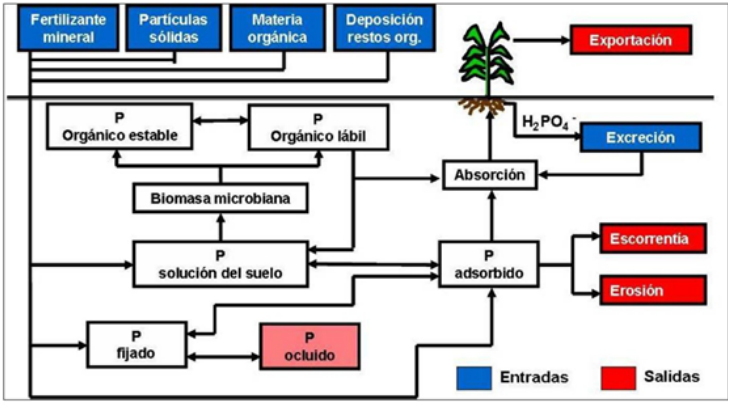


Figura 8.11. Entradas y salidas del fósforo al agroecosistema cañero.

Ganancias de fósforo.

Las principales ganancias de P en el agroecosistema están dadas por la fertilización y el aporte que resulta de la mineralización de la MOS, pero existen además otras dos vías: la deposición de restos orgánicos y la excreción.

Efectos del fósforo sobre la caña de azúcar.

El P participa en los procesos de intercambio de energía, forma parte de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos y de coenzimas respiratorias, entre otros compuestos esenciales. Ejerce un efecto decisivo sobre el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar, por su influencia en procesos tales como: la brotación, el desarrollo radical, grosor y elongación de los tallos, el ahijamiento y la población de tallos.

Factores que determinan la efectividad en el uso del fósforo.

El efecto de las aplicaciones de fósforo sobre la caña de azúcar no es uniforme, está determinado por múltiples factores dependientes del genotipo, del ambiente y del manejo que el hombre realiza de la fertilización y del cultivo.

Contenido de fósforo asimilable en el suelo: El efecto sobre la caña de azúcar de la fertilización fosfórica depende en primera instancia del contenido de las formas asimilables de este nutriente en el suelo y en consecuencia, éste es el criterio más utilizado al recomendar fósforo para este cultivo.

Solubilización de los fertilizantes fosfóricos: El proceso de solubilización de los fertilizantes no difiere del que ocurre con el fósforo inorgánico nativo o precipitado. Debe tomarse en cuenta la eficiencia de los fertilizantes fosfóricos, su forma y época de aplicación, el tamaño de sus partículas, prácticas como el encalado, interacciones con otros nutrientes y con microorganismos.

Formas de aplicación: El fósforo dada su baja movilidad debe quedar lo más próximo posible a las raíces, por lo que requiere ser enterrado entre 8-10 cm en los retoños. Aplicaciones en el fondo del surco, en el momento de realizar la plantación, para un ciclo completo de producción son más fáciles de realizar y reducen los costos de aplicación.

Época de aplicación: El fósforo del fertilizante no se lava del suelo, sus pérdidas son restringidas. Debe estar a disposición de la planta desde el inicio de su ciclo e inmediatamente después del corte en los retoños.

Fuentes portadoras de fósforo: Aunque existe una amplia disponibilidad de fuentes portadoras de fósforo, sólo se hará referencia a aquellas con mayores posibilidades de uso para el cultivo de la caña de azúcar.

Roca fosfórica: Puede aplicarse esparcida en suelos ácidos, al momento de la preparación del terreno para la plantación. Los yacimientos más valiosos son los de fosforita, de consistencia terrosa y fácil de moler, con 27 a 41% de P_2O_5.

Superfosfatos: Los superfosfatos entre si no presentan diferencias en su efecto sobre las plantas, siempre que se apliquen cantidades

iguales de nutriente activo. Estos portadores deben ser enterrados, próximos al sistema radical, y en bandas para reducir la fijación. El uso de granulados también contribuye a disminuir la fijación. El superfosfato simple tiene de 18 a 20% de P_2O_5 y 12% de S, el triple tiene de 45 a 46% de P_2O_5.

Fosfatos de amonio: Los fosfatos monoamónico [(H_4N) H_2PO_4] y diamónico [$(H_4N)_2$ HPO_4] son en la actualidad importantes fuentes portadoras de fósforo. El monoamónico contiene aproximadamente 50% de P_2O_5 y 11% de N. El diamónico contiene aproximadamente 46% de P_2O_5 y 18% de N. Son fertilizantes completamente acuosolubles y aparecen por lo general en forma granulada.

Diagnóstico de la necesidad de fósforo por la caña de azúcar.

Por lo general los requerimientos de P por la caña de azúcar son bajos. La Tabla 8.8 muestra una guía para estimar las necesidades de P para este cultivo y los niveles críticos de P asimilable obtenidos por diferentes métodos analíticos.

Tabla 8.8. Categorías y niveles críticos de P-asimilable en el suelo según los métodos analíticos de Oniani y Bray Kurtz y dosis de fósforo que es necesario aplicar para las condiciones en que se cultiva la caña de azúcar en Cuba.

Categoría	Fósforo asimilable		Dosis
	Según Oniani 1	Según Bray y Kurtz 2	
	mg de P_2O_5/100 g de suelo		kg de P_2O_5 ha^{-1}
Alto	> 5,0	> 3,0	0
Medio	2,5 a 5,0	1,5 a 3,0	25
Bajo	< 2,5	< 1,5	50

Nota: 1. Extracción con H_2SO_4 0,1 N. 2 .Extracción con NH_4F 0,003 N + HCl 0,01 N.

Las recomendaciones de fósforo para la caña de azúcar en Cuba se realizan desde el año 1997 a través del Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), el cual se basa en dos criterios: formas asimilables del elemento en el suelo extraídas con ácido sulfúrico (SO_4H_2) 0,1N y la reacción del suelo.

Fertilización fosfórica y calidad de los jugos en caña de azúcar

Es conocido que cuanto mayor es la cantidad de P en el jugo, más fácil es su clarificación. Cuando el contenido de P es bajo, éste puede mejorase, incorporando artificialmente determinada cantidad de ácido fosfórico antes de la defecación. La cantidad es dependiente de las características genéticas de las variedades utilizadas, aunque también de otras circunstancias. Una necesidad mínima de ácido fosfórico de 300 mg/l de jugo de caña es suficiente, cuando este nivel no se alcanza debe agregarse la diferencia.

Relación entre la dosis de fósforo y el contenido de fósforo en el jugo.

En un suelo Ferralítico Rojo «Bajo» en P asimilable (2,35 mg de P_2O_5/kg), extraído con la técnica Oniani, donde el rendimiento agrícola respondió de manera estable, a la fertilización fosfórica, en un segundo retoño. Se observó incremento de los contenidos de P total e inorgánico en el jugo, con las aplicaciones de este elemento al suelo.

Para alcanzar el nivel más alto de fósforo inorgánico (forma que resulta útil para la clarificación del jugo) se requirió una dosis acumulada de 439 kg de P_2O_5 ha-1, casi dos veces superior a la que se requirió para lograr el nivel estable de P total.

Sin embargo, en estas condiciones de deficiencias de P asimilable en el suelo, ni con el empleo de altas dosis al inicio del ciclo (al momento de realizar la plantación) y complementos de P en los retoños, fue posible alcanzar los valores mínimos de P en el jugo requeridos para una buena clarificación, alrededor de 300 mg de P_2O_5/l (Figura 8.12).

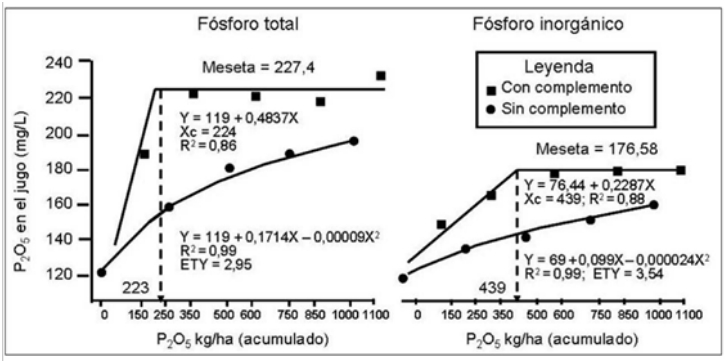


Figura 8.12. Efecto de la fertilización fosfórica de fondo para todo un ciclo, con y sin complementos anuales, sobre los contenidos de fósforo total e inorgánico en el jugo. (Cepa: 2do retoño de Ja60–5. Suelo: Ferralítico Rojo, deficiente en P asimilable).

En la agricultura cañera cubana actual, las dosis anuales de P en atención al rendimiento agrícola, para suelos bajos en formas asimilables de este nutriente, llegan apenas, en raras ocasiones, a 90 kg de P_2O_5 ha^{-1}, lo que representaría, al cabo de tres cosechas, menos de 300 kg de P_2O_5 ha^{-1} de aplicación acumulada. Así, en suelos pobres en P asimilable, las dosis usadas en la producción resultan insuficientes para lograr, niveles adecuados de P en el jugo mezclado, apropiados para una clarificación eficiente, por lo que en estos casos la vía de la fertilización no resulta adecuada.

El P orgánico, por su parte, no mostró variación con los tratamientos probados, de donde se infiere, que la fertilización mineral incrementa el P total debido a su acción sobre el P inorgánico.

Efecto de la fertilización fosfórica sobre la clarificación del jugo.

El comportamiento diferente entre los tratamientos con fertilización de fondo para todo el ciclo y los que recibieron complemento anual, sugiere que el P aplicado en la plantación es fijado con mayor intensidad con el paso del tiempo, y que las aplicaciones anuales, aunque moderadas, pueden ser de utilidad en relación al contenido de P en el jugo (Figura 8.13).

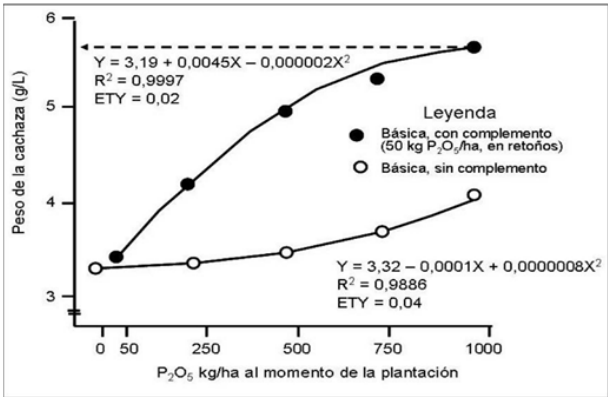


Figura 8.13. Efecto de la fertilización fosfórica, de fondo, con y sin complementos anuales de fósforo, sobre la producción de cachaza. (Cepa: 2do retoño de Ja60–5. Suelo: Ferralítico Rojo, deficiente en P asimilable).

Efecto de la fertilización fosfórica sobre el contenido de almidón en el jugo.

El incremento de P logrado en suelos deficientes en formas asimilables de este elemento y la mejor calidad del jugo, con aumento de P inorgánico y disminución de almidón (Figura 8.14), factores que propician una buena clarificación, son aspectos a favor de la fertilización fosfórica, pero con frecuencia esta es insuficiente por si sola para lograr niveles adecuados de P en el jugo, resultando en este sentido más eficientes las aplicaciones anuales que las de fondo para todo un ciclo.

Relación N/P_2O_5.

Aplicando sucesivamente el modelo discontinuo de dos medias al contraste entre la relación N/P_2O_5 y el «peso de la cachaza», se establecieron cuatro categorías de clarificación (Figura 8.15). Las categorías propuestas fueron: «Excelente», cuando la relación N/ P_2O_5 se encontró por debajo de 1,40; «Buena» para valores entre ≥ 1,40 y < 2,25; «Regular» de ≥ 2,25 a < 2,65 y «Mala» por encima de ≥ 2,65. Cada categoría tiene sus características. De forma general, la categoría «Excelente», se caracterizó por la brillantez del jugo y la ausencia de partículas en suspensión, mientras que en la categoría «Mala» predominaron jugos que permanecían revueltos (≈ 60%).

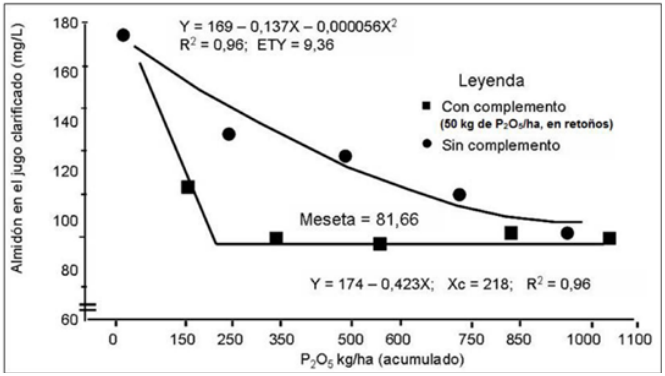


Figura 8.14. Efecto de la fertilización fosfórica de fondo, con y sin complementos anuales de fósforo, sobre el contenido de almidón en el jugo clarificado). Cepa: 2do retoño de Ja60–5. Suelo: Ferralítico Rojo, deficiente en P asimilable.

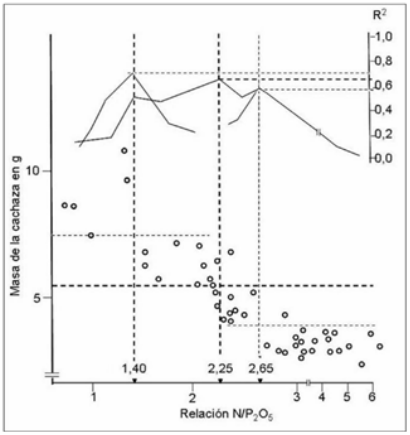


Figura 8.15. Efecto de la relación N/P_2O_5 sobre la variable masa de la cachaza y determinación de categorías de clarificación.

La dinámica del indicador N/P_2O_5 en distintas variedades mostró un crecimiento paulatino de la relación en la medida en que avanzaba la zafra, resultando alto para la etapa febrero–abril, lo que está en correspondencia con las dificultades («revolturas» en los clarificadores) que se presentan en los centrales azucareros en esta etapa, precisamente la de mayor riqueza de sacarosa en los jugos y requiere una mayor eficiencia en el proceso de clarificación. El origen de este efecto pudiera ser explicado por la reducción del follaje a medida que avanza la maduración, trasladándose el nitrógeno presente en el mismo hacia los tallos.

El abastecimiento natural de P asimilable del suelo ejerció un efecto dominante sobre la relación N/P_2O_5 (Figura 8.16).

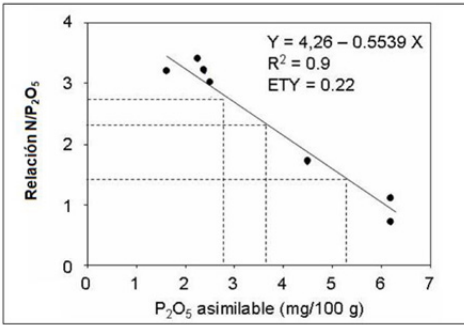


Figura 8.16. Efecto de la disponibilidad de fósforo asimilable en el suelo sobre la relación N/P_2O_5.

Cuando el contenido de P asimilable del suelo, determinado en la extracción de Oniani, fue superior a los 5,2 mg de P_2O_5/100 g de suelo, la variedad Ja60-5 produjo jugos de «Excelente» clarificación, aún en el período crítico (marzo-abril).

Jugos con clarificación «Buena» correspondieron a suelos con 3,65 a 5,20 mg de P_2O_5/100 g de suelo, pero por debajo de este rango de valores la clarificación de los jugos fue «Mala», entorpeciendo el proceso fabril de obtención de azúcar en el central, precisamente en el período de mayor riqueza en sacarosa de los jugos. El efecto de la fertilización fosfórica sobre la relación N/P_2O_5 en un suelo de bajo contenido de P asimilable (2,35 mg de P_2O_5/100 g de suelo), se muestra en la Figura 8.17. En ella se observa que la fertilización de una sola vez para todo el ciclo es menos efectiva que la anual.

No obstante, conviene destacar que la fertilización fosfórica no mejoró la clarificación en la segunda decena de febrero, por lo que esta fecha pudiera tomarse como límite antes del cual la fertilización fosfórica puede resolver problemas de calidad del jugo en relación con la clarificación (Figura 8.18).

Por su parte la fertilización nitrogenada empeoró la calidad de los jugos para el proceso de clarificación. Los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la relación N/ P_2O_5 en diferentes cepas, suelos y momentos de cosecha, se muestran en la Figura 8.19, en la que el modelo A describe el efecto en caña planta de ciclo largo, en un suelo bajo en P-asimilable, con cosecha en enero, y el modelo B su primer retoño.

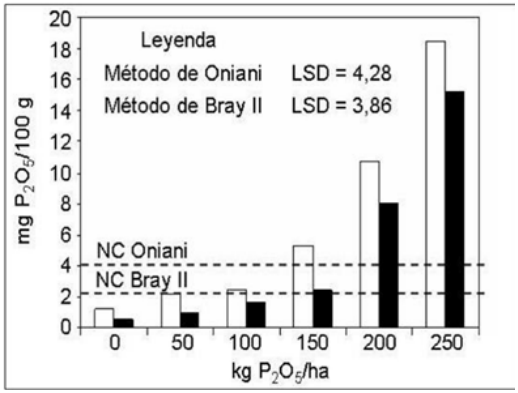


Figura 8.17. Efecto de la fertilización fosfórica continuada sobre el contenido de P asimilable en el suelo al cabo de ocho cosechas. Suelo Ferralítico Rojo.

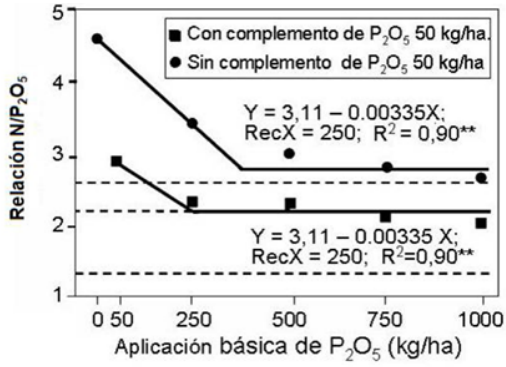


Figura 8.18. Efecto de la fertilización fosfórica básica con y sin complemento de 50 kg de P_2O_5 ha^{-1} en las cepas de retoños de caña de azúcar, sobre la relación N/P_2O_5.

Se observa que el efecto nocivo del N, en atención a la clarificación, fue notable en la cepa de caña planta y algo menor en el retoño, que a diferencia de la cepa de planta, mostró el efecto total desde la menor dosis utilizada, de donde se infiere que, en éstos suelos deficientes en P-asimilable, es necesario asegurarse de los beneficios a obtener al manejar la fertilización nitrogenada, para evitar perjuicios, ya que jugos de «Buena» calidad para el proceso de clarificación pueden empeorar sus características y retroceder a categoría «Regular» o «Mala». Ello constituye un factor más a favor de que el N se utilice en su justa medida, evitando dosis excesivas. En suelos abastecidos de P-asimilable no se observó efecto dañino de las dosis de N sobre la clarificación (modelos C, D y E).

En general el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la calidad del jugo para la clarificación es nocivo, siendo éste mayor en las cepas de planta que en los retoños, y con mayor detrimento en suelos con bajo contenido de P-asimilable que en los ricos.

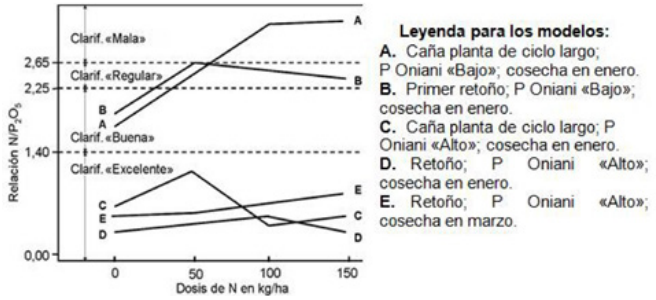


Figura 8.19. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la relación N/P_2O_5 y la clarificación del jugo en diferentes cepas de caña de azúcar.

Recomendaciones de fósforo vigentes en Cuba.

En la Tabla 8.9 se puede apreciar las dosis de recomendación de fósforo, vigentes en Cuba para la caña de azúcar, de acuerdo al contenido de P-asimilable del suelo.

Síntomas visuales de deficiencia de fósforo.

Los síntomas de deficiencia de P se presentan generalmente en las hojas más viejas, en forma de coloraciones verde oscuras a verde azuladas; rojas o rosadas, en los ápices y márgenes de las hojas expuestas a la luz del sol. Las hojas son más finas, cortas y estrechas que en las plantas normales y cuando envejecen, toman una coloración amarilla. Los tallos son más cortos y finos, presentando ahijamiento escaso o ausente.

Tabla 8.9. Dosis de aplicación de fósforo recomendadas en Cuba, para el cultivo de la caña de azúcar (P_2O_5 kg ha^{-1}), según el contenido de P-asimilable del suelo.

Categorías	P asimilable *	Dosis
	P2O5 mg/100 g	P_2O_5 kg/ha
Muy alto	≥ 13.0	0
Alto	≥ 8.3 a < 13.0	0
	≥ 3.6 a < 8.3	25
Medio	≥ 3.0 a < 3.6	30
	≥ 2.4 a < 3.0	40
	≥ 1.8 a < 2.4	50
	≥ 1.2 a < 1.8	60
Bajo	< 1.2	80
Notas	* Extracción con H_2SO_4 0.1 N	
	Nivel crítico = 2.4 mg de P_2O_5 /100 g	

La Figura 8.20 muestra a la izquierda (A) el color púrpura en el haz de las hojas expuestas al sol, lo que ocurre cuando la planta es joven y la temperatura menor que 10 0C. A la derecha (B) se observan los tallos

cortos y delgados, las hojas viejas muertas prematuramente y la fuerte coloración púrpura en las vainas de las hojas.

A B C

Figura 8.20. Síntomas de deficiencia de fósforo. A. En hojas jóvenes. B. En las vainas de las hojas de caña de azúcar. C. Plantas severamente afectadas.

Potasio.

Contenido y formas del potasio en el suelo.

La cantidad total de K en los suelos varía de 0,04 a 3,00%. En casos excepcionales (como puede ser en suelos salinos), alcanza valores de hasta 8%. Sin embargo, el contenido de K total en los suelos ofrece suficiente información acerca de su disponibilidad para las plantas; para considerar este aspecto es necesario atender a las diferentes formas o fracciones en las que el K se presenta en el suelo.

Las fracciones de K y los porcentajes aproximados con que contribuyen al K total son los siguientes: K en la solución, con 0,1 a 0,2%; K intercambiable, con 2 a 8%, y K no intercambiable y estructural, con 90 a 98%.

Potasio soluble: Es la fracción de la cual las plantas absorben directamente el K.

Potasio intercambiable: Es el K adsorbido por las cargas negativas de las arcillas, los hidróxidos y la MOS. Por lo general el K intercambiable se relaciona con el rendimiento agrícola y con el K absorbido por las plantas. El K intercambiable se puede extraer con ácido nítrico (HNO_3 1N). Se ha encontrado correlación entre esta fracción y el K absorbido por los cultivos. Rubio (1982) propuso un nivel crítico de 0,62 cmol/kg, para la referida extracción, con 10 minutos de ebullición.

Potasio no intercambiable: Es el K que se encuentra fijado entre las capas de tetraedros y octaedros de las micas minerales, así como en

las cavidades hexagonales de ciertos minerales. El K no intercambiable es liberado lentamente por meteorización y por lo general, no con suficiente rapidez como para estar disponible en forma inmediata para los cultivos.

Potasio estructural: Esta fracción corresponde al K que se encuentra formando parte de la estructura de los minerales primarios y secundarios.

Potasio orgánico: Aunque se considera al K un elemento de comportamiento esencialmente mineral, su presencia en los abonos o residuos orgánicos trasciende sobre su disponibilidad en el suelo, especialmente porque, por lo general, se encuentra altamente concentrado en los tejidos vegetales. Como no es un elemento estructural, pasa a ser rápidamente disponible tras la aplicación de los residuos vegetales al terreno.

Fijación.

La capacidad de fijación de K depende de la naturaleza de las arcillas, de la densidad de carga en el espacio inter-laminar, del pH, del secado y humedecimiento y de la cantidad del nutriente aplicado como fertilizante y en consecuencia presente en la solución del suelo. La fijación es mayor en ilitas que en versiculitas y en éstas más que en montmorillonitas. El proceso es casi nulo en caolinitas, cloritas y en la materia orgánica del suelo. El K fijado representa una reserva que, aunque lentamente, puede ser liberada y utilizada por las plantas, especialmente si la concentración de la solución externa desciende por debajo de determinados límites.

Pérdidas y ganancias de potasio.

El K es un elemento mucho más móvil que el P pero menos que el N. Un esquema de las entradas y salidas de K al agroecosistema cañero se muestra en la Figura 8.21.

Pérdidas.

Las principales fuentes de pérdidas de K en un agroecosistema con caña de azúcar son la extracción de K por la caña y su consecuente exportación con la cosecha, el lavado y la erosión.

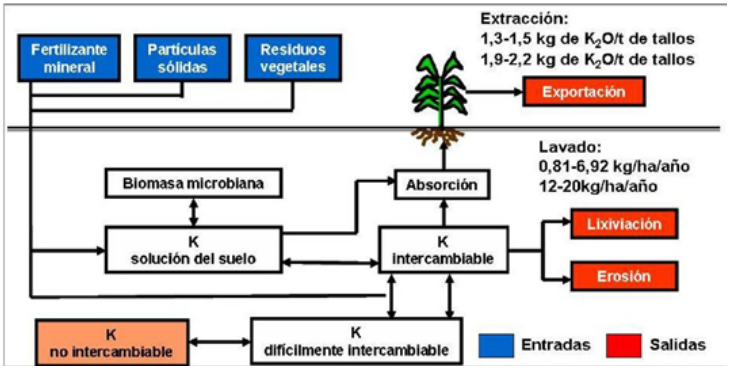


Figura 8.21. Entradas y salidas de potasio al agroecosistema cañero.

Extracción de potasio por la caña de azúcar: La caña de azúcar extrae del suelo mayores cantidades de K que de cualquier otro nutriente. Las cantidades extraídas varían fundamentalmente en dependencia del tipo de suelo, de las variedades cultivadas y del contenido de este elemento en el suelo. En términos generales es posible considerar la extracción en el intervalo 1,30 a 1,50 kg de K_2O/t de tallos, aunque en suelos ricos en este elemento, o en los que han recibido dosis altas por períodos prolongados, se observan valores de 1,90 a 2,20 kg de K_2O/t de tallos (Tabla 8.10).

Tabla 8.10. Influencia de la aplicación de diferentes dosis de fertilización potásica, sobre la extracción de K que realiza la caña de azúcar, del suelo, en kg de K_2O/t de tallos.

Dosis de K	Experimento A	Experimento B
kg K_2O ha^{-1}	kg K_2O/t de tallos	
0	1,28	0,99
79	1,54	1,28
317	2,26	2,02

Las aplicaciones de fertilizantes potásicos incrementan la extracción de este nutriente; la caña de azúcar puede extraer más K del que necesita para su nutrición, lo que se denomina «consumo de lujo».

Lavado: Las pérdidas de este elemento por lavado son superiores a las del P e inferiores a las de N. Tienen importancia en suelos de textura gruesa (arenosos) y baja capacidad de intercambio catiónico (CIC). En suelos con apreciable CIC es adsorbido sobre las arcillas, lo que limita su movimiento en el agua del suelo. En general las pérdidas por lavado no constituyen un problema para la mayoría de los suelos, las cuales pueden fluctuar entre 5 y 250 kg de K_2O ha^{-1} al año, en dependencia de los contenidos de K, la intensidad de las precipitaciones y la cobertura vegetal. Los suelos ácidos, con baja CIC, no pueden retener suficiente K, por lo que están sometidos a mayores pérdidas por lixiviación, a ello puede contribuir la ocupación de gran parte de los sitios de intercambio por Al^{+3}.

Erosión: Considerables cantidades de K pueden perderse del suelo por erosión. La remoción de las partículas más finas durante la erosión disminuye selectivamente la porción del suelo más importante en el suministro del nutriente a las plantas.

Ganancias de potasio.

Las entradas de K al agroecosistema están dadas fundamentalmente por la aplicación de fertilizantes y por los residuos vegetales. El K aplicado al suelo en forma de fertilizantes pasa en corto tiempo a cualquiera de las tres fracciones activas del elemento en el suelo: K en solución; K intercambiable y K no intercambiable. Los residuos vegetales, por su parte, ceden al suelo el potasio que han acumulado.

Efecto del potasio sobre la caña de azúcar.

Este nutriente se absorbe por la planta como ion K^+. A diferencia del N, del P y otros elementos, no es parte integrante de compuestos estructurales. Su función más que plástica es metabólica, catalítica.

Aunque no forma parte de la molécula de clorofila, juega un importante papel en la fotosíntesis, dada su participación en el transporte de azúcares, pues al éste afectarse se produce una concentración de azúcares en las hojas que afecta la fotosíntesis. Bastan valores de K en

las hojas menores o iguales que 0,40%, para que la fotosíntesis casi se paralice. Bajo condiciones normales en las hojas jóvenes se encuentra más K que en las viejas, por lo que las plantas jóvenes son más ricas en este nutriente que las de mayor edad.

Los efectos del K sobre la caña de azúcar se manifiestan fundamentalmente en: el régimen hídrico, la formación de carbohidratos, el metabolismo del nitrógeno, el movimiento de los compuestos orgánicos en la planta, el desarrollo de la planta, la formación y neutralización de ácidos orgánicos, la época de maduración y la resistencia a plagas, enfermedades y al acamado.

Formación de carbohidratos: La respuesta de la caña de azúcar a la fertilización potásica es muy marcada en los suelos que presentan insuficiencias, pues la falta de este elemento, además de afectar desfavorablemente el rendimiento agrícola, provoca una reducción en el contenido de sacarosa en la caña.

Por otra parte, al faltar carbohidratos y activarse hidrolasas se impide la acumulación de celulosa, originando que las paredes celulares de plantas deficientes de este nutriente, sean más delgadas que las de las bien abastecidas. Las células fibrosas generalmente forman parte del esclerénquima, el cual constituye el elemento de sostén más importante de la planta, por eso la insuficiencia de potasio favorece el encamado y la incidencia de plagas.

Efecto de la cepa: En los resultados de 207 cosechas de experimentos de campo, se observó que la efectividad de la fertilización potásica anual aumenta con la sucesión de las cosechas. En la mayoría de los casos no se observaron efectos favorables ante las aplicaciones de este nutriente, en caña planta, socas y en segundo retoño. Los beneficios fueron más frecuentes en tercero y cuarto retoño. Con el transcurso de las cosechas aumentó, tanto la magnitud del efecto, como la dosis requeridas de K_2O.

Fuentes portadoras de potasio: Aunque existe una amplia disponibilidad de fuentes portadoras de K el fertilizante potásico más empleado para la caña de azúcar es el cloruro de potasio (KCL), con 60 a 62% de K_2O.

Forma y momento de aplicación: En las plantaciones el K debe aplicarse en el fondo del surco y en los retoños enterrado a unos 8 a 10 cm de profundidad, cerca del sistema radical, lo antes posible después del corte, puede ser a ambos lados del surco o al centro de la cepa.

Diagnóstico de la necesidad de potasio por la caña de azúcar.

Numerosos autores son del criterio que desde el punto de vista del diagnóstico de las necesidades de fertilizantes potásicos, el análisis de suelos, aunque importante, no es suficiente para recomendar las dosis de aplicación de este elemento. Niveles críticos (NC) de K fueron determinados por diferentes métodos de extracción de potasio en suelos cañeros de Cuba, los cuales se exponen en la Tabla 8.11.

Tabla 8.11. Niveles críticos de potasio en suelos cañeros cubanos determinados por diferentes métodos analíticos.

Método de análisis	Nivel crítico	R^2
SO_4H_2 0,1 N	0,38 K cmol/kg	0,75
CH_3COONH_4 1N a pH 7	0,37 K cmol/kg	0,51
NO_3H 1N (hirviendo)	0,62 K cmol/kg	0,50
ΔK^0	0,45 K cmol/kg	0,40
PBC_k	181,00 (cmol/100 g)(M/L) 0,5	0,34

También se han determinado las reservas de potasio del suelo mediante extracciones sucesivas con ácido nítrico (NO_3H), concluyéndose que, los contenidos de K intercambiable en los suelos cañeros, están asociados al tipo de arcilla los porcentajes de éstas y la MOS; los efectos favorables de la fertilización potásica sobre el cultivo de la caña de azúcar fueron mayores y más frecuentes en suelos con predominio de arcillas 1:1 que en los suelos con arcillas 2:1.

Correcciones de dosis de potasio a través del análisis foliar.

El nivel crítico del porcentaje de K foliar puede indicar la necesidad o no de fertilizantes. Correcciones a través del diagnóstico foliar para la caña de azúcar en las condiciones de Cuba se muestran en la Tabla 8.12.

Tabla 8.12. Corrección de la dosis de potasio en función del K de la hoja TVD de la caña de azúcar a la edad de cuatro, cinco y seis meses y categorías de abastecimiento de K-asimilable en los suelos cañeros de Cuba.

Categoría	Edad a la que es tomada la muestra			Corrección de dosis (kg de K_2O ha^{-1})
	4 meses	5 meses	6 meses	
	%			
Pobre	< 1,2	< 1,1	< 1,0	+ 50

Abastecido	1,2 – 1,5	1,1 – 1,4	1,0 – 1,3	0
Alto	> 1,5	> 1,4	> 1,3	– 50

Fertilización potásica y calidad de los jugos de la caña de azúcar.

En algunos países cañeros, al evaluar económicamente un campo de caña, consideran globalmente los factores agroindustriales, valorando tanto la masa de los tallos, la pol en caña y en el jugo, la fibra, el brix y los reductores, como el contenido de cenizas totales en el jugo, pues en la medida en que éstas se elevan y es menor la relación «pol en jugo/ cenizas totales», se torna más difícil el recobrado de la sacarosa del jugo.

La característica edafoclimática que mayor relación tiene con el contenido de ceniza es el tenor de K del suelo (Tabla 8.13), ya que los jugos de plantaciones en suelos altos en K asimilable poseen mayor contenido de ceniza. El contenido en nutrientes del jugo depende principalmente del abastecimiento de éstos en el suelo.

Tabla 8.13. Contenido de cenizas del jugo de caña procedente de diferentes centrales azucareros de la provincia Ciego de Ávila y su relación con el abastecimiento natural de K en el suelo.

Zona	Abastecimiento natural de K	Cenizas (% Brix)
Patria o Muerte	Bajo	2,39
Venezuela	Bajo	2,65
Enrique Varona	Alto	2,94
Primero de Enero	Alto	3,35
F calculada = 9,05. Probabilidad = 0,00		

Al aumento de la dosis de KCL aplicado al suelo correspondió un incremento en el jugo de potasio, cloruros, cenizas y de la acidez (Figura 8.22).

El K y los cloruros juegan un importante y negativo papel por su capacidad para formar enlaces entre las moléculas de agua y sacarosa, perturbando el proceso industrial de obtención de azúcar.

El aumento observado de la acidez está dado, en correspondencia con el criterio de que la dependencia que el ácido aconítico (el más abundante en el jugo) tiene del K. La neutralización de este ácido

conlleva a un mayor uso de cal, con lo que se incrementan las incrustaciones en los calentadores y evaporadores, con frecuencia los iones K son responsables de los aumentos de ceniza. Por cada unidad de ceniza dejan de ser cristalizables cinco unidades de sacarosa.

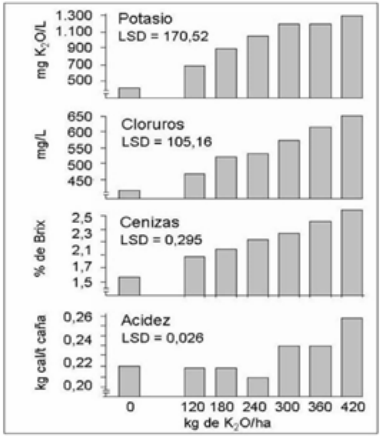


Figura 8.22. Efecto de la fertilización potásica sobre el contenido de potasio, cloruros, cenizas y acidez en el jugo. (Experimento VKn–55, niveles de K, suelo Ferralítico Amarillento, deficiente en K asimilable, 2do retoño).

Cuando a los mismos jugos en los que se determinó pol, se aplicó el concepto, de pol cristalizable, se observó en esta última variable, un efecto depresivo a causa de la fertilización potásica (Figura 8.23).

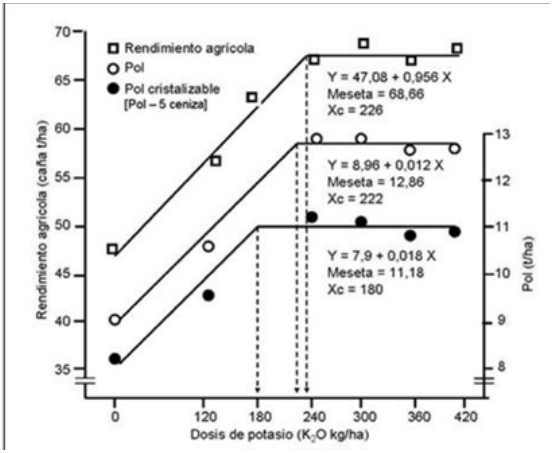


Figura 8.23. Efecto de la aplicación de diferentes niveles de fertilización potásica sobre el rendimiento agrícola, las t de pol ha^{-1} y el pol cristalizable, en un segundo retoño de caña de azúcar, plantado en un suelo Ferralítico Amarillento, deficiente en K asimilable.

La dosis de potasio, estimada a partir de la pol cristalizable, pueda conducir a resultados más prácticos (Figura 8.24).

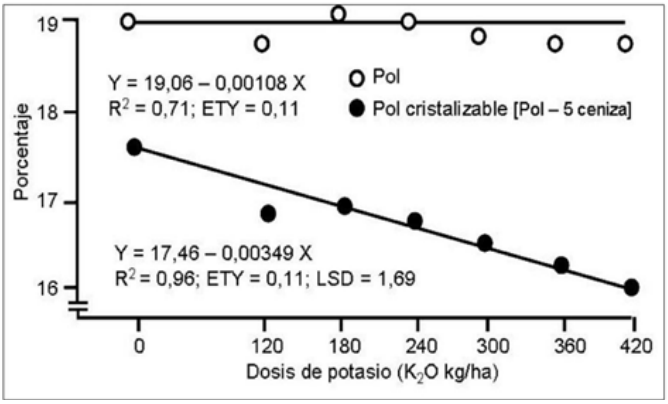


Figura 8.24. Efecto del contenido de ceniza en el jugo de caña, sobre el porcentaje de pol total y cristalizable, en dependencia de la aplicación de diferentes niveles de fertilización potásica, en un segundo retoño plantado en suelo Ferralítico Amarillento deficiente en K asimilable.

Es de destacar que los niveles de K en el jugo de cañas cultivadas sobre suelos deficientes en K asimilable, con aplicaciones de este elemento de hasta 420 kg de K_2O ha^{-1}, fueron inferiores a los niveles de K en el jugo de cañas cultivadas, sobre suelos bien abastecidos de este nutriente, incluso cuando no recibieron fertilizantes potásicos.

El análisis de un tercer retoño, en el que la plantación tuvo un desarrollo menor, manifestó respuesta del rendimiento agrícola ante la fertilización potásica, con resultados similares a los del segundo retoño, pero con contenidos mayores de cenizas, cloruros, potasio y acidez en el jugo, lo que está dado por el efecto de la cepa. Sin embargo, en esta cepa (tercer retoño), en contraposición a los principios que actualmente rigen la fertilización potásica, se observó un efecto negativo de la misma sobre la riqueza del jugo (Tabla 8.14) lo que unido a lo antes citado, así como a la disminución de la pureza de los jugos, conduce a reconsiderar aspectos de los criterios actuales sobre las recomendaciones de la fertilización potásica. La acumulación de sales en el jugo provoca disminución de la pureza e incrementa las cenizas totales en el jugo.

Tabla 8.14. Resultados de brix, pol en jugo y pureza de un tercer retoño de caña de azúcar, donde se aplicaron diferentes niveles de K (desde cero y hasta 420 de kg de K_2O ha^{-1}), plantado en suelo Ferralítico Amarillento deficiente en K asimilable.

Tratamiento (K_2O kg ha^{-1})	**Brix**		**Pol jugo**		**Pureza**	
	%					
0	23,60	a	20,90	a	88,57	a
120	22,21	bc	18,89	b	85,00	b
180	21,84	bc	18,57	b	84,99	b
240	22,09	bc	18,66	b	84,42	b
300	22,48	b	18,98	b	84,22	b
360	21,91	bc	18,50	bc	84,36	b
420	21,65	c	17,88	c	82,46	c
F calculada	5,16	**	5,12	**	3,47	**

Recomendaciones de potasio para la caña de azúcar vigentes en Cuba.

Las recomendaciones de K para la caña de azúcar en Cuba se realizan desde el año 1997 a través del Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y enmiendas (SERFE), el cual se basa, en los criterios siguientes: formas asimilables del elemento en el suelo (extraídas con SO_4H_2 0,1N), tipo de suelo según el agrupamiento agroproductivo (separados en Grupo 1 y Grupo 2) y rendimiento esperado (Tabla 8.15).

Tabla 8.15. Recomendaciones de K en función del contenido de K asimilable del suelo, el rendimiento esperado y grupos de suelos cañeros cubanos.

Rendimiento esperado	Grupo de suelos 1					Grupo de suelos 2				
	Categorías de potasio asimilable (Extracción con H_2SO_4 0.1 N) I)									
	Med. bajo	Bajo	Medio	Alto	Med. alto	Med. bajo	Bajo	Medio	Alto	Med. alto
	K meq/100 g									
	< 0.17	≥ 0.17 <0.23	≥ 0.23 <0.33	≥ 0.33 <0.55	≥ 0.55	< 0.13	≥ 0.13 < 0.19	≥ 0.19 < 0.29	≥ 0.29 <0.68	≥ 0.68
	K_2O mg/100 g									
	< 7.9	≥ 7.9 < 10.9	≥ 10.9 < 15.5	≥ 15.5 < 25.7	≥ 25.7	< 6.2	≥ 6.2 < 8.8	≥ 8.8 < 13.8	≥ 13.8 < 32.0	≥ 32.0
Caña t ha^{-1}	Dosis (K_2O kg ha^{-1})									
< 30	65	60	55	45		125	75	40		
> 30 - 40	75	70	65	50		145	90			
> 40 - 50	80	75	70	55		160	110	50		

> 50 - ≤ 60	90	85	75	60	0	175	125	65	0	0
> 60 - ≤ 70	95	90	80	65		190	140	80		
> 70 - ≤ 80	105	95	85	70		205	150	90		
> 80 - ≤ 90	110	105	90	75		220	165	105		
> 90 - ≤100	115	110	95			235	180	115		
>100 - ≤110	125	115	100	80		245	190	125		
>110 - ≤120	130	120	105	85		260	200	135	40	
>120 - ≤130	135	125	110			270	210	145	50	
>130 - ≤140	140	130	115	90		280	220	155	55	
>140 - ≤150	145	135	120			290	230	160	60	
>150 - ≤160	150	140		95		300	240	170	65	
>160 - ≤170	155		125			305	245	175	70	
>170 - ≤180	160	145		100		315	250	180	75	
>180 - ≤190	165	150	130			320	260	185	80	
>190 - ≤200	170					325	265	190	85	
>200 - ≤210		155	135			330	270	195		

Grupo de suelos 1: Ferralitizados Cálcicos, Ferralitizados Cuarcíticos y Gleyzados Ferritizados. Grupo de suelos 2: Sialitizados Cálcicos, Sialitizados no Cálcicos, Vertisuelos, Fersialitizados Cálcicos, Gleyzados Sialitizados Plásticos y Aluviales.

Nivel crítico para el grupo de suelos 1=0,24 meq de K/100 g (11,77 mg de K2O/100 g)
Nivel crítico para el grupo de suelos 2=0,26 meq de K/100 g (12,47 mg de K2O/100 g)
Grupo de suelos 1: Ferralitizados cálcicos, Ferralitizados Cuarcíticos y Gleyzados ferralitizados.
Grupo de suelos 2: Sialitizados cálcicos, Sialitizados no cálcicos, Vertisuelos, Fersialitizados cálcicos, Gleyzados Sialitizados plásticos y Aluviales.

Síntomas visuales de deficiencia de potasio.

Cuando el K se torna deficiente los bordes y ápices de las hojas presentan clorosis amarilla-anaranjada, lesiones cloróticas entre las nervaduras de las láminas foliares, las hojas más viejas toman coloración marrón y apariencia de quemaduras y los tallos son más finos. Las hojas más jóvenes generalmente permanecen con el color verde oscuro, pero pueden presentar manchas rojas por el haz de la nervadura central. El estrés prolongado por deficiencia de potasio afecta el desarrollo del meristemo apical y origina la distorsión del verticilo central.

La Figura 8.25 muestra de izquierda a derecha: (A) en las hojas viejas afectadas por deficiencia de potasio los efectos son localizados con moteado y clorosis; (B) de coloración roja de la parte superior de la nervadura central (esta característica de la deficiencia de potasio puede confundirse con daños causados por insectos en la nervadura central); (C) cuando la deficiencia es moderada las hojas jóvenes permanecen verde oscuras y los tallos delgados y (D) la deficiencia prolongada puede afectar el desarrollo del meristemo apical, lo que distorsiona a las hojas apicales y la planta adquiere una apariencia de abanico (Anderson y Bowen, 1994).

El pH y la Disponibilidad de Nutrientes

No es posible terminar este capítulo sin hacer referencia al pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, ya que el mismo tiene marcada influencia en el grado de solubilidad e insolubilidad tanto de los nutrientes que contiene el suelo como los que se aplican con los fertilizantes minerales. Normalmente el rango de pH de los suelos varía entre 3,5 y 9,0; la razón por la que no se alcanzan valores extremos de 0 o 14, se debe a que la solución del suelo no es una solución verdadera, sino que constituye una solución coloidal.

Figura 8.25. Síntomas de deficiencia de potasio presentes en hojas y tallos de caña de azúcar.

En la Figura 8.26 se expone de forma resumida el rango de pH óptimo para la solubilidad de los diferentes macro y microelementos esenciales para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas (García, 2005).

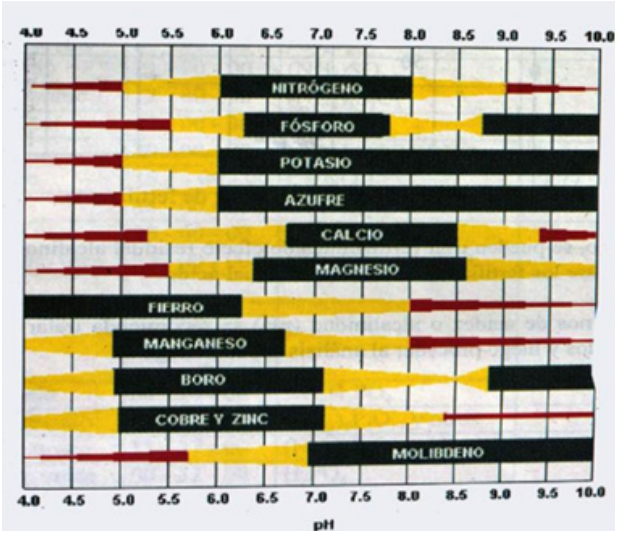


Figura 8.26. Rangos de pH para la solubilidad de los elementos nutritivos.

Microelementos

Si falta mucho por investigar y conocer de los macro-elementos primarios (NPK) y secundarios (Ca, Mg, y S), de los microelementos o elementos menores prácticamente no se ha realizado nada o casi nada en nuestro país.

Recientemente Muñiz (2008) en su libro "Microelementos en la Agricultura", brinda de forma actualizada y abarcadora, los principales aspectos relacionados con los microelementos y su incidencia en la nutrición de los cultivos tropicales. Se consideran microelementos esenciales para las plantas: el hierro, el manganeso, el zinc, el cobre, el boro, el molibdeno y el cloro. Se espera que otros sean agregados a esta lista en el futuro. Según Mortvedt (2001) y Fageria et al. (2002), citados por Muñiz (2008) la deficiencia de microelementos se ha generalizado en los últimos tiempos por todo el mundo debido a:

• Empleo de variedades altamente productivas y exigentes para la nutrición.

• Incremento de la explotación de áreas con suelos marginales, con bajos niveles de microelementos.

• Mayor uso de fertilizantes minerales concentrados más puros, que contienen menor cantidad de microelementos como impurezas.

• Menor empleo de abonos orgánicos.

• Uso de suelos con baja reserva nativa de microelementos.

• Desarrollo de factores naturales y antropogénicos, que limitan la adecuada bio-disponibilidad de los microelementos para las plantas y originan desequilibrios entre los nutrientes del suelo.

En este capítulo se aborda de forma sintetizada el papel protagónico de los 3 elementos primarios (NPK) sobre los rendimientos, agrícolas, industriales y la calidad de la materia prima, como vía para lograr producciones altas y rentables, pero en armonía con el ambiente.

Mucho se ha investigado y escrito en el mundo y en particular en Cuba, sobre la nutrición de la caña de azúcar y los factores principales, que intervienen en los procesos de asimilación de nutrientes, acumulación y respuesta del cultivo a las aplicaciones de fertilizantes minerales (NPK). No obstante aún quedan aspectos no evaluados con profundidad como la respuesta de diferentes variedades a los fertilizantes, el efecto residual de aplicaciones altas y tardías de N y su interrelación con las diferentes técnicas de riego por citar solo algunas.

Con relación a los macro-elementos secundarios y los microelementos existe, para las futuras generaciones de profesionales, investigadores, productores, estudiantes y directivos que se dediquen al cultivo de la caña de azúcar, en el país, un campo prácticamente virgen, sin explorar. Con la edición de este material queremos llamar la atención de la necesidad de abrir nuevas investigaciones sobre estos importantes aspectos relacionados con la nutrición y la fertilización de la caña de azúcar en las condiciones edafoclimáticas de Cuba.

El uso de técnicas más precisas como la agricultura de precisión, el empleo de máquinas modernas para la aplicación de fertilizantes y el uso de técnicas con isótopos radiactivos pueden ayudar a hacer un mejor uso de los fertilizantes, a esclarecer algunos aspectos que todavía se conoce poco o muy poco sobre ellos e ir hacia una agricultura cañera basada en los principios del manejo sostenible de tierras.

Abonos Orgánicos y Verdes. Rotación de Cultivos y Encalado

Nelson Cristóbal Arzola Pina
Hipólito Israel Pérez Iglesias
Irán Rodríguez Delgado

Además de los fertilizantes químicos de fabricación industrial comúnmente usados, especialmente, en la agricultura intensiva, existen numerosas fuentes alternativas de abonos tales como: residuos de industrias agrícolas, residuos de animales, compost vegetal, aguas cloacales, abonos verdes y otros. Estas fuentes de nutrientes vienen teniendo importancia especial en los últimos años, debido al alto costo ascendente de los fertilizantes químicos que limita su acceso a los pequeños agricultores y campesinos y como apoyo de la agricultura sostenible, buscando racionalizar el uso de los insumos agrícolas en equilibrio con el medio ambiente.

Cuba al igual que muchos países de la región no produce fertilizantes químicos siendo necesario importarlos con la correspondiente fuga de divisas, actualmente se invierten algo más de 70 millones de dólares en la compra de fertilizantes químicos, solamente para la fertilización de la caña de azúcar, por tanto resulta extremadamente importante aprovechar los residuos orgánicos de la agroindustria azucarera, desarrollar el uso de abonos verdes y la rotación de cultivos, para mantener los niveles de materia orgánica del suelo, mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de éstos, contribuir al secuestro de carbono y proteger el medio ambiente.

Aprovechamiento de Residuos Orgánicos en la Agricultura Cañera

En Cuba la industria ha venido produciendo años tras años residuales del proceso de destilación de la miel para la producción de alcohol, de

la producción de levadura torula y de la producción de azúcar, los que tradicionalmente se acumulan en las lagunas destinadas para ellos y aunque se fertirriegan en los campos de caña, generalmente la capacidad para el riego no es suficiente para asimilar los volúmenes generados durante el proceso productivo. Los volúmenes que no son utilizados, van a parar a las fuentes de agua subterráneas, lagunas, bahías y a los diferentes sistemas de drenaje natural de las áreas aledañas a las fábricas, contaminado las fuentes que garantizan el suministro de agua a la población o que son útiles para la pesca, turismo o recreación. Estos residuos líquidos, no son los únicos; existen además sólidos como la cachaza y la ceniza.

Residuos de la producción de azúcar.

El reciclaje de los residuos del procesamiento agroindustrial de la caña de azúcar, ha mostrado generalmente efectos positivos sobre la producción de caña.

Residuos de la elaboración de alcohol y levadura torula.

En la actualidad las materias primas empleadas para la síntesis biológica de etanol a partir de la caña de azúcar son: las mieles y el jugo de la caña (guarapo). En la agroindustria de la caña de azúcar las vinazas constituyen el principal residuo líquido de la fermentación de la fabricación de alcohol. Las vinazas de destilería son los residuales de mayor agresividad y carga orgánica que genera la agroindustria de la caña de azúcar en su conjunto, son muy agresivos por su elevada carga orgánica que varía entre 60 000 a 150 000 mg DQO/l, casi mil veces mayor que la permitida por las normas ambientales vigentes.

Vinaza.

Por cada litro de alcohol producido, se obtienen 13 litros de vinaza, por tanto, una destilería que produzca 1 000 hectolitros de alcohol por día,

originará 13 000 hectolitros de vinaza, con una carga contaminante equivalente a la de 1,7 millones de habitantes. Aunque no contienen virus o bacteria patógenas, su gran efecto se debe a la materia orgánica que ocasiona una alta Demanda Biológica de Oxigeno (DBO).

Su composición química es variable en dependencia de factores, como: el origen de los materiales y el tipo y operación del proceso de destilación. El K inorgánico es el componente más abundante. La mayoría del N se encuentra en forma coloidal y es lentamente mineralizado. Tanto el K como el Ca y el Mg se encuentran en forma soluble. Las vinazas también contienen P así como otros elementos, como Mn, Ca y Zn. El contenido de MO es elevado fluctuando entre 19 y 45%.

Incrementos de hasta 30% en t de caña ha^{-1}, con dosis de 150 m^3 ha^{-1}, tanto en suelos arenosos como arcillosos, se han obtenido en Copersucar, Brasil. La causa de esta respuesta se debe a aumentos de la MOS y de los nutrientes, así como a la conservación de la humedad del suelo. La necesidad de complementar la vinaza de destilería (VD) con determinado nutrimento, dependerá del tipo y dosis de vinaza y de los contenidos de nutrientes presentes en el suelo. Aplicaciones de 90 a 100 kg de N ha^{-1} como complemento son frecuentes.

Los residuos de la destilería son particularmente ricos en K, por ello, podrían emplearse conjuntamente con la cachaza, en los suelos insuficientes en ese nutriente para lograr un abonado más balanceado, mientras que desde otro punto de vista, el efecto tan pronunciado que posee sobre el contenido de K cambiable del suelo, sugiere que su análisis podría servir para diagnosticar la necesidad de priorizar su empleo, en áreas pobres en ese elemento o de rotar aquellas que han alcanzado un contenido muy elevado del mismo.

Las dosis de vinaza que se aplican con camiones cisternas a las áreas cañeras de Brasil, varían entre 50 y 200 m^3 ha^{-1} dependiendo esto de la concentración de K. Uno de los factores que se considera en Brasil importante para definir la dosis de vinaza a emplear es la materia prima utilizada en la fabricación del alcohol, ya que con ella varia el aporte de nutrimentos y en particular el potasio de la vinaza (miel o guarapo).

El K no se requiere como complemento de la vinaza y debe servir como indicador sobre la posibilidad de continuar aplicando la misma

en las áreas cañeras, lo que se explica por las elevadas cifras que de este nutrimento se suministran al suelo.

Un exceso de K, puede originar insuficiencia de Ca y Mg en el cultivo, así como mayor cantidad de sales y almidón en el jugo de la caña, lo que afecta la calidad de ésta como materia prima para la industria, por lo cual, deben regularse las dosis de VD atendiendo a ese indicador.

La aplicación de vinaza origina en primer lugar un aumento del contenido de potasio cambiable del suelo, por ello esta determinación podría servir para diagnosticar su empleo, no solo por la importancia del potasio cambiable, sino porque ningún efecto negativo secundario (acidez, salinidad) podría presentarse, hasta tanto el nivel de potasio cambiable del suelo alcance determinado valor.

Levadura torula.

La vinaza se utiliza con buenos resultados para sustituir la miel en la elaboración de la levadura torula, que es un microorganismo unicelular que en presencia de oxígeno puede reproducirse muy rápidamente consumiendo azucares reductores, contenidos en la miel final o en la vinaza. Para este consumo se hacen aportes de N y de P asimilable mediante fosfato de amonio, sulfato de amonio y urea. El producto final es un sólido pulverulento de color beige claro, con un contenido de proteína bruta base seca de 47,8% mínimo.

Los resultados obtenidos por Arzola (2000) con el empleo del residuo de torula en el cultivo de la caña de azúcar muestran que incrementa el nivel de materia orgánica, los agregados estables, el contenido de N, P y en especial de K cambiable del suelo, mientras que el pH disminuye.

En tres cosechas efectuadas a un experimento realizado en un Ferralsol, se encontraron los mayores incrementos de rendimiento con el empleo de este residuo con dosis de 1 000 a 3 000 m^3 ha^{-1} en cada cosecha, además el rendimiento fue superior que cuando se regó con agua y se aplicó fertilización mineral completa. Para un segundo ciclo de 3 cosechas de la misma plantación, durante el cual no se fertirrigó con Residual de Levadura Torula (RLT), continuó existiendo un efecto residual beneficioso. Las elevadas normas de riego con que se alcanzaron los mayores rendimientos en el estudio anterior coinciden

con el insuficiente abastecimiento de K de ese suelo, pero aun así, desde el punto de vista de la aplicación sistemática de este residuo en una misma área no sería aconsejable sobrepasar la dosis de 500 m^3 ha^{-1} por cosecha, y sería preferible diagnosticar su empleo en dependencia del contenido de K cambiable del suelo.

Enfriamiento de los residuos.

El residuo de elaboración de levadura torula sale de la fábrica a temperatura ambiente, no necesita enfriarse y puede fertirrigarse sin proceso alguno. La vinaza sale a elevada temperatura, para enfriarla, es conveniente utilizar el sistema empleado en Brasil, el cual representa un ahorro de energía y una condición necesaria para garantizar que este residuo que será fertirrigado no dañe las plantaciones por su elevada temperatura.

En Brasil, el residuo se traslada en camiones, con cisternas de 30 m^3 cada una, desde el embalse hasta los campos de caña donde es aplicado (Figura 9.1).

Figura 9.1. Camión con dos cisternas, utilizado en Brasil para aplicar los residuos de las destilerías de alcohol en los campos de caña de azucar, cargando la vinaza en el punto de abastecimiento del embalse. Actualmente Cuba está adquiriendo equipos de este tipo para usarlos en el riego de residuales.

Cada camión mueve dos cisternas y un enrollador (equipo para regar el residual por aspersión). A partir de las lagunas se suministran vinazas por gravedad al punto de abastecimiento de los camiones (Figura 9.2). El tiempo para cargar las cisternas es de 6 a 8 minutos.

Figura 9.2. Mecanismo de llenado y traslado de las cisternas con vinaza hasta los campos de caña de azúcar que serán fertirrigados con el residual.

Cuando la distancia es grande y ocasiona gran número de viajes, se trabaja 24 horas y se realizan de 30 a 32 viajes, para un rendimiento por aspersor de 20/ha/día. Cuando no es limitante la distancia de abastecimiento y no existen interrupciones, se puede llegar a unas 30 ha por jornada. La dosis de aplicación oscila entre 80 y 100 m^3 ha^{-1} (Figura 9.3).

Figura 9.3. Instalación del equipo de riego (enrollador) en la cisterna y fertirriego de la vinaza en un campo de caña de azúcar recién cosechado, mediante un aspersor de los utilizados en Brasil, los cuales presentan características específicas de fabricación para evitar que el residual los dañe.

Para determinar la dosis de vinaza o residuo de levadura torula que se debe aplicar para una cosecha, se debe tener en cuenta el contenido de K del residuo y de K cambiable del suelo, la exportación por la cosecha en kg de K_2O t de tallo molido (C) y el rendimiento en t de caña ha^{-1} (TCH), como aparece en la Tabla 9.1.

Tabla 9.1. Categorías de K intercambiable de los suelos y dosis de potasio a emplear con el fertirriego de residuales de destilerías de alcohol y fábricas de torula.

Categoría	Descripción	K Intercambiable* ($cmol^{(+)}$ kg^{-1})	Dosis de K_2O ha^{-1}	Valores de C
I	Alto	> 0,45	(TCH)(C1)	C1 = 1,00
II	Medio	>0,30 – 0,45	(TCH)(C2)	C2 = 2,15
III	Bajo	0,15 – 0,30	(TCH)(C3)	C3 = 2,25
IV	Muy Bajo	< 0,15	(TCH)(C4)	C4 = 2,75

*Extracción con acetato de amonio 1N de pH 7, rangos de abastecimiento de K cambiable del suelo.

La multiplicación de TCH por C será la exportación en kg de K_2O ha-1, cifra que es inferior al valor de exportación medio de una cosecha de caña (2,15 kg de K_2O ha^{-1}) para la categoría de alto y superior en las categorías de bajo y muy bajo contenido de K cambiable del suelo. Una vez que se conoce el valor de la exportación en kg de K_2O ha^{-1}, se procede a determinar la dosis de residuo a utilizar para suministrar esa cantidad de K, para ello se debe conocer el contenido de K del residuo y aplicar la fórmula siguiente:

$$m^3.ha/cosecha = \frac{(TCH).(C)}{kg\ de\ K_2O\ x\ m^3\ de\ residuo}$$

En suelos con una CIC < 15 $cmol^{(+)}$ kg^{-1} no se aplicará ninguno de estos residuos si posee un contenido de K_2O superior a 1 $cmol^{(+)}$ kg^{-1}, entre 15-30 $cmol^{(+)}$ kg^{-1} de CIC no se aplicaran si el suelo posee un contenido de K_2O superior a 2 $cmol^{(+)}$ kg^{-1} y en suelos con una CIC > 30 $cmol^{(+)}$ kg^{-1} no se aplicaran estos residuos si el suelo posee un contenido de K_2O superior a 3 $cmol^{(+)}$ kg^{-1}.

Residuos sólidos.

Cachaza.

Composición: La cachaza está formada por un conjunto de sólidos que sedimentan durante la clarificación del guarapo y que incluyen: fibra, cera, grasa, materia terrosa, azucares, fosfatos de calcio y compuestos nitrogenados. En su composición elemental se presenta gran variedad de nutrimentos requeridos por el cultivo, que abarca tanto macro como microelementos (Tabla 9.2).

Tabla 9.2. Contenido de materia orgánica y nutrientes de cachaza fresca proveniente de los filtros y de los camiones y de cachaza vieja almacenada expresada en % en base seca.

Componente	Tomada en los filtros	Tomada en los camiones	Almacenada (Cachaza vieja)
Materia orgánica	48,67	45,52	42,81
Sílice	11,53	11,45	17,72
N	2,35	3,30	2,18
P_2O_5 (P)	1,99 (0,87)	1,94 (0,85)	2,37 (1,03)
K_2O (K)	0,37 (0,31)	0,43 (0,36)	1,04 (0,86)
Ca (Ca)	4,94 (3,53)	4,67 (3,34)	8,08 (5,77)
MgO (Mg)	0,57 (0,83)	0,62 (0,41)	0,09 (0,06)
SO_3	0,47	0,73	0,92
Cl^-	0,07	0,10	0,16
Na_2O	0,04	0,03	0,19
Fe_2O_3	0,40	0,06	0,30
Al_2O_3	5,59	6,75	6,46

Como se puede apreciar en la Tabla 9.3 dentro de los macroelementos primarios predominan N y P con respecto al K.

Tabla 9.3. Contenido de los macroelementos primarios (NPK) de la cachaza procedente de diferentes centrales azucareros de Cuba y la relación $N:P_2O_5:K_2O$.

Procedencia (CAI)	% N	% P_2O_5	% K_2O	Relación $N:P_2O_5:K_2O$
Guillermo Moncada	2,38	2,95	0,46	5,2:6,4:1
Unidad Proletaria	2,20	3,44	0,45	4,9:7,6:1
Julio Reyes Cairo	3,28	2,56	0,45	7,3:5,7:1

Benito Juárez	3,08	4,26	0,60	5,1:7,1:1
Guatemala	3,50	4,20	0,40	8,8:10,5:1
Promedio	2,89	3,48	0,47	6,2:7,4:1

Efectos sobre propiedades del suelo: Con la aplicación de cachaza incrementa el contenido de MO, P asimilable, N total, Ca cambiable y K acuosoluble, en tanto que disminuye la acidez del suelo (Tablas 9.4 y 9.5).

Tabla 9.4. Efecto de la de cachaza sobre algunas características del suelo Ferralítico Rojo después de transcurridos uno, dos y tres meses de su aplicación (diferencia cachaza–testigo).

Característica	**Tiempo transcurrido desde la aplicación (meses)**		
	1	**2**	**3**
Materia orgánica (%)	0,78 **	0,78 **	1,43 **
Valor T (cmol$^{(+)}$ kg^{-1})	-0,8	0,5	1,8
pH en KCl	-0,1	0,0	0,1
N hidrolizable (mg N/100 g)	0,6	3,4 **	7,5 **
P asimilable por Olsen (mg P/100 g)	6,49 **	6,43 **	2,05 **
K acuosoluble (mg K/100 g)	1,31 **	1,36 **	1,95 **
K cambiable (mg K/100 g)	0,06 *	0,08 *	0,11 **
Ca cambiable (mg Ca/100 g)	2,49 **	0,77	2,0 **
Mg cambiable (mg Mg/100 g)	0,70	1,62	1,59
Na cambiable (mg Na/100 g)	0,06 **	0,02	0,06 **

*Diferencia significativa con el testigo. **Diferencia altamente significativa.

La mayor efectividad de la cachaza se presenta en aquellos casos donde los factores edáficos que se modifican con su aplicación, son precisamente los que limitan el rendimiento, por lo que debe priorizarse su uso en suelos ácidos, de malas propiedades físicas, pobres en MO y P asimilable; pero bien abastecidos de K.

Tabla 9.5. Efecto de la cachaza sobre algunas características del suelo Pardo Grisáceo después de transcurridos uno, dos y tres meses de su aplicación (diferencia cachaza–testigo).

Característica del suelo	**Tiempo transcurrido desde la aplicación (meses)**		
	1	**2**	**3**
Materia orgánica (%)	0,82 **	0,74 **	1,08 **
Valor T (cmol(+).kg-1)	2,2	1,8	1,3
N hidrolizable (mgN/100 g)	6,3	5,1	12,2

pH KCl	0,5 **	0,6 **	0,4 **
P asimilable por Olsen (mg P/100 g)	8,23 *	9,91 **	4,17 **
K acuosoluble (mg K/100 g)	0,89 **	0,94 **	0,69 **
K cambiable (mg K/100 g)	-0,05	0,06 **	0,02
Ca cambiable (mg Ca/100 g)	2,38 **	5,27 **	1,61
Mg cambiable (mg Mg/100 g)	2,10	-0,44	0,38
Na cambiable (mg Na/100 g)	0,00	0,16 *	0,01

*Diferencia significativa con el testigo. **Diferencia altamente significativa.

Efectos sobre la composición foliar: La cachaza incorporada con toda la masa del suelo antes de la plantación aumenta en primer lugar los contenidos de P, en segundo, los de N, existiendo un efecto residual no inferior a 4 cosechas. El nivel de K en las hojas no se incrementó con las aplicaciones de cachaza (Tabla 9.6).

Tabla 9.6. Influencia de la aplicación de diferentes dosis de cachaza sobre el contenido de NPK de la hoja + 1 de la caña de azúcar.

t de cachaza ha^{-1}	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	Relación N:K_2O
0	1,70	0,515	1,37	1,24
45	1,80	0,596	1,31	1,37
60	1,83	0,569	1,23	1,49
75	1,82	0,631*	1,35	1,35
81	1,99*	0,701*	1,09	1,83
162	1,97*	0,740*	1,22	1,61
243	1,98*	0,730*	1,12	1,77

*Significativamente superior al testigo al 5% de probabilidad.

Efectos sobre la germinación: La cachaza fresca posee 70% de humedad y su temperatura es elevada, estos factores, conjuntamente con las mejoras que su empleo ocasiona en diferentes propiedades del suelo, podría ser la explicación de la mayor y más rápida germinación de la caña, que ocurre con su empleo (Tabla 9.7). Este efecto resulta de gran importancia para la futura plantación, pues una mayor población es básica para alcanzar más producción de caña e invertir menos recursos en el control de malezas. Se ha constatado que si la cachaza se aplica directamente sobre el esqueje la germinación ocurre, aunque el suelo no posea la humedad necesaria.

Tabla 9.7. Comparación del efecto que producen diferentes dosis de cachaza aplicada sobre el esqueje de semilla e incorporada al suelo sobre la germinación de la caña plantada en el período seco y sin riego de agua contra un testigo sin cachaza y un tratamiento con fertilización mineral NPK (plantas/parcela).

Tratamiento	**Conteo**		
	1er.	**2do.**	**3er.**
I. Sin cachaza	25. c	94 d	106 d
II. 75 t de cachaza incorporada ha^{-1}	38 bc	128 bcd	144 cd
III. 150 t de cachaza incorporada ha^{-1}	56 bc	123 cd	152 abc
IV. 225 t de cachaza incorporada ha^{-1}	104 a	164 b	183 ab
V. 25 t de cachaza localizada ha^{-1}	70 d	153 abc	149 bc
VI. 50 t de cachaza localizada ha^{-1}	86 ab	153 abc	168 ab
VII. 75 t de cachaza localizada ha^{-1}	102 a	169 a	189 a
VIII. Fertilización mineral	11 c	108 d	115 cd

Como se puede apreciar la mayor cantidad de plantas germinadas, se obtuvo con la aplicación de 75 t de cachaza aplicada sobre el esqueje de caña, sin mostrar diferencia estadística con la dosis de 50 t de cachaza aplicada de la misma forma, por lo que se recomienda esta última dosis para condiciones similares a la del estudio.

Efectos sobre los rendimientos del cultivo: La cachaza beneficia las propiedades químicas, físicas, físico-químicas y biológicas del suelo, razón por la cual se presentan incrementos de rendimiento con su aplicación dentro de un amplio rango de variación de características de los suelos. En ocasiones los incrementos de rendimiento con el empleo de la cachaza pueden superar el 100%, lo que significa que esta enmienda es imprescindible si se desea producir caña en tales localidades, aunque por lo general los incrementos se encuentran alrededor del 25%. Las dosis de cachaza necesarias para alcanzar máximos rendimientos con el método de incorporarla antes de la plantación, resultan muy elevadas, aunque variables dentro de ciertos límites (125-285 t ha^{-1}) atendiendo a las características de cada lugar (Tabla 9.8).

Tabla 9.8. Comparación de diferentes dosis de cachaza para máximos rendimientos de caña en tres tipos de suelos cañeros de Cuba.

Tipo de suelo	Dosis máxima (t ha^{-1})	Incremento de rendimiento (%)
Ferralítico Rojo	125	24
Ferralítico Rojo	141	21
Oscuro Plástico gris amarillento	265	25
Gley Ferralítico laterizado	285	163

La cachaza, mejora la germinación de las yemas, el desarrollo del sistema radical y la asimilación de nutrimentos de N y P, sustituyéndose con su empleo la fertilización mineral fosfórica y nitrogenada durante no menos de cuatro cosechas. La producción de azúcar que se obtienen por t de cachaza aplicada, pueden servir de guía con el propósito de valorar el efecto económico de su empleo. En el ejemplo de la Tabla 9.9 los mejores resultados se alcanzan en el suelo Ferralítico bien abastecido de potasio.

Tabla 9.9. Producción de azúcar (en kg) por cada tonelada de cachaza aplicada incorporada al suelo antes de la plantación y sobre la paja de caña de azúcar en retoños recién cosechados en tres tipos de suelos cañeros de Cuba.

Tipo de suelo	**Dosis para máximo rendimiento (t ha-1)**	**kg de azúcar producido por t de cachaza aplicada**		**Método**
		Con la dosis de máximo rendimiento	**Con 50 t ha-1**	
Ferralítico Rojo	125	70	112	Incorporada antes de la plantación
Ferralítico Rojo	141	57	93	
Oscuro Plástico gris amarillento	265	27	48	
Gley Ferralítico laterizado	292	18	64	Sobre la paja

Las ventajas del método localizado (Figura 9.4), consisten en requerirse solo la mitad o la tercera parte de la dosis que por el incorporado para alcanzar similar producción, lo que disminuye gastos de transporte y aplicación y permite beneficiar mayor área con la cachaza que se obtiene en una zafra.

Las dosis con la que se obtiene el mayor provecho económico (óptimas) así como las ganancias, disminuyen al aumentar la distancia hasta el lugar de aplicación, no obstante, el empleo de cachaza localizada a razón de 50 t ha^{-1}, resulta generalmente una buena opción.

Con esa dosis, debido a la alta retención de agua de la cachaza, es posible realizar la plantación en lugares sin regadío, aun cuando falte algo más de un mes para el comienzo de la época de lluvia.

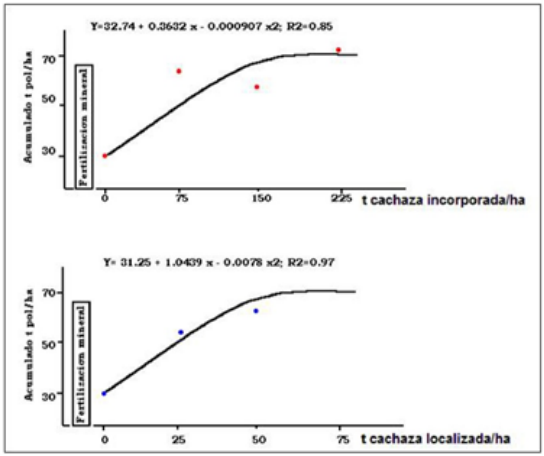


Figura 9.4. Influencia de la dosis de aplicación de cachaza sobre las t de pol ha^{-1} acumuladas en 4 cosechas de caña efectuadas en un suelo Gley Ferralítico laterizado con la variedad Ja60-5, comparada con la fertilización mineral de NPK. En la parte superior de la figura se muestra el efecto de la cachaza incorporada al suelo y la inferior se corresponde con la aplicación de dosis tres veces inferiores de cachaza localizada sobre el esqueje de caña al momento de realizar la plantación.

Ceniza

Durante la combustión del bagazo y de la paja de la caña, se pierde el carbono y el N, destruyéndose así el carácter orgánico de estos materiales; queda entonces la ceniza que está compuesta por sílice, bases, fósforo y otros elementos.

En un experimento realizado en suelo Ferralítico Rojo típico, insuficiente en potasio (0,1 $cmol^{(+)}$ kg^{-1} de suelo) en el que se compararon diferentes abonos orgánicos (turba, bagazo, guano de murciélago y estiércol vacuno) con la ceniza de los hornos del ingenio reportaron mayores rendimientos con esta última. Esto se asoció a que la ceniza aportó los mayores incrementos en los contenidos de potasio cambiable del suelo y los más bajos de la relación Ca/K cambiables (Figura 9.5).

Compost.

El proceso de compostaje acelera las transformaciones que ocurren en los materiales orgánicos, obteniéndose finalmente productos con

mejores propiedades que los iniciales, por tal razón su empleo favorece tanto la fertilidad de los suelos como el rendimiento de los cultivos, con respecto a otras fuentes orgánicas. La agroindustria azucarera, brinda una serie de residuos o subproductos que pueden utilizarse para el proceso de compostaje, como son: cachaza, ceniza, residuos agrícolas (cogollo y paja) y residuos líquidos de diferentes tipos.

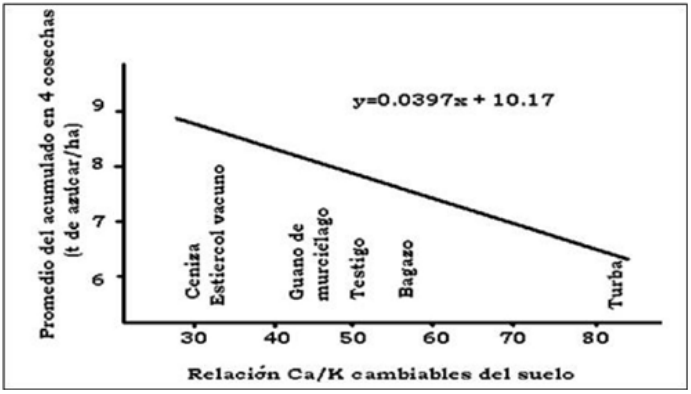


Figura 9.5. Variación de la relación Ca/K cambiable del suelo con el empleo de diferentes abonos orgánicos y ceniza y su influencia sobre el rendimiento de azúcar t/ha.

El compost se elabora utilizando como materia prima fundamental la cachaza, la que se deja descomponer sola o formando un 85% de la mezcla inicial. El 15% restante se completa con bagazo, ceniza o estiércol vacuno. El compost elaborado contiene alrededor del 25% de humedad, reacción de neutra a alcalina, abundante materia orgánica, predominio de ácidos húmicos sobre los fúlvicos y elementos mayores y menores (Tabla 9.10).

Tabla 9.10. Composición del compost elaborado en el INICA (base peso seco).

Componente	Rango de valores
pH	6,5 – 8,4
Materia orgánica (%)	5,2 – 9,6
N (%)	1,2 - 23
P (%)	0,3 - 34
K (%)	0,3 – 0,7
Ácido Húmico/Ácido Fúlvico	1,4 – 2,5
Ca (ppm)	3 697 – 34 400
Mg (ppm)	574 - 2100

Cu (ppm)	21 - 40
Zn (ppm)	57 - 149
Fe (ppm)	318 - 495
Mn (ppm)	75 - 387

Beneficios del compost sobre las propiedades del suelo y la eficiencia de la fertilización: La formación de humus y en especial del ácido húmico, tiene efecto altamente beneficioso en los suelos. Entre sus principales características se encuentran las siguientes:

• Son estables y resistentes a la biodegradación en el suelo y consecuentemente a la descomposición microbiana.

• Le imparten buenas propiedades físicas al suelo que implican mejor aireación, menos compactación y mayor capacidad de retención de agua.

• Eleva la capacidad de intercambio catiónico del suelo, lo que influye grandemente en la nutrición de las plantas.

• Contiene cantidades balanceadas de los principales elementos de la nutrición de las plantas: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Beneficios del compost sobre el rendimiento del cultivo: En experimentos de campo, se estudió el efecto de diferentes dosis y métodos de aplicación de compost y la necesidad de complementarlo con fertilizantes minerales. Se evaluaron en la cosecha el rendimiento agrícola y el porcentaje del pol en caña y con ambos indicadores se calculó la producción de azúcar.

En el suelo Ferralsol, el compost aplicado localizado en el surco, en plantación, a razón de 5 t ha^{-1} (compost elaborado sin añadirle inoculo), duplicó la producción de caña por unidad de superficie agrícola y sustituyó la fertilización mineral. En retoños, el efecto de la aplicación de compost, sobre el rendimiento, también resultó favorable en un Gleysol, aunque los incrementos no fueron tan pronunciados como en caña planta.

Desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento de los residuos para elaborar compost, resulta favorable, por evitarse que los mismos contaminen las aguas y mejorarse la fertilidad del suelo.

Síntesis de algunos resultados obtenidos, con el uso de residuos agroindustriales de la caña de azúcar.

En resumen puede señalarse que con el empleo de cualquiera de los residuos mencionados se alcanzó igual o mayor rendimiento, que mediante la aplicación de fertilizantes minerales completos y el riego con agua (para el caso de los residuos líquidos), lo que se corresponde con mejoras en la fertilidad y capacidad productiva de los suelos, además, estos pueden sustituir fertilizantes minerales y representan una nueva fuente de agua para el riego (Tabla 9.11).

Tabla 9.11. Incremento del rendimiento agrícola, expresado en %, obtenido con la aplicación de diferentes residuos de la agroindustria azucarera, en el cultivo de la caña de azúcar en Cuba.

Tipo de material utilizado	Forma de aplicación	Dosis	Incremento de rendimiento* (%)
Cachaza	Incorporada con la capa arable	45 t ha^{-1} en base seca	126
Cachaza	Sobre los esquejes en plantación	15 t ha^{-1} en base seca	104
Compost	Sobre los esquejes en plantación	3,5 t ha^{-1} en base seca	118
Residuo de torula	Fertirriego por aspersión	1000 m^3/ha/cosecha	19
Residuo de la fabricación de azúcar crudo	Fertirriego por aspersión	1 750 m^3/ha/cosecha	0

*Incremento = (Tratamiento-Testigo)/Testigo x 100.

Abonos Verdes

Los abonos verdes, basados en el uso de leguminosas con alta eficiencia de fijación biológica de nitrógeno (FBN) son hoy en día una de las principales alternativas viables como fuentes de N en diversos sistemas agrícolas, especialmente en la región tropical.

En esta región, donde los suelos son mucho más pobres en N disponible, el concepto de abonos verdes como fuentes de N en los sistemas agrícolas, debe ser extendido inclusive al uso de leguminosas de grano de rápido crecimiento y alta eficiencia de fijación biológica de nitrógeno (FBN) como, la soja (Glycine max (L.)) y caupí (Vigna unguiculata (L.) Walp.). En un ciclo completo, los abonos verdes pueden llegar a acumular en promedio, hasta 300 kg N ha-1, siendo la mayor parte de éste derivado de la FBN (Urquiaga y Zapata, 2000).

Según estos autores las especies más utilizadas en el trópico son: crotalaria (Crotalaria juncea L.); mucuna o frijol terciopelo (Mucuna pruriens (L.) DC.); canavalia (Canavalia ensiformis Adams); sesbania (Sesbanaia sesban (Jacq) W. Wight); Dolichos lablab, kudzu (Pueraria phaseoloides DC.); siratro (Macroptilium atropurpureum (Benth) Urb); estilosantes (Stylosanthes guianensis Sw.1806) y maní forrajero (Arachis pintoi Krapov. & W. C. Greg. 1994). Estas son incorporadas al suelo, o empleadas como cobertura (mulch) muerta o viva.

En la Tabla 9.12 se muestra la cantidad de N que pueden fijar algunas de estas especies de leguminosas usadas como abono verde en la región tropical. Los datos de la tabla indican que la FBN puede aportar hasta cerca del 90% del total N acumulado por las plantas, especialmente en suelos pobres en N disponible.

Cabe señalar que los abonos verdes se pueden usar para la rotación de cultivos y que en Cuba no se ha desarrollado su empleo, por desconocimiento de los agricultores de los beneficios que aporta esta práctica, imperando el uso de los costosos y contaminantes fertilizantes químicos.

Tabla 9.12. Contribución de la FBN en algunas leguminosas tropicales usadas como abonos verdes, creciendo en condiciones de campo.

Especie	FBN (%)	Técnica	Localidad
Arachis pintoi	68	Delta 15N	Río de Janeiro
	87	Dilución Isotópica 15N	San Carlos Costa Rica.
Crotalaria Juncea	95	Delta 15N	Río de Janeiro
Crotalaria ensiformis	87	Delta 15N	Río de Janeiro
Crotalaria ensiformis	96	Delta 15N	Río de Janeiro
Mucuna deringiana	96	Delta 15N	Río de Janeiro
Macroptilium atropurpureum	87	Delta 15N	Río de Janeiro
Pueraria phaseoloides	67	Delta 15N	Río de Janeiro
Stylosanthes guianensis	68-79	Delta 15N	Campo Grande
Stylosanthes scabra	52-70	Delta 15N	Campo Grande
Stylosanthes macrophala	74-84	Delta 15N	Campo Grande
Stylosanthes capitata	73-88	Delta 15N	Campo Grande

Rotación de Cultivos

La caña de azúcar ha sido en Cuba un monocultivo por cerca de 2 siglos, cuando todavía este fenómeno negativo no era tan notorio, Álvaro Reynoso (1962) señaló, "la tierra explotada sin interrupción alguna, en el propio sitio por la misma planta, concluye por empobrecerse". Más del 90% del tiempo el suelo está ocupado con caña, lo que se agrava cuando una sola variedad ocupa un alto porcentaje del área, y como se conoce, cuatro variedades de caña (Cristalina, POJ2878, B4362 y Ja60-5) han ocupado en sus momentos, la mitad o más de la superficie cañera, durante los últimos 200 años.

Conceptualmente rotación es la sucesión recurrente y más o menos regular de diferentes cultivos en el mismo terreno, y es una práctica que contribuye de modo eficaz a controlar la degradación de los suelos, regular la humedad y mantener la productividad de éstos, a la vez que aumenta la rentabilidad de los agricultores. En caña de azúcar se denomina a la práctica de sembrar un cultivo de ciclo corto, preferiblemente una leguminosa, entre la demolición de la cepa vieja y la nueva plantación y tiene lugar generalmente entre abril y septiembre.

Una de las causas por las que muchas veces ha fallado la rotación de cultivos es porque se piensa que no se necesita atenderlos. Una premisa importante que no se debe olvidar es que los cultivos que se usen para la rotación se deben manejar técnicamente. En Australia se ha observado que el caupí con manejo tradicional fijó 31,00 kg de N ha^{-1} y produjo 2,0 t ha^{-1} de materia seca, mientras con manejo técnico la fijación se elevó a 140,00 kg de N ha^{-1} con una producción de 4,7 t ha^{-1} de materia seca.

El cambio a un cultivo diferente, aunque sea cada cinco o seis años, interrumpe el ciclo de las malezas y es más efectivo si es capaz de cubrir toda el área y ahogar el crecimiento de las malezas. Además, se mejoran el contenido de materia orgánica y las condiciones físicas de los suelos y se aportan cantidades considerables de N.

En Cuba, en el período de abril a septiembre, antes de la siembra de frío, se pueden sembrar soya, maní, caupí, girasol, ajonjolí, canavalia, mucuna, melón calabaza y boniato que ayudan a controlar malezas y además tienen alto valor alimenticio y económico (Cuéllar et al., 2003). Independientemente de los beneficios, que se conocen, originados por

la rotación de cultivos, hoy en día, no es una práctica muy generalizada en la agricultura cañera cubana.

Encalado

El encalado es una enmienda mineral y se puede definir como la aplicación a los suelos ácidos de materiales que posean dos requisitos:

1. Disminuir la acidez del suelo.
2. Aportar calcio o calcio y magnesio.

Como materiales encalantes se pueden mencionar, los óxidos, hidróxidos y carbonatos de calcio y magnesio, pues solamente ellos reúnen los dos requisitos inicialmente considerados.

En el trópico, las respuestas al encalado han sido contradictorias y poco concluyentes, unas veces la respuesta es positiva y otras ha sido perjudicial.

Frecuentemente los efectos negativos se han atribuido a que ha provocado deficiencias de elementos menores, por ejemplo Fe y Mn; otras, a que en lugar de favorecer la estructura del suelo la ha empeorado al estimular la rápida descomposición de la MOS y aunque haya aumento la capacidad de cambio catiónico por cargas inducidas, a la vez hay pérdidas de la misma con la materia orgánica.

En este lugar las condiciones climáticas han originado una mayor acidificación de los suelos, por ello, los cultivos se han adaptado o han sobrevivido por selección natural los más resistentes a tales condiciones. En la mayoría de los suelos altamente meteorizados de los trópicos el encalado hasta pH 7 origina más daño que bien, resultando tal práctica en un sobre-encalado. La respuesta positiva al encalado es consecuencia, en la mayoría de los casos, de haberse contrarrestado los niveles tóxicos de aluminio y de otros elementos.

Por ello las investigaciones al respecto, debían estar encaminadas a:

1. Agrupar los cultivos según su susceptibilidad al aluminio.
2. Agrupar los suelos según su necesidad de encalado, la que dependería de su contenido en aluminio cambiable y de su valor V (% de saturación de bases cambiables del suelo), pues la toxicidad tiende a disminuir con el aumento en la concentración de otros cationes.

El encalado y la reacción del suelo.

La acidez del suelo.

La acidez o reacción del suelo es una propiedad de gran importancia para el desarrollo y crecimiento de las plantas. El pH o reacción del suelo tiene una influencia significativa en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y la actividad microbiana. Normalmente el rango de pH de los suelos varía entre 3,5 y 9,0; la razón por la que no se alcanzan valores extremos de 0 o 14, se debe a que la solución del suelo no es una solución verdadera, sino que constituye una solución coloidal.

El pH y los cultivos.

La mayoría de los cultivos son favorecidos por rangos de pH entre 5,0 a 7,5; sin embargo, cada especie se acoge o desarrolla mejor dentro de un rango específico (García, 2005) (Figura 9.6). La caña de azúcar admite un rango de pH bastante amplio, que puede oscilar entre 3,5 y hasta 7,5, siempre que no exista aluminio soluble en el suelo que pueda producir toxicidad, no obstante el rango óptimo de pH para este cultivo se encuentra entre 5,5 y 6,8.

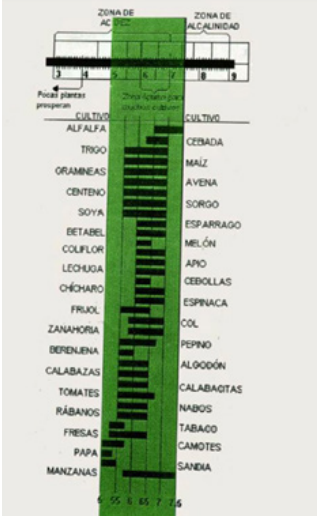


Figura 9.6. Rangos de pH óptimos para diferentes cultivos.

La acidez del suelo se clasifica en actual (solución del suelo) y potencial que es aquella que se encuentra intercambiable en el complejo de cambio del suelo y que es de mucha mayor cuantía que la actual.

Método para calcular la dosis de cal a emplear.

La caña de azúcar admite un rango de pH amplio, por tanto las aplicaciones de cal están función de la saturación por Al y los tenores de Ca y Mg cambiables del suelo y del poder neutralizante del material encalante estableciéndose diferentes dosis (Tabla 9.13).

Tabla 9.13. Recomendación de encalado para la caña de azúcar en función del contenido en el suelo de los cationes canjeables (Al, Ca, Mg) y el poder neutralizante del material encalante.

Análisis de suelo (cationes cambiables)			Poder neutralizante del material encalante			
Aluminio	Calcio	Magnesio	65	80	100	130
Porcentaje	cmol l^{-1}		t de material encalante por ha^{-1}			
>70			5,0	4,0	3,2	2,5
70-50			4,0	3,2	2,6	2,0
49-30			3,0	2,4	2,0	1,5
<30	< 1,0 Ca2+ y < 0,4Mg 2+		2,0	1,6	1,3	1,0
<30	> 1,0	> 0,4	0,0	0,0	0,0	0,0

El objetivo fundamental de un encalado no es elevar el pH, sino eliminar los factores limitantes del crecimiento. Ese sistema integra aquellos factores que en las investigaciones realizadas internacionalmente sobre la necesidad de encalado en caña de azúcar han sido generalmente aceptados.

La caña de azúcar presenta una tolerancia media a la saturación por Al (20-40%). Es evidente que la dosis de material encalante a emplear debe ser menor en las especies de planta más resistentes ya que no es necesario neutralizar todo el aluminio, sino disminuir su contenido hasta un valor, que no afecte el cultivo en cuestión, ello es de importancia económica, pero a su vez garantiza que no se sobre encale.

Riego y Drenaje

Reynaldo Roque Rodés
Carlos José Lamelas Felipe

El riego y el drenaje constituyen factores importantes para incrementar y estabilizar el rendimiento agrícola de la caña de azúcar. Sin embargo para lograr estos resultados, no basta con la aplicación de determinado volumen de agua, sino que es preciso garantizar una adecuada estrategia técnico-organizativa en las plantaciones a beneficiar. El desarrollo y disponibilidad de las tecnologías de riego en las últimas décadas han facilitado a los agricultores integrar el riego a las actividades agrotécnicas, contribuyendo positivamente junto al adecuado drenaje, a un manejo sostenible de las tierras cultivadas.

Las limitaciones que más frecuentemente afectan la sostenibilidad de los sistemas de riego son aquellas asociadas con las actividades de operación y mantenimiento del sistema. La posibilidad de regular la distribución del agua de acuerdo a las necesidades ha sido posible solo en los últimos años con el diseño de sistemas flexibles y adaptables a diferentes condiciones y cultivos.

En los trópicos húmedos donde caen anualmente entre 1500 y 2000 mm de lluvia, hay necesidades de regadío, debido a la distribución no uniforme de las precipitaciones en el transcurso del año y el ciclo del cultivo. Las lluvias en Cuba, se encuentran desigualmente distribuidas, tanto espacial como temporalmente, existiendo lugares que no superan los 660 mm anuales. El período de sequía dura de noviembre a abril y solo precipita como promedio alrededor del 20% de la lluvia anual en esta etapa (Pérez et al., 2004).

La recuperación de las áreas con posibilidades de riego, la introducción de nuevas tecnologías, la rehabilitación del drenaje, y la capacitación del capital humano, son factores determinantes para el incremento de la producción de caña de azúcar del país.

Potencialidades Productivas de la Caña de Azúcar Bajo Riego

Con las técnicas tradicionales como el riego por surcos, por aspersión o por máquinas se obtienen incrementos de rendimiento entre 20 y 50% y con otras más modernas como el riego localizado o por goteo se logra duplicar la producción de caña. Sin embargo, un buen sistema de riego mal utilizado significa malgastar dinero y esfuerzo sin llegar a obtener el beneficio y la ganancia esperados, siendo necesario cumplir con la exigencia de varios principios básicos para maximizar su eficiencia tales como:

1. Regar cuando la caña de azúcar lo necesita sin esperar que esta sufra estrés y se afecten los rendimientos.
2. Aplicar en cada riego la cantidad de agua que el suelo y las plantas realmente necesitan, ni más ni menos. Si regamos menos no abastecemos bien el suelo y si regamos más podemos crear encharcamientos que afecten la caña y desperdiciar agua y dinero.
3. Operar correctamente la técnica de riego disponible y realizar el mantenimiento sistemático para mantener su eficiencia y alargar la vida útil de tan costosa inversión.

El límite superior de producción de un cultivo está determinado por las condiciones edafoclimáticas, por el potencial genético del mismo y las prácticas de manejo que se apliquen. Para alcanzar esta meta el suministro de agua es importante y los aspectos técnicos del riego deben estar bien identificados con las necesidades de agua del cultivo para alcanzar producciones altas, sostenidas y rentables. No por gusto Don Álvaro Reynoso, en la segunda mitad del siglo XIX expresó, “La caña de azúcar es planta de regadío”

Comportamiento de las Precipitaciones y las Condiciones del Suelo

Importancia del comportamiento de las precipitaciones.

El conocimiento del comportamiento de las precipitaciones en determinada zona o región es un factor determinante para la producción de caña, del cual los productores deben tener buen dominio. Para las condiciones de Cuba (isla larga y estrecha) la media histórica de oriente a occidente oscila entre 1072 y 1355 mm/año, como resultado de mediciones realizadas en las diferentes estaciones pluviométricas del territorio. Entre el 22 y el 30% de la lluvia ocurre en el período seco o invierno (noviembre a abril) y entre el 70 y el 78% en el período lluvioso o verano (mayo a octubre), de manera general los meses más críticos son diciembre, enero y febrero con menos de 50 mm, y los de mayor precipitación mayo, junio, julio, agosto y septiembre con más de 100 mm (Figura 10.1).

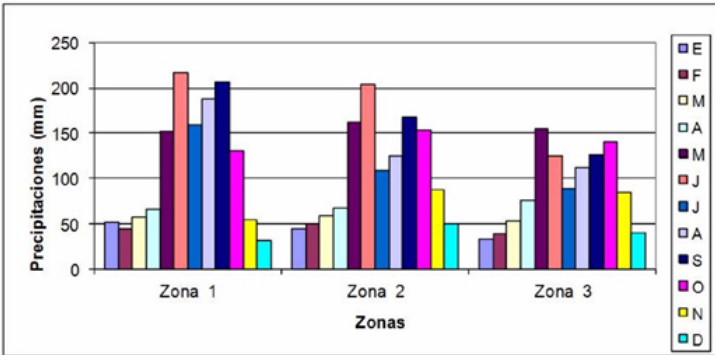


Figura 10.1. Media histórica de las precipitaciones mensuales, registradas en Cuba por zonas: 1. Occidental, 2. Central, 3. Oriental.

Propiedades del suelo que influyen en el manejo del agua de riego.

Las principales propiedades hidrofísicas del suelo son: Densidad aparente, percolación, humedad del suelo, velocidad de infiltración, conductividad hidráulica y elevación capilar, todas de una forma u otra

intervienen y rigen el movimiento del agua en el suelo, por lo que se deben tener muy en cuenta durante el manejo del riego (Tablas 10.1 y 10.2).

Régimen de Riego de la Caña de Azúcar

Para la determinación del régimen de riego de un cultivo es necesario considerar: los efectos del clima, el tipo de suelo y sus características, las exigencias de agua y la dinámica de desarrollo del cultivo, las técnicas de riego y el manejo del agua. Estos factores hay que conjugarlos de tal forma que durante el desarrollo de la plantación no se produzca estrés hídrico. Para lograr este objetivo es preciso realizar un balance hídrico para calcular las necesidades de agua del cultivo. La información que brinda el balance hídrico es usada no solamente en términos de planificación, si no con fines operativos, que incluyen la toma de decisiones, el monitoreo de las condiciones actuales del cultivo y la predicción de los rendimientos (Lamelas, 2004).

Tabla 10.1. Propiedades hidrofísicas de los principales suelos cañeros.

Agrupamientos de suelo	**% arena gruesa**	**% arena fina**	**% limo**	**% arcilla**	**Cc (%PSS)**	**Dr (g/cm³)**	**Da (g/cm³)**	**% PT**
F. Cálcicos	-	5,9	10,9	83,2	33,4	2,73	1,06	56,0
F. Cuarcíticos	2,1	77,3	9,6	11,0	21,8	2,68	1,35	49,6
Fers. Cálcicos	0,18	7,9	27,7	63,6	34,9	2,7	1,05	61,0
S. Cálcicos	0,5	19,8	18,5	61,2	30,9	2,67	1,18	56,0
Vertisuelos	0,3	13,2	14,0	72,5	53,6	2,82	0,95	69,1
G. Ferralitizados	-	5,9	13,7	80,4	32,5	2,64	1,15	56,5
G. Sialitizados	0,1	7,8	10,4	81,7	64,6	2,68	0,89	66,8
Ferritizados	2,1	41,7	18,4	37,8	28,9	2,8	1,12	65,8

Cc= Capacidad de campo. %PSS= % de humedad en base a volumen o peso de suelo seco. Dr= Densidad real. Da= Densidad aparente. PT= Porosidad total.

Tabla 10.2. Propiedades hidrofísicas del suelo en dependencia de la textura.

Textura del suelo	Cc (%PSS)	PMP (%PSS)	Dr (g/cm3)	Da (g/cm3)	PT (%)
Loam-arcillo-arenoso	25,3	12,9	2,88	1,58	44,2
Arcillo-arenoso	31,0	19,5	2,95	1,6	45,4

Franco-arcilloso	38,9	21,4	2,67	1,32	49,5
Loam-arcilloso	38,0	19,7	2,71	1,43	47,3
Arcilloso	49,3	20,4	2,65	1,17	55,9

Cc= Capacidad de campo. PMP= Punto de marchitez permanente. %PSS= % de humedad en base a volumen o peso de suelo seco. Dr= Densidad real. Da= Densidad aparente. PT= Porosidad total.

Variables que afectan el balance hídrico.

Para calcular el balance hídrico es necesario conocer las variables siguientes:

Transpiración: Agua que expulsa la caña de azúcar a la atmósfera en forma de vapor a través de los estomas.

Profundidad radical: Máxima profundidad que alcanzan las raíces de la caña de azúcar en dependencia de las condiciones del suelo.

Capa activa de raíces (Hr): Se refiere a la profundidad hasta donde se encuentran el 80% del total de las raíces de la caña de azúcar. En la Figura 10.2 se aprecia que la mayor cantidad de raíces se distribuyen en los 40 cm de profundidad y a cada lado del centro de la cepa.

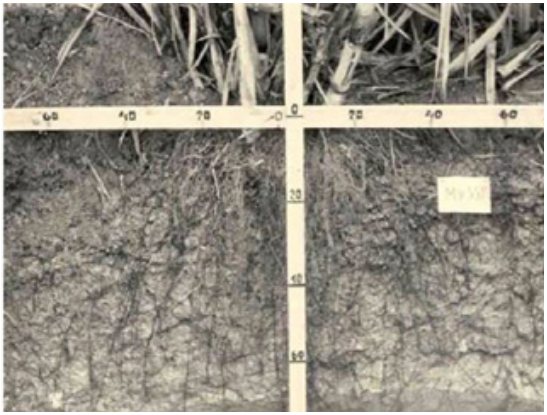


Figura 10.2. Distribución del sistema radical de la caña de azúcar (Variedad My55-14) con 12 meses de edad, suelo Ferralitizado Cálcico, de la Estación Experimental de Jovellanos, Matanzas.

Capacidad de campo: Contenido de humedad presente en el suelo luego de ser eliminada el agua en exceso por la acción de la gravedad. Varía de acuerdo a las características de los suelos. También la capacidad de campo (Cc) se refiere a la cantidad máxima de agua que

retiene el suelo sin afectar la porosidad de aireación después que ha cesado la percolación (se mide en % de humedad en base a volumen o peso de suelo seco, mm, m^3/ha o l/m^2).

Límite productivo: Es el valor de humedad en el suelo, al cual se considera que debe aplicarse el riego. El Límite productivo (Lp), será el límite mínimo de humedad del suelo a partir del cual las plantas se afectan, se reduce su desarrollo y disminuye significativamente el rendimiento. Equivale a la frontera inferior del agua del suelo fácilmente utilizable por las plantas (% de Cc). Los valores más usados están entre el 75% y 90% de la capacidad de campo de acuerdo al tipo de suelo y a la técnica utilizada.

Coeficiente de marchitez y punto de marchitez permanente: El coeficiente de marchitez se refiere al valor de la humedad en el suelo que determina se produzcan síntomas de marchitez. El punto de marchitez permanente ocurre cuando el contenido de humedad y su efecto es tal que no se produce la regresión al estado normal, si se aplica agua. También punto de marchitez es el nivel mínimo de humedad en suelo que toleran las plantas, por debajo del cual se marchitan primero temporal y después permanentemente.

Evapotranspiración: Es la cantidad de agua que se extrae del suelo por concepto de la transpiración del cultivo y por la evaporación del agua de la superficie del suelo. El consumo mensual de agua por parte de la caña de azúcar varía por día y por mes. Para cada día ocurren consumos entre 3,0 y 6,0 mm/día, dependiendo del estado de desarrollo de la caña de azúcar y las condiciones climáticas del mes.

Evapotranspiración de referencia: La evapotranspiración de referencia (Eto mm/día), es recomendado por la FAO para el cálculo de los requerimientos de riego de los cultivos, presenta los mayores valores en los meses de febrero, marzo y abril en las diferentes zonas. Su valor anual tiene una tendencia a aumentar de occidente al oriente del país, lo cual se indica en la Figura 10.3.

Norma de riego: Es la cantidad de agua que se aplica durante un riego para humedecer el suelo y satisfacer las exigencias hídricas de la planta durante un período determinado. Las normas de riego pueden ser parciales y totales, netas y brutas. Depende de la profundidad de la capa activa, de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y del límite productivo adoptado. En las condiciones de Cuba las normas

netas totales pueden llegar hasta 6 500 m^3 ha^{-1} en dependencia del tipo de suelo. La Figura 10.4 muestra las normas totales-netas-medias por provincias, para diferentes variantes de satisfacción de la demanda de agua. Se ratifica, la tendencia a aumentar los requerimientos de agua de la caña de azúcar hacia la zona más oriental del país.

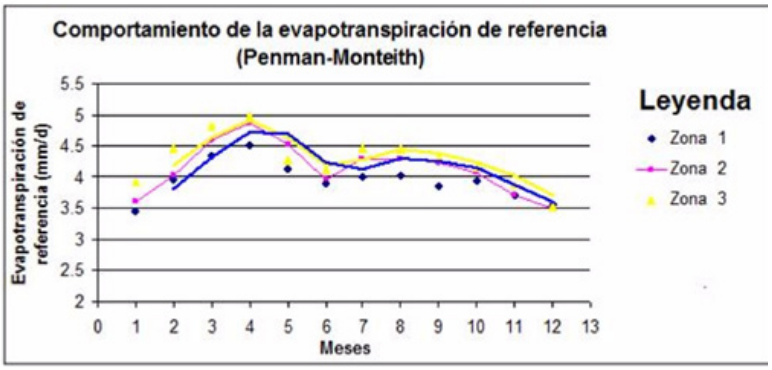


Figura 10.3. Comportamiento de la evapotranspiración de referencia mensual (Eto) en las tres zonas edafoclimáticas establecidas para el manejo del agua de riego en Cuba. Zona 1. Occidental. Zona 2. Central. Zona 3. Oriental.

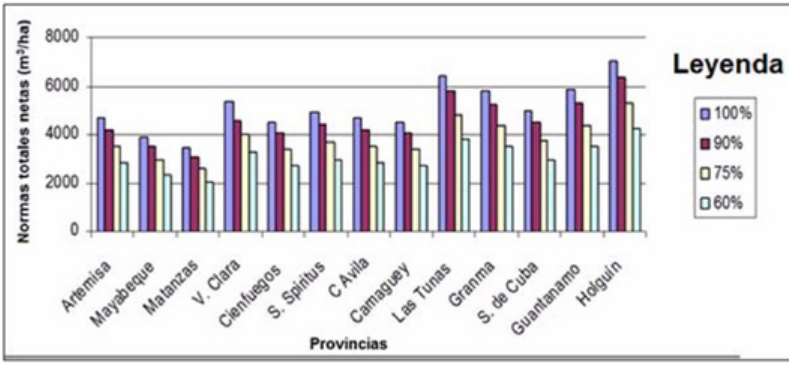


Figura 10.4. Norma de riego (media total neta en m3/ha) determinada para cada provincia del país para diferentes variantes de satisfacción de la demanda de agua.

Necesidades de riego.

Número de riegos: Es la cantidad de veces que es necesario aplicar la norma parcial para alcanzar la norma neta total de riego de agua.

Intervalo de riego: Es el tiempo en que el cultivo consume el agua aplicada en un riego y se determina por la relación entre la norma neta parcial (m^3) y la evapotranspiración diaria (Etd) cuando no ocurren lluvias. Como esta última es variable a través del ciclo vegetativo los intervalos de riego también serán variables ocurriendo los mínimos durante los meses de mayor evapotranspiración.

Técnicas de Riego más Empleadas en la Caña de Azúcar

En la caña de azúcar se explotan las diferentes técnicas de riego conocidas, según la demanda del cultivo, las condiciones edafoclimáticas de cada lugar y las fuentes de abasto disponibles. Las técnicas de riego más comunes actualmente en el país son el riego por superficie, por aspersión (máquinas de pivote central y enrollador) y riego localizado por goteo.

Riego por superficie.

El riego por superficie se caracteriza porque el agua fluye por el desnivel del terreno a lo largo de los surcos, cuando para lograr esta acción no se utiliza energía se le denomina riego por gravedad o por derivación. Existen diferentes modalidades del riego por superficie en caña de azúcar: Tradicional e ingeniero, este último puede ser por sifones, por espitas y tuberías perforadas. En la Tabla 10.4 se indican las ventajas y las desventajas de este método de riego.

Tabla 10.4. Ventajas y desventajas del riego por gravedad.

Ventajas	Desventajas
Bajo o nulo consumo de energía.	Baja eficiencia global del sistema, alto costo inicial y de explotación.
Idónea para suelos pesados y de mal drenaje.	Necesidad de mantenimiento sistemático, el cual resulta complejo y costoso.
	Baja productividad de los regadores.
	La red superficial requiere ser eliminada o reconstruida debido a que obstaculiza la mecanización de la cosecha.
	Peligro de encharcamiento y salinización de los suelos.

Tradicional por surcos: De la técnica de riego por superficie el método más utilizado en caña de azúcar es el riego por surcos (Figura 10.5). La aplicación eficiente de esta técnica depende de la adecuada nivelación del terreno, la que debe garantizar una pendiente promedio entre 0,2 y 0,6% en la dirección de los surcos. Con ella se ahorra agua, energía, fuerza de trabajo y se protegen los suelos. Se entrega y distribuye el agua en los surcos por medio de un azadón (guataca) o palas. La longitud de los surcos es variable, en la mayoría de los casos entre 250 y 500 m.

Figura 10.5. Riego por superficie (tradicional por surcos) en terreno de topografía casi plana y nivelado.

Sistema Ingeniero: Se nivela el suelo y se construyen obras de fábrica para facilitar el manejo del agua en el campo, creándose las condiciones para entregar y distribuir la norma de riego adecuadamente en los surcos por medio de aditamentos hidrotécnicos especiales.

Con sifones: Tubos plásticos de PVC u otro material generalmente de 50 mm de diámetro y 3 m de longitud que se van colocando sobre el talud del canal y suministran el agua de éste a los surcos, mediante el efecto sifón que se produce una vez que se ha iniciado el flujo del agua a través de la tubería. Cada sifón entrega un gasto fijo que depende de la diferencia de altura entre el nivel del agua del canal y la salida del sifón, en general se sitúa uno por surco. Para el riego por sifón el canal debe tener el comando necesario. Una vez suministrada a cada surco la cantidad de agua necesaria (según la norma a aplicar), el sifón se traslada a otra posición y así sucesivamente.

Con espitas: Tubos fijos instalados en el talud de un canal a una profundidad determinada por debajo del nivel de agua normal (NAN). Para su funcionamiento el canal se divide en secciones mediante compuertas a fin de garantizar el nivel de agua necesaria sobre las espitas, las cuales pueden ser de madera, aluminio, plástico, hierro, las más utilizadas son de plástico (PVC) generalmente entre 50 y 75 mm de diámetro.

Con tubería perforada: Consiste en una tubería que puede ser plástica (de pared fina) o de aluminio con perforaciones coincidentes con los surcos. Toman el agua de un canal secundario mediante una obra que propicia la carga necesaria. La regulación del gasto a cada surco debe hacerse mediante una válvula para que entregue el mismo gasto (Figura 10.6).

Figura 10.6. Riego por surcos utilizando tuberías de PVC perforadas en terreno nivelado y de topografía casi plana.

Con acorchados: Consiste en instalar una lámina de polietileno en los entresurcos que permiten trasladar el agua con facilidad a lo largo del surco y que posteriormente se infiltre por los microporos de la lámina. Con esta técnica los rendimientos son muy superiores al método tradicional, además de economizar agua y mejorar la eficiencia del riego. Se utiliza principalmente en suelos arenosos de alta velocidad de infiltración (Figura 10.7).

Figura 10.7. Riego por surcos utilizando acorchados de polietileno con micro-poros. A. Instalación del polietileno entre los surcos de caña. B. Conduciendo el agua sobre el acolchado a lo largo de los surcos.

Aspectos importantes para una buena explotación del riego por surcos

• El caudal por surco debe ser acorde a la pendiente, permeabilidad y longitud del mismo, de forma que no se produzca erosión y las pérdidas por vertimiento al final sean mínimas. Por lo que se debe emplear el mayor gasto posible según la textura del suelo. La longitud varía según el tipo de suelo y la pendiente.

• En suelos arcillosos pesados de poca pendiente la longitud óptima de los surcos es de 250-330 m, los caudales por surco deben estar entre 4-5 litros/segundo (l/s), regándose por surcos alternos, 1-3 en caña planta y 1-4 a 1-5 en las demás cepas.

• Algunos investigadores aconsejan aplicar el gasto máximo no erosivo hasta que el agua halla recorrido entre el 75-90% de la longitud total del surco y en este momento reducir el caudal al 50% hasta completar la norma de riego requerida por el cultivo.

• Un regador para trabajar eficientemente solo debe manejar un caudal que oscile entre 80 y 120 l/s. Además deben construirse correctamente la red de canales temporales y badenes, así como asegurar un uso adecuado del surco guía.

Acciones para lograr buena calidad y eficiencia en el riego superficial

• Antes del inicio de la campaña, se procederá a la revisión y acondicionamiento de la red de canales y obras de fábrica de cada sistema.

• Se deben realizar mediciones del caudal en distintos tramos del sistema, que permitan conocer en forma aproximada la efectividad en la conducción, desde la estación de bombeo u otra fuente de abasto, hasta el área a regar.

• Teniendo en cuenta el gasto (Q), el tipo de suelo, el relieve del terreno y la pendiente, los técnicos harán los cálculos necesarios para definir y establecer los indicadores siguientes: a) número de regadores, gasto y cantidad de surcos por regador; b) longitud de los surcos; c) tiempo de riego en cada surco y, d) variante más indicada posible para la entrega del agua a los surcos.

• Los valores establecidos por los indicadores que aparecen en la Tabla 10.4, servirán de referencia y se tendrán en cuenta para organizar el riego en cada bloque de caña, de acuerdo a la textura del suelo, la infiltración, pendientes de cada lugar, largo de los surcos y las condiciones del sistema de riego. La distribución del agua será mediante surcos o «guías de agua» y nunca mediante el aniego.

Tabla 10.4. Parámetros de diseño del riego por surcos en las condiciones de Cuba.

Textura del suelo	Infiltración Básica (mm/h)	Pendiente (%)	Longitud óptima (m)	Gasto óptimo (l/s)	Eficiencia de uso del agua (%)
Arcillosa	< 5	< 0,2	250	5	75-80
Arcillosa	< 5	0,2 – 0,6	500	5	70-75
Arcillo-limosa	5-25	0,2 – 0,6	300	4	60-70
Limo-arcillosa	25-50	0,2 – 0,6	200	3	55-65
Arcillo-arenosa	50-75	0,2 – 0,6	120	2	50-60

Es importante evitar los salideros y desbordes de agua en los canales, que causen encharcamientos, arrastres y derroches del preciado líquido. No se mantendrá la entrada de agua al campo, en ausencia del personal encargado de su manejo. En las áreas de riego por gravedad, el diseño y ejecución de la red de distribución en el bloque debe estar compatibilizada con la mecanización.

Aspectos que se identifican con la mejora del manejo del riego por surcos

En los suelos arcillosos se debe regar por surcos alternos, a partir del segundo riego, como vía para aumentar la eficiencia de aplicación, y reducir el consumo de agua. En la Tabla 10.5 se expone un resumen de las pruebas de riego para dos condicionales de suelos.

Tabla 10.5. Resultados de pruebas de riego por surcos alternos de caña de azúcar en dos tipos de suelos de características bien diferenciadas.

Manejo	Suelos	Ls (m)	Ds (m)	N (m^3/ha)	Ea	Productividad (ha/hombre/jornada)
Surco continuo	1	250	1,60	610	34	2,70
	2	333	1,60	820	57	4,30

Surco alterno	1	250	3,20	320	65	5,10
	2	333	3,20	540	87	6,70

Ls= Longitud surco. Ds= Distancia entre surcos. N= Norma parcial bruta. Ea= Eficiencia de aplicación. 1. Suelos Ferralitizados Cuarcíticos. 2. Suelos Vertisuelos. Fuente: Meneses (2000).

Recorte del caudal de agua

Representa una forma de manejo para evitar las elevadas pérdidas por escorrentías que se producen por el empleo de un caudal elevado. Se basa en el uso de un caudal mayor (no erosivo) durante la fase de avance y reducirlo tan pronto se complete una parte de la fase de avance del agua (podría ser un 75% de la longitud del surco). El caudal de recorte puede ser entre un 50 y un 70% del caudal inicial, en el caso de riego por sifones esto se maneja reduciendo el número de unidades o sifones en operaciones y en las tuberías con compuertas, cerrando parcialmente las mismas.

Riego por aspersión.

El agua se hace llegar al cultivo en forma de lluvia mediante el uso de dispositivos especialmente diseñados para ello, tales como: aspersores, toberas, sprays y otros. Estos dispositivos se alimentan con el agua a presión proveniente de una instalación de bombeo. Fonseca (2005) reporta que en Cuba existían 130 mil ha de riego por aspersión y en América Latina se estimaba que en ese momento el riego con esta técnica alcanzaba el 10%. El tamaño grande de las gotas de agua, en los sistemas de aspersión mal concebidos o regulados, degrada la estructura del suelo, lo compacta y lo hace susceptible a la erosión y encharcamientos (Tarjuelo, 2005).

Este método incluye las técnicas de aspersión por enrolladores y máquinas de riego de pivote central.

Riego por aspersión con enrolladores.

Durante décadas los aspersores de alta carga predominaron en la industria azucarera tecnificada de los países más avanzados, perfeccionándose en la actualidad con los enrolladores (Figura 10.8).

Figura 10.8. Enrollador utilizado para realizar el riego por aspersión en la caña de azúcar.

Principales ventajas del método de riego por aspersión usando enrolladores

- Adaptable a cualquier topografía del terreno.
- Rápido montaje y desmontaje.
- Posibilidad de aplicar riegos con normas reducidas y cubrir mayor área debido a su elevada versatilidad.

Desventajas del método de riego por aspersión con enrolladores

- Consumo elevado de energía.
- Relativa alta demanda de fuerza de trabajo manual.
- Efecto negativo del viento, que se agudiza a determinadas horas del día.
- Altos costos de inversión, con valores entre 1 500-2 000 pesos/ha.

Riego con máquinas de pivote central.

Las máquinas de riego de pivote central se desplazan de forma circular. Estas pueden tomar el agua de un canal revestido con pendiente cero o de un pozo. El área regada por una máquina oscila entre 80-200 ha, por la fuente motriz pueden ser: eléctricas o hidráulicas (Figura 10.9).

Figura 10.9. Riego por aspersión con máquina de pivote central.

Ventajas del riego por máquinas

- Alta eficiencia (90-95%) y buena uniformidad de aplicación.
- Posibilidad de aplicar normas reducidas.
- Notable ahorro energético por trabajar a menor presión (20-25% menos que la aspersión de alta carga).
- Facilidad para la electrificación y automatización.
- Humanización del trabajo de los regadores.
- Alta productividad de la fuerza de trabajo (0,8-1,0 ha/hora/hombre).
- Permite satisfacer los requerimientos de agua de la caña y aplicar fertilizantes y herbicidas sin costo adicional.
- Bajo costo de explotación (15,08 pesos/ha).
- Se obtienen altos rendimientos de caña.

Desventajas del riego por máquinas

• Alto costo de inversión entre 1 500-2 000 pesos/ha.

• Requiere usarse con cuidado cuando la velocidad del viento es alta.

• Hay pérdidas significativas de agua cuando actúan, conjuntamente, alta radiación solar, temperatura elevada y viento de > 10ms en caña que no haya cerrado.

• Tienen limitaciones su empleo en terrenos de topografía irregular y en cuanto a la conformación geométrica del área.

• Exige un mantenimiento riguroso con personal altamente capacitado.

Riego localizado.

Mediante este método se aportan pequeños volúmenes de agua mezclada con fertilizantes que se distribuyen localmente en la zona donde se concentran la mayor cantidad de raíces de la planta y se mantiene una humedad adecuada durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo, por lo que se requiere una mayor frecuencia de riego.

En el caso de la caña de azúcar los mejores resultados se han obtenido mediante una cinta de cámara colocada en el fondo del surco antes de efectuar la siembra. Esto posibilita un gran ahorro de agua al irrigarse las zonas ocupadas por la mayor concentración de raíces.

La conducción del agua hasta la cinta se hace mediante un sistema de tuberías soterradas, generalmente plásticas (PVC), cuyos diámetros y distribución están en dependencia de las dimensiones y estructura del área a regar. Las mismas pueden tener una durabilidad de más de 10 años a profundidades de hasta 35 cm. con presiones de 0,3 a 1,0 atm. (Figura 10.10).

Figura 10.10. Instalación de un sistema de riego localizado por goteo subsuperficial.

El riego localizado es empleado con éxito en el cultivo de la caña de azúcar en diversos países. En Cuba se han obtenido resultados altamente positivos (Tabla 10.6), siendo un método de buenas perspectivas para utilizarlo a escala de producción comercial y donde el abasto de agua no sea muy abundante.

Tabla 10.6. Rendimientos agrícolas obtenidos en áreas con riego por goteo en Cuba. Unidades Básicas de Producción (UEB) A. Lincoln, Ciro Redondo y A. Colina, en las provincias de Artemisa, Ciego de Ávila y Granma respectivamente.

Cepas	cantidad de cosechas	Edad promedio (meses)	Rendimiento medio caña t ha^{-1})
Plantas	3	18 - 20	218
Retoños	14	12 - 13	119

Fuente: Lamelas (2011).

Ventajas del riego por goteo

- Posibilidad de empleo en zonas con déficit hídrico.
- Alta eficiencia de aplicación del agua (90-95%)
- No presenta limitaciones con el relieve del terreno, ni con el tipo de suelo.
- Bajo consumo de agua y energía
- Fácil explotación y automatización, poca complejidad de operación.
- Bajo costo operativo (7,93 pesos/ha).
- Aumento de la productividad de los regadores y humanización del trabajo.
- Permite el fertirriego efectivo sin costo adicional.
- Se necesita menos volumen de agua para producir una tonelada de caña.
- Se obtienen altos rendimientos agrícolas.
- Es más compatible con una agricultura sustentable

Desventajas del riego por goteo

• Se requiere agua totalmente limpia, para lo cual hay que emplear adecuados sistemas de filtrado, porque se pueden obstruir los orificios de entrega debido a partículas de arena, limo, materia orgánica (algas), así como precipitación de fertilizantes.

• Mayor costo de la inversión inicial con respecto a otras técnicas (2 500-3 000 pesos/ha) aunque la misma se recupera entre 2-4 años.

• Se requiere colocar cintas a las profundidades adecuadas de acuerdo al tipo de suelo para que no se limite el desarrollo radical de la caña, ni se afecte la instalación con las máquinas con cosechadoras (combinadas).

Índices Técnicos para Seleccionar las Tecnologías de Riego

Para el productor cañero resulta de vital importancia la selección correcta de la técnica de riego que debe emplear de acuerdo a las características del área que desea regar, lo que permite mejorar la efectividad del riego y altos volúmenes de producción de caña. Se pueden seleccionar técnicas que presentan características comunes con la zona y elegirse entre ellas las que mayor efecto económico brinde (Tabla 10.7).

Tabla 10.7. Parámetros utilizados para la selección de las técnicas de riego a emplear en el cultivo de la caña de azúcar.

Técnica de riego	Pendiente (%)	Vi (mm/hora)	NPB (m^3/ha)	Velocidad del viento (m/s)	Profundidad Efectiva (cm)
Goteo	-	-	-	-	-
Gravedad	0,2-0,6	5-50	-	-	35-50
Aspersión	≤ 1,0	50-100	< 500	< 3,0	-
Máquinas	≤ 2,0	50-100	< 500	3,0-5,0	-

Vi: Velocidad de infiltración. NPB: Norma parcial bruta.

Pronóstico de Riego

Procedimiento para determinar la fecha en que es necesario aplicar el riego y la magnitud de la norma parcial requerida, lo cual permite explotar los sistemas con la calidad requerida, obtener mayores rendimientos por unidad de volumen de agua aplicada, entregar el agua en la cantidad requerida y en el momento oportuno, incrementar el aprovechamiento de la lluvia en la etapa de riego, contribuir al ahorro de agua, energía y fuerza de trabajo. El momento en que el riego debe aplicarse es variable con la época de siembra (etapa de desarrollo del cultivo), tipo de suelo, técnica de riego empleada y condiciones climáticas.

Métodos para determinar la fecha de riego.

Método de intervalos fijos: En el proyecto de explotación se prefijan los intervalos a utilizar según un estudio estadístico de probabilidades de ocurrencia de la lluvia y los requisitos del cultivo. No se consideran algunas variaciones en el comportamiento de la planta, ni las características del año en curso con relación al año seleccionado por proyecto, por lo que a menudo el riego se aplica en exceso o en defecto. Este método es más efectivo en climas áridos, donde el riego es el único aporte de agua a las plantas y las condiciones climáticas son muy similares de un año a otro.

Riego por la humedad presente en el suelo: Es el método más preciso y consiste en determinar la humedad presente en el suelo, la cual se puede medir con el uso de sondas de neutrones, tensiómetros, resistencia eléctrica, o mediante muestreo gravimétrico. Este método es el más exacto, pero el más caro y más trabajoso para su extensión a grandes áreas de regadío. En muchos casos se utiliza como método de control.

Métodos biológicos: Se basa en el estado fisiológico de las plantas. En ellas se observa la respuesta de determinados órganos a la falta de humedad para determinar el momento del riego.

Métodos bioclimáticos: Se basa en la relación existente entre la evapotranspiración del cultivo (consumo de la planta + evaporación del suelo) y uno o más elementos climáticos. Los que más se utilizan mundialmente son la evaporación de una superficie libre de agua, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la radiación solar. En la caña de azúcar el más utilizado es la evaporación del tanque evaporímetro Clase A.

En Cuba los resultados de las investigaciones han demostrado que la evaporación es un elemento que ofrece buena correlación con la necesidad hídrica de los cultivos, siendo el método que está generalizado para determinar el momento de riego (pronóstico de riego) para la caña de azúcar.

El pronóstico de riego se fundamenta en la ecuación de balance hídrico, la cual puede ser simplificada por un balance de entradas y salidas (ingresos y egresos). La ecuación se puede simplificar como sigue:

$$D = ETr - LLa - N$$

Dónde:

D=Déficit de humedad presente en el suelo (m^3/ha). Diferencia entre la reserva máxima y la reserva de humedad inicial en el suelo.

ETr=Evapotranspiración real (m^3/ha)

N=Norma neta parcial de riego (m^3/ha)

Lla=Lluvia aprovechable (m^3/ha)

La Etr constituye el elemento fundamental en la ecuación de balance, ya que presenta el consumo de agua del cultivo y se determina por la ecuación:

Etr=Eo x Kc

Dónde:

Eo=Evaporación del tanque evaporímetro clase "A".

Kc=Coeficiente bioclimático que representa la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evaporación. Según plantean Lamelas y Roque (2012) se determina experimentalmente por decenas, relacionando los Kc por fases de desarrollo de la caña de azúcar, cepas y regiones del país (Tabla 10.9)

Tabla 10.9. Coeficientes de cultivo (Kc) por cepas, fases de desarrollo y condiciones climáticas.

Etapa de desarrollo	Cepa	Región occidental	Hab.	Mtzas, Cfgos y S. Sp.	V. Clara, C. de Ávila y Camagüey	Región Oriental
Brotación	Planta	0,42	0,40	0,55	0,41	0,50
	Retoño	0,49	0,45	0,47	0,98	0,43
Cierre de campo	Planta	1,07	1,01	1,11	0,90	1,03
	Retoño	1,04	0,97	0,98	0,79	0,90
Auge de crecimiento	Planta	1,14	1,07	1,17	1,10	1,05
	Retoño	1,29	1,17	1,28	1,21	1,13
Maduración	Planta	0,79	0,71	0,90	0,87	0,88
	Retoño	0,97	0,96	0,78	0,95	0,74

Drenaje. Caracterización y Categorización de los Problemas de Drenaje Superficial y Subsuperficial. Recomendación de las Tecnologías

Un problema importante y extendido lo constituye el mal drenaje, asociado generalmente a suelos con presencia de hidromorfía. La caña de azúcar necesita de una adecuada relación entre el aire y el

agua presentes en el suelo para expresar a plenitud todo su potencial productivo. Cuando el exceso de humedad sobrepasa los 3 días consecutivos (tiempo permisible de inundación de este cultivo) se entorpece el normal desarrollo de la plantación, sobre todo si esto ocurre en las etapas de brotación y ahijamiento.

El mal drenaje ocasiona pérdidas entre 5 y 20% del rendimiento agrícola en dependencia de la gravedad del problema. Las afectaciones pueden ser superiores al 30% cuando el encharcamiento se produce en los primeros meses durante la germinación y el ahijamiento, por otra parte también degrada la estructura del suelo, favorece la salinización, afecta en general las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y crea serios problemas para el trabajo de la maquinaria.

En la agricultura cañera cubana existen áreas de suelos afectadas por mal drenaje, ubicados mayormente en las zonas bajas y cercanas a las costas. Con frecuencia, los problemas de mal drenaje se encuentran asociados a la salinización secundaria; lo cual repercute en pérdidas significativas de rendimientos, reducción de la durabilidad de las cepas, degradación acelerada de las tierras y pérdidas crecientes de su productividad y fertilidad, asociadas a otros fenómenos negativos que causan grandes perjuicios económicos y ambientales.

Los problemas de mal drenaje superficial y subsuperficial o interno de los suelos requieren tratamientos diferentes desde el punto de vista práctico y demandan soluciones tecnológicas distintas. Cuando se trata del drenaje asociado al área plantada (campo y bloque de caña) se denomina «drenaje parcelario».

Principales causas asociadas con el mal drenaje

- Propiedades físicas del suelo desfavorables.
- Presencia de capas impermeables en el perfil del suelo.
- Cuantiosas e intensas precipitaciones.
- Relieve llano acompañado de poca pendiente.
- Existencia de un manto freático alto.
- Degradación de la estructura del suelo por exceso de laboreo y mal manejo.

Efectos beneficiosos del drenaje

- Mejorar las condiciones de aireación y temperatura del suelo, beneficiando el desarrollo radicular y la brotación.
- Evitar el encharcamiento, limitando el proceso de salinización del suelo y la reducción de la población por falta de oxígeno en las raíces de la caña.
- Ampliar el periodo de cosecha y mejorar la ejecución de las labores mecanizadas al disminuir la humedad excesiva en un plazo breve de tiempo.
- Facilitar la madurez uniforme de la caña, con el consecuente aumento de los rendimientos azucareros.

El drenaje parcelario puede garantizar, incrementos de rendimientos agrícolas que pueden fluctuar de 30 a 50% en relación con los suelos mal drenados que no tengan construido el sistema, además contribuye a aumentar la vida útil de las cepas de caña.

Caracterización y categorización de los problemas de drenaje.

Antes de acometer cualquier acción en las unidades de producción es importante caracterizar y categorizar los problemas de drenaje de las áreas cañeras, mediante la recopilación de estudios e informes existentes y reconocimiento de campo.

La categorización se realiza tomando como base la pendiente del lugar y la velocidad de infiltración (Tabla 10.8).

Tabla 10.8. Categorización del drenaje superficial mediante la velocidad de infiltración del agua y la pendiente del terreno.

Pendiente (%)	**Velocidad de infiltración (mm/día)**				
	< 1	**1-5**	**5-10**	**10-20**	**> 20**
< 0,1	PD	PD	ID	MD	MD
0,1-0,3	ID	ID	MD	BD	BD
0,3-0,5	ID	ID	MD	BD	BD
0,5-0,7	ID	ID	MD	BD	ED
>0,7	MD	MD	BD	ED	ED

P=Pobre. I=Insuficiente. M=Moderado. B=Bueno. E=Excesivo. D=Drenado.

Tecnologías de drenaje para las áreas cañeras.

En función de los problemas que se presenten en cada unidad, área o bloque específico, se utilizarán las tecnologías de drenaje y las posibles combinaciones siguientes:

Drenaje elemental: Tipo de drenaje superficial de trazado irregular, que conecta las depresiones naturales del terreno mediante badenes o zanjas de poca profundidad y taludes inclinados; de forma que no obstaculicen el tránsito de la maquinaria agrícola. No requiere ninguna labor complementaria de modelación de la superficie del suelo (alisamiento o nivelación) y es descargado finalmente en la red de drenaje mayor (drenajes colectores).

Nivelación básica: Conformación de la superficie del suelo, destinada a garantizar el escurrimiento del agua excesiva e impedir su estancamiento en las microdepresiones y vaguadas naturales del terreno. Se ejecuta con maquinaria pesada de movimiento de tierra, rellenando las partes bajas y alisando las partes altas; de manera tal de lograr una pendiente uniforme y continua en la dirección de los surcos de riego y drenaje. Requiere de levantamiento topográfico a escala igual o mayor de 1:2000 y proyecto técnico–ejecutivo; constituye una inversión para el fomento o la reposición de las áreas cañeras en suelos de mal drenaje. El uso de equipamiento láser puede contribuir a abaratar y garantizar buena calidad en el trabajo.

Alisamiento: Conformación de la superficie del suelo realizada con land plane, destinada a emparejar micro-depresiones y micro-alturas no mayores de 5 cm. Requiere de levantamiento topográfico a escala igual o mayor de 1:2000, no demanda de proyecto técnico–ejecutivo; puede constituir en algunos casos el trabajo final o de terminación de la nivelación básica.

Drenaje sistemático horizontal: Red de canales de drenaje, caracterizada por una distribución uniforme en el área drenada. Para la caña de azúcar, generalmente dicha red se encuentra asociada a la unidad de manejo (bloque o campo), el espaciamiento entre canales, zanjas y badenes es múltiplo o coincide con el trazado de las guardarrayas y los viales.

Badenes: Canales terciarios (secadores) de drenaje superficial, que colectan el agua remanente de las lluvias o el riego directamente de los

surcos. Se construyen transversalmente a la dirección de la máxima pendiente, y su espaciamiento es de 100-125 m para suelos areno arcillosos y de 250 m o superior para los arcillosos.

Zanjas estacionales: Zanjas de drenaje de poca profundidad, que se tapan antes de cada cosecha y se rehabilitan una vez concluida ésta.

Banco o cantero, semibanco: Soluciones de drenaje superficial para suelos arcillosos pesados, consistentes en la plantación de la caña en un camellón conformado con implementos especiales y flanqueado por surcos "muertos"; hacia los que escurre el agua excesiva con destino a los badenes. La altura del banco o cantero es de 20-30 cm sobre el suelo, y la separación entre surcos muertos de 1,60 m. Esta solución se orienta en el sentido de la mayor pendiente.

Drenaje vertical: Soluciones de drenaje mediante pozos absorbentes o de bombeo; y destinadas a aliviar la carga a presión de los acuíferos confinados, que produce el ascenso del nivel freático con el consecuente sobre-humedecimiento del perfil del suelo. La situación de mal drenaje que origina la necesidad de estas medidas es muy poco frecuente en Cuba.

Subsoladura profunda: Practicada a más de 60 cm de profundidad, utilizando implementos provistos de dos o tres rejas acoplados a tractores de 120 HP de potencia o más. Esta medida se utiliza frecuentemente para favorecer el movimiento del agua freática hacia las tuberías o canales de drenaje subsuperficial, en suelos arcillosos pesados de muy baja conductividad hidráulica.

Aradura profunda: Medida dirigida a elevar hacia la superficie un subsuelo de mejor calidad, realizando el volteo de las capas del subsuelo hasta 60 cm de profundidad como mínimo. Requiere de arados especiales de una reja y de suelos con muy buena profundidad de la capa arable.

Aflojamiento profundo: Labor similar a la aradura profunda y que se ejecuta con arados especiales de desfonde, caracterizados por su robustez y gran tamaño. Puede llegar a alcanzar hasta los 80 cm de profundidad según las características de los suelos.

Drenaje topo: Se refiere a una galería practicada en el subsuelo, a una profundidad de 0,40-0,60 m, destinada a eliminar las capas freáticas "colgadas" procedentes del sobre-riego o la lluvia y que conduce el agua hasta un emisor de drenaje abierto o soterrado. El drenaje topo se ejecuta con un arado especial provisto de un cuerpo cilíndrico (obús) que va conformando el conducto en el subsuelo en el sentido de la surquería, y requiere de carac-

terísticas especiales del suelo en cuanto al contenido de arcilla; que deberán definirse puntualmente mediante análisis previos de la textura.

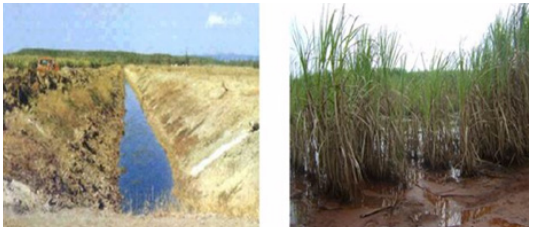
Sobredosis de riego: Como tal se entiende la lámina de riego que excede la magnitud de la norma parcial neta para la condición edafoclimática y cultural específica; destinada a lixiviar las sales en exceso del perfil del suelo de manera paulatina. Para que esta técnica sea efectiva se requiere de sistemas de drenaje subsuperficial que evacuen las sales lixiviadas.

Lavados capitales: Técnica de recuperación de suelos fuertemente salinizados; basada en la inundación de la superficie del terreno en terrazas con láminas de al menos 30 cm de agua, con el objetivo de lixiviar las sales hasta límites que no afecten el normal desarrollo del cultivo. Requiere de sistemas de drenaje subsuperficial de gran profundidad (> 2 m) que evacuen las sales lixiviadas.

Drenaje temporal abierto: Tipo de canales de drenaje de 0,80-1,00 m de profundidad, que se construyen con carácter temporal para acelerar la remoción de las sales y el agua de drenaje durante los lavados capitales.

Métodos de drenaje.

Los métodos de drenaje más usados en caña de azúcar son los superficiales y los agrotécnicos. La nivelación es un elemento imprescindible para el drenaje superficial de grandes extensiones agrícolas con relieve llano y poca pendiente. En la Figura 10.11 se puede observar un canal de drenaje y los efectos que produce la acumulación de agua por varios días en la caña de azúcar. Cuando el problema de drenaje es muy complejo se hace necesario utilizar técnicas de drenaje combinado que requieren de tecnología especializada como el drenaje parcelario.



A B

Figura 10.11. A. Canal de drenaje. B. Campo de caña afectado seriamente por los efectos del mal drenaje (inundación por más de tres días).

Drenaje parcelario.

El drenaje parcelario tiene como objetivo evacuar, el agua excesiva que se acumula en el perfil de suelos poco permeables y a veces se encharca, produciendo afectaciones en el desarrollo de la planta y cuando los períodos son más prolongados, la muerte. Mediante la nivelación y la construcción de canales y obras de fábrica se facilita que la acción de la gravedad mueva el agua excesiva de los campos caña hacia las zonas más bajas para evacuarla a través de vaguadas, arroyos, canales de mayor orden o ríos.

La construcción del drenaje facilita la creación de un ambiente favorable para el crecimiento radicular y como consecuencia el normal desarrollo de la caña. Al determinar la apropiada proporción de agua y aire en el suelo, elimina la principal causa de muerte de las cepas, en aquellos suelos de mal drenaje natural y evita el empantanamiento, limitando el ascenso de las aguas subterráneas mineralizadas que pueden provocar la salinización de los suelos con sus graves consecuencias. Los suelos más afectados son los arcillosos, donde predominan las arcillas del tipo 2:1 ubicados en las zonas más bajas, por lo regular llanos y con muy poca pendiente.

El drenaje superficial parcelario ingeniero consiste en la ejecución de una red de drenaje que va desde el badén, encargado de evacuar el agua excedente proveniente de los surcos, hasta el secundario de drenaje, que la conducirá hacia los canales vertedores, ubicados fuera del bloque cañero. Incluye también la rectificación del micro-relieve del área, mediante trabajos de nivelación con máquinas especializadas en movimiento de tierra, así como la construcción de un número de obras de fábricas que facilitan la utilización de viales, ejecución del riego y el movimiento de los equipos agrícolas. El mantenimiento de los canales de la red mayor es fundamental para que funcione eficientemente todo el sistema.

Requiere de máquinas especializadas y recursos materiales y técnicos, determinados por los proyectos, que generalmente integran los sistemas de riego y drenaje. El drenaje superficial ingeniero se puede ejecutar en los bloques cañeros, independientemente de si tienen riego o no, así como de la técnica de riego que se utilice.

Drenaje parcelario no ingeniero.

Esta es una solución temporal para los bloques cañeros, que en la fecha de plantación no pueden ser beneficiados por el drenaje parcelario ingeniero. Mediante esta solución se puede evacuar una buena parte del agua excesiva y obtener considerables aumentos de los rendimientos agrícolas. Su simple ejecución, con un mínimo de equipos de construcción y recursos materiales, resuelve parcialmente los efectos dañinos del sobre-humedecimiento y los encharcamientos.

Se aplica la nivelación del terreno con el uso adecuado del land plane, que aunque no elimina todas las depresiones y micro-alturas del área, la mejora notablemente, facilitando la evacuación del agua excesiva por los surcos. El uso de zanjeadores contribuye a evacuar el agua localizada en zonas más bajas y hasta con un arado de vertedera tirado por bueyes se puede lograr en muchos casos.

La red de badenes, terciarios y secundarios de drenaje tienen igual concepción y trazado que en la solución definitiva, excepto que los badenes de drenaje deben ser espaciados de forma específica para cada caso en particular, con vistas a compensar las deficiencias de la nivelación.

Nivelación del terreno.

La nivelación del terreno para el drenaje superficial consiste en la conformación de la superficie del mismo, cortando, rellenando y alisando con el fin de lograr superficies planas continuas, sin cambios de pendientes que puedan afectar el movimiento del agua.

La nivelación es una operación costosa y compleja que debe realizarse sólo una vez con maquinaria especializada (Figuras 10.12 y 10.13), cuidando de no afectar la disposición de las capas del suelo para evitar las pérdidas de la fertilidad, por lo que se deben tener en cuenta las características físicas y la profundidad de los suelos, que se someterán a estos trabajos.

La nivelación básica debe efectuarse con el suelo seco sin roturar, para lograr la máxima productividad de la maquinaria, evitar la degradación y la excesiva compactación por el traslado continuado de

las máquinas de movimiento de tierra sobre el terreno. La nivelación láser desarrollada en las últimas décadas ha dado muy buenos resultados por la calidad del trabajo que se realiza.

A B

Figura 10.12 Niveladora láser con eyector. A. Modelo NLE-10 con compuerta. B Modelo NLE-10 con tráiler para transmisor láser. El diseño de esta generación de niveladoras permite cortar, cargar y transportar la tierra.

A B

Figura 10.13. Alisadoras láser sin eyector. A. Modelo Al-10. B. Modelo Al-10 con tráiler para transmisor láser, diseñadas especialmente para operaciones finales de remodelación de un campo y para mantenimiento de áreas micro-niveladas.

Mantener la red de drenaje de los campos de caña permite:

• Ampliar el período pico de las siembras al inicio de primavera, disminuyendo notablemente las pérdidas ocasionadas por exceso de humedad.

• Lograr incrementos del 30-50% en los rendimientos de las áreas beneficiadas.

• Aumentar la vida útil de la cepa, al menos uno o dos cortes, esto significa un mínimo de 69,15 pesos/ha/año de ahorro en gastos de fomento y representa 20-40% menos de siembras anuales.

Los costos aproximados de las labores de drenaje son:

• Alisamiento con land-plane: entre 150-200 pesos/ha.
• Nivelación: entre 500-700 pesos/ha.
• Drenaje parcelario: entre 700-1 100 peos/ha.

Estimados, Programación de Corte y Cosecha

Luis Humberto Soler Figueroa
Yoel Betancourt Rodríguez
Hipólito Israel Pérez Iglesias

Los eslabones finales de la cadena productiva de la caña de azúcar, centran su atención en aspectos importantes y que requieren de un elevado nivel de organización y sincronización, para lograr extraer, el máximo de azúcar acumulada en los tallos de caña que son llevados al central como materia prima, para la fabricación de azúcar y que los resultados finales; indicador por el que se mide todo el esfuerzo realizado en la larga cadena del proceso productivo (toneladas de azúcar producidas) no sean bajos.

Estimados

El primer paso que se realiza de este proceso, es el estimado de la cantidad de toneladas de caña, con que se cuenta para realizar la zafra, a partir del cual se planifica el resto de las operaciones. En la realización del mismo se conjugan múltiples factores fitotécnicos, edáficos y climáticos.

Desglose del estimado.

De acuerdo con el destino de la caña, el estimado se desglosa en:

Molible: Corresponde con la caña destinada a «moler» en la zafra.

No molible: Corresponde con la caña planificada a «dejar quedar» para la zafra siguiente, la destinada a «semilla» a utilizar en la plantación y cañas para otros usos.

Confección del estimado.

Se confecciona en tres momentos diferentes y cada uno con objetivos propios:

Estimado de junio 30: Tiene carácter preliminar, ofrece un pronóstico sobre la disponibilidad de caña a moler y sirve de base para el pre-plan de zafra. Se debe elaborar la estrategia mensual de cortes para conocer posibles desfases de acuerdo a la arrancada del central y así adelantar o atrasar ésta para mejorar los desfases.

Estimado de septiembre 30: Es el más importante, es definitivo. A partir del mismo se elabora el plan de zafra y la estrategia mensual de corte.

Estimado rectificado de febrero 28 o 29: Con este estimado se mide el comportamiento del estimado oficial de septiembre y se hacen los ajustes necesarios a la organización de la zafra, para su continuación y culminación. También se precisa y ordena la caña a dejar quedar para la próxima zafra.

Caña a dejar quedar.

El programa para dejar quedar la caña tiene que responder al objetivo de lograr materia prima con la calidad necesaria, para comenzar la zafra en noviembre-diciembre, preservando los fríos y retoños para el período óptimo (marzo-abril 15). El área a dejar quedar, estará determinada en cada Unidad Productora por centro de recepción y frente de corte, de acuerdo con las características de los suelos. El objetivo es lograr altos rendimientos agrícolas en el área cosechada con el incremento de la edad de corte, con lo cual se alcanza mayor producción de caña y azúcar, así como estabilidad en los niveles de producción y reducción del costo.

Control del estimado.

Durante la ejecución de la cosecha se realiza un riguroso análisis del comportamiento del estimado oficial en cada campo cosechado, comparando el rendimiento real obtenido por cepas y variedades con

el rendimiento estimado. Se realiza con frecuencia decenal, tomándose los valores parciales y acumulados de la caña cortada. Estos resultados permiten valorar la disponibilidad de caña y su relación con el volumen de azúcar a producir, así como establecer prioridades en la cosecha de las diferentes cepas y variedades.

Liquidación de estimados.

Cuando concluye la cosecha, se procede a reflejar los resultados reales obtenidos en las áreas cosechadas, con el mismo nivel de detalle que se confeccionó el estimado de septiembre 30. Se cuantifica la producción total de caña, que comprende la caña molida, la dejada para la próxima zafra y la semilla utilizada y por utilizar.

Programación de Corte

La programación de corte consiste en ordenar la cosecha atendiendo al período de mayor potencial azucarero de las variedades de caña, para lo cual se parte de la influencia que ejercen los factores variedad, cepa, edad y suelo (INICA, 2007).

Una vez confeccionada la estrategia mensual de cortes, a los bloques programados para cada mes, con 8 a 10 días de antelación, se realiza el muestreo de cañas para determinar el grado de madurez, mediante el brix refractométrico, de esta forma se puede establecer un orden de corte, para cada decena, priorizando los bloques que presenten mayor contenido de azúcar. Se conocen dos métodos: la determinación del índice de madurez (IM) por el brix superior e inferior y la determinación del brix superior (entrenudo +7), ya que hay alta correlación entre el brix del entrenudo +7 y el IM de la caña. Es considerable la cantidad de azúcar que se obtiene con el mismo volumen de caña por el solo hecho de programar los cortes de acuerdo a la madurez de las cañas, por tanto es importante que los productores estén muy atentos para que este programa no se viole.

Para determinar el entrenudo +7 (Figura 11.1), se comienza a contar de arriba hacia abajo, la hoja del primer dewlap visible se corresponde

con el primer entrenudo que está en desarrollo (hoja +1) por tanto la hoja +7 es la que corresponde al entrenudo +7 (Van Dillewijn, 1973).

Figura 11.1. Reconocimiento del entrenudo +7 en un tallo de caña de azúcar.

Estrategia de corte.

La estrategia de corte consiste en ordenar la cosecha, atendiendo al período de mayor potencial azucarero de la caña, para lo cual se parte de la influencia que ejercen los factores: variedad, cepa, edad y suelo, los que constituyen los fundamentos técnicos para confeccionar el programa de corte. La cosecha de las distintas cepas, se programarán teniendo en cuenta el comportamiento local de los períodos óptimos, que generalmente son:

- Cañas quedadas: Desde el inicio de zafra hasta el 28 o 29 de febrero. Dentro de las quedadas, se priorizan las re-quedadas y los retoños quedados, posteriormente las primaveras quedadas.
- Cañas de frío: Desde el 15 de enero hasta el 15 de marzo.
- Primaveras del año: Desde marzo hasta finales de zafra.
- Retoños del año: Durante todo el período.

En general es deseable que la edad media de corte del total de las cepas esté entre 13 y 14 meses.

Período de zafra.

Se considera que una zafra es eficiente, cuando se logra el mayor volumen de producción de toneladas de azúcar, con la menor cantidad de toneladas de caña molidas, para lo cual es importante enmarcar la cosecha, para realizarla, durante el período óptimo de rendimiento azucarero de los cultivares plantados, de manera que partiendo de una disponibilidad de caña a moler y conociendo el comportamiento decenal y acumulado, del rendimiento de cada ingenio, se pueda planificar el menor período para realizar la zafra.

Uso de desaceleradores de crecimiento.

El objetivo central de la aplicación de desaceleradores de crecimiento es adelantar la maduración y disponer durante más tiempo de materia prima con indicadores de calidad superiores para la industria, lo que a su vez permite mejor ordenamiento de la cosecha con aprovechamiento más racional de los medios que participan y otros efectos colaterales como la reducción de materias extrañas y efectividad de la transportación. Para el productor es importante cosechar la caña, con un incremento de la madurez, debido a la aplicación de maduradores, inversión relativamente baja, de rápido reembolso y elevadas ganancias.

Los desaceleradores de crecimiento más generalizados en el mundo, son productos de acción herbicida que se aplican sobre la caña a bajas dosis para reducir el crecimiento y acelerar la madurez en la fase final del cultivo, sobre todo cuando las condiciones del clima (humedad y temperatura) no son del todo favorables para la maduración natural. La acción del desacelerador de crecimiento está dirigida en lo fundamental al tercio superior del tallo y no al extremo basal donde por lo general la maduración se alcanza temprano.

La experiencia acumulada en los últimos años ha permitido incrementar el uso de desaceleradores de crecimiento en Cuba. Se han obtenido buenos resultados con la aplicación sola o combinada de los productos: Fusilade CE 12.5 y Arrow CE 24 (clethodim), Glifosato, Glifosato + Finale (a menor dosis que aplicados solos) y Finale solo, Ethrel o Flordimex (etefon).

La aplicación de maduradores es una actividad que requiere esmerada atención del equipo técnico de la unidad productora, a la vez que beneficia el rendimiento azucarero, no debe dañar los cultivos colindantes, por tanto se seleccionarán áreas con posibilidades de aplicación aérea, con buenos rendimientos agrícolas que no estén afectados por estrés (déficit hídrico, enfermedad o deficiencia nutricional), ubicadas en suelos de buen drenaje y acceso vial en buen estado, procurando que no se extienda la cosecha más de 45 días.

Inhibición de la floración.

El control de la floración y el acorchamiento tienen como objetivos principales lograr mayor rendimiento de caña en variedades de alta floración (como la CP52-43), mayor potencialidad de manejo varietal al permitir cosechar variedades florecedoras a mediados y finales de zafra, mejor calidad del azúcar (como consecuencia de la mejor clarificación del jugo), y mejor aprovechamiento del transporte (los dos últimos y el primero como consecuencia de la reducción del acorchamiento de los tallos).

La literatura internacional reporta que las fechas óptimas de aplicación del inhibidor de floración deben ser entre, una y tres semanas antes del cambio de primordio vegetativo en floral. Estudios realizados en diferentes localidades de Cuba, con la aplicación de Ethrel LS 48 (etefón) sobre los rendimientos, la calidad y el manejo en la variedad de caña de alta floración CP52-43, en diferentes dosis y fechas de aplicación, mostraron los mejores resultados con dosis de 1,5 l ha^{-1}, aplicado entre agosto 27 y septiembre 8, con el óptimo o máximo control cuando se aplicó entre el 31 de agosto y el primero de septiembre. La aplicación de Etefón o Ethrel como inhibidor de la floración permite que la caña siga creciendo, lo que sumado a la ausencia de deterioro, por no existir acorchamiento del tercio superior, origina un incremento del rendimiento agrícola de 8-12 t ha^{-1} en cosechas realizadas de enero a marzo.

Cosecha

La cosecha es una labor agrícola muy compleja, debido al nivel de mecanización demandado para realizar las operaciones de corte, alza y transporte de la caña, al tiempo corto que se dispone y a los altos requerimientos de recursos materiales, financieros y humanos, por lo que uno de sus éxitos estriba en la adecuada planificación y organización de los trabajos a realizar.

La cosecha requiere de un vínculo estrecho, entre aspectos agronómicos y propios de la mecanización agrícola, de manera que al conformar la cadena vinculada a la cosecha todos sus eslabones logren un flujo continuo del material cosechado hacia la industria, permitiendo el cumplimiento de la tarea diaria planificada en el tiempo requerido para que la caña cosechada no se deteriore y disminuya el contenido en azúcar. Es la etapa final del proceso de producción de la caña de azúcar, donde el productor obtiene los beneficios de un período que comprende un año como mínimo.

Sistemas de cosecha.

Esta operación no debe verse aisladamente por ser el eslabón que culmina una etapa y da lugar a la siguiente dentro de dicho proceso y por determinar, según la forma de realización, el manejo agronómico que se realizará a la cepa subsiguiente. La misma consta de tres operaciones básicas: corte, alza y transporte. Atendiendo a las condiciones del campo se pueden manejar dos formas de cosechar la caña de azúcar: verde o quemada.

De los perjuicios del empleo de la quema en la cosecha cañera se derivan las ventajas de la cosecha en verde, pero adicionalmente se pueden obtener otras adicionales, entre las que se destacan:

- Prolongación de la vida útil de la cepa con el manejo agronómico adecuado.
- Reducción de los costos de producción de caña.
- Obtención de abono orgánico, energía y alimento animal mediante el empleo de los residuos de cosecha.

Por otra parte, considerando los medios utilizados la cosecha se puede clasificar como manual, semimecanizada y mecaniza. Las características generales en cada caso son:

1. Manual: Corte y el alza de caña limpia manual (actualmente abolido en Cuba) El tiro se ejecuta con carreta tiradas por animales, tractores y camiones.

2. Semimecanizada: El corte se realiza manual (caña limpia o con paja), se alza de forma mecanizada y se transporta con camiones o tractores provistos de remolques. Si es caña limpia se envía directo al basculador, si lleva paja al centro limpieza.

3. Mecanizada: El corte y el alza se realizan mecanizadamente (es el más generalizado en Cuba) y se transporta con camiones o tractores provistos de remolques directo a basculador (caña limpia, cosechadoras provistas de corta cogollos) a centro de limpieza (caña con paja).

Medios empleados en la cosecha de la caña.

Cuba es uno de los países con más alto nivel de mecanización en la cosecha cañera. Según AZCUBA (2012b); en la zafra 2011-2012 se cosechó el 90% de forma mecanizada, participando alrededor de 1 450 máquinas de proceso completo, representado en su mayoría (93%) por KTP de fabricación nacional y de forma poco representativa las importadas, con el 5,5% por las CASE y el 1,5% restante por otras marcas (TOFT, CLAAS y CAMECO). En la cosecha semi-mecanizada, para el alza se emplearon un total de 287 alzadoras de las cuales cerca del 90% son tradicionales (montadas sobre tractor Yumz) y el 10% restante de la marca BMH.

Para el transporte se utilizan diferentes medios, carretas tiradas por bueyes, remolques tirados por tractor (YUMZ, MTZ, NEW HOLLAND, CASE), diferentes marcas y modelos de camiones (ZIL, HINO, KAMAZ, SCANIA) con y sin remolque con capacidad desde siete hasta alrededor de 60 toneladas y el ferrocarril. Además, en los casos en que se utiliza el sistema de trasbordo se emplean remolques auto-basculante tirados por tractor. También, con el propósito de reducir el nivel de impurezas de la caña que va al ingenio y en dependencia del sistema de cosecha utilizado se encuentran los centros de acopio o centros de limpieza.

Alzadoras.

Por lo general las alzadoras de caña son autopropulsadas posibilitando su empleo en otras aplicaciones en el período posterior a la cosecha. Dentro de las autopropulsadas se encuentran dos alternativas: las montadas sobre tractor (Figura 11.2A) y las diseñadas como tales (Figura 11.2B).

A B

Figura 11.2. A. Vista del modelo de alzadora autopropulsada montada sobre tractor. B. Alzadora con diseño específico.

La productividad de las alzadoras de caña puede estar en el rango de 30 a 100 t/hora en dependencia del equipo que se utilice.

Cosechadoras de proceso completo.

Sistema de corte y alimentación: Las cosechadoras, en su mayoría, están dotadas de corta cogollo encargado de realizar el primer tratamiento a la caña para eliminar materias extrañas. El principio de corte más generalizado es el corte con cuchilla. Adicionalmente y en aras de facilitar las labores post-cosecha, a este componente se le ha incorporado el triturador, cuya función radica en la trituración del cogollo en partículas inferiores a 100 mm.

Las cosechadoras presentan en el extremo delantero 2 guías, llamadas puntas divisoras y tambores rotativos o sinfines inclinados, destinados a levantar los tallos caídos. Con vistas a trabajar en campos de muy alto rendimiento algunas máquinas se han dotado de cuchillas laterales que cortan las cañas de surcos aledaños que se entre cruzan

con el que se está cosechando, este sistema tiene el inconveniente que una parte importante de esas cañas no se recogen al cosechar la hilera vecina y constituyen pérdidas. Otras cosechadoras, sin embargo, están dotadas de doble tambor rotatorio a cada lado de la hilera incrementando la eficiencia en la separación de las cañas entre las hileras (Figura 11.3).

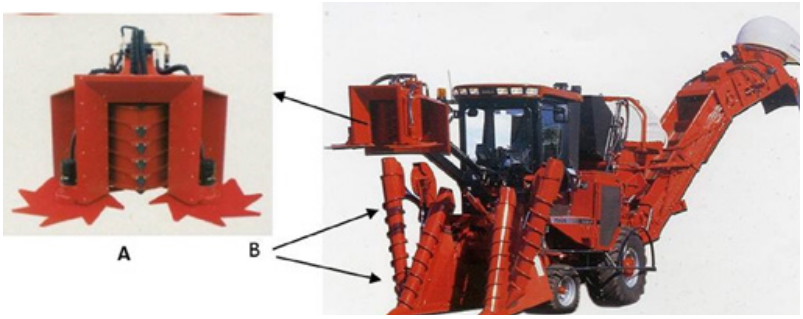


Figura 11.3. Cosechadora de caña de azúcar CASE IH Modelo 7000. A. Triturador de cogollo B. Doble tambor rotatorio.

Delante de los discos de corte inferior están las barras empujadoras o un tambor tumbador que le imprimen cierta inclinación a la caña para facilitar su corte. La caña entra a la máquina al ser cortada por los dos discos que giran a unas 1 000 rpm, uno a cada lado de la hilera. Es evidente que la proyección frontal de los discos tendrá una pequeña elevación en el centro de la hilera (Figura 11.4), que se complementa con el acamellonamiento del surco para lograr un corte rasante.

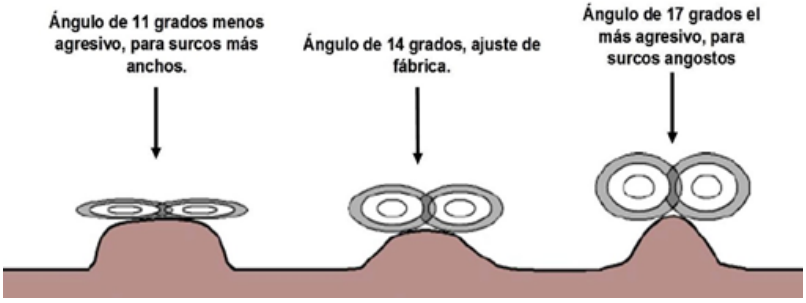


Figura 11.4. Ajuste del cortador de base, en función de las características del relieve del surco, en la cosechadora CAMECO, modelo CH 3500.

Las irregularidades de la superficie del terreno ocasionan alturas de corte superiores a las exigidas, para solucionar dicha problemática los fabricantes han introducido en las cosechadoras modernas la regulación de la altura por medio de rayo láser, fundamentado en el principio óptico. Una vez que la caña es cortada en su base se traslada hacia el órgano troceador mediante los rodillos alimentadores.

Sistema de troceado y limpieza: Dentro de los objetivos que se persiguen con el troceado de la caña están la transformación en un producto transportable a granel y la creación de las condiciones para la separación de las impurezas. La caña se corta en trozos de 300 a 400 mm de largo, mientras más cortos sean los pedazos mejor será la eficiencia de la limpieza. Después de troceada la caña, los ventiladores se encargan de eliminar gran parte de las impurezas.

Dado el alto porcentaje de aplicación de las cosechadoras de proceso completo en Cuba, resulta importante destacar las principales exigencias agrotécnicas y tecnológicas vinculadas a ellas, según Rodríguez et al. (2007) son las siguientes:

1. Cortar tallos con longitudes de hasta cinco metros y rendimiento de 200 t ha^{-1}.

2. Garantizar un acamellonamiento entre 70-100 mm en el centro de la hilera, en las áreas donde no se planta en cantero.

3. Lograr pérdidas de cosecha inferiores al 5%.

4. Corte inferior limpio sin rajaduras en un rango inferior a los 20 mm.

5. Cosechar caña en campos con pendiente de 15% en sentido longitudinal y 12% de forma transversal.

6. Trocear tallos con una capacidad de procesamiento de una t/min en rangos de velocidad lineal de 1,04 km/h a 7,04 km/h en caña encamada o enredada.

7. Reducir los niveles de impurezas por debajo del 7% de la masa cosechada.

8. Distribuir las hojas y cogollos en la parte cosechada del campo uniformemente.

9. Alcanzar altas productividades por tiempo productivo de 14,2 t/h y 28,4 t/h en dependencia del rendimiento del campo.

10. Reducir la compactación del suelo a valores inferiores a 20 kgf/cm2 después de cada pase de la cosechadora.

11. Disminuir los niveles de ruido a valores inferiores a 80 dBA (decibeles) durante toda la jornada.

Organización de la cosecha.

La cosecha es una de las operaciones más costosas por lo que todos sus componentes deben estar perfectamente organizados, de manera que permitan un flujo tecnológico continuo con el uso racional de los recursos y medios utilizados en el proceso.

Inventario de las áreas mecanizables: Lo óptimo en una zafra sería que todas las áreas a cosechar sean mecanizables, pero infelizmente en la práctica es posible encontrar ciertas limitaciones u obstáculos en los campos como: troncos, rocas, zanjas, árboles, entre otros, que lo impiden; por lo que se requiere de la realización del inventario de las áreas que pueden ser cosechadas con máquinas. El grado de mecanización de un área se realiza basado en la clasificación siguiente:

Área mecanizable: Son las que no presentan limitaciones para la cosecha mecanizada.

• Áreas potencialmente mecanizables: Se definen como las que presentan ciertas limitaciones para la cosecha mecanizada pero que existe la posibilidad de eliminarlas.

• Áreas no mecanizables: Son aquellas que por el grado de complejidad de sus limitaciones es muy costosa o imposible su recuperación como mecanizables.

Dentro de los objetivos a cumplir con el inventario de las áreas mecanizables están: conocer el grado de mecanización, explotar eficientemente la maquinaria, reducir las pérdidas de cosecha y el porcentaje de materias extrañas y realizar un plan de recuperación de las áreas definidas como potencialmente mecanizables.

Balance de recursos: Se define como la determinación de los recursos humanos, materiales y financieros necesarios para cumplir con la tarea diaria de entrega de caña a la industria. Dentro del balance de recursos es imprescindible determinar la cantidad de cosechadoras, alzadoras, tractores movedores, remolques auto-basculantes y los medios de transporte.

Para la selección del tipo de transporte se debe determinar la distancia crítica en la cual la utilización de un agregado resulta más económica que otro (Tabla 11.1). Dicho análisis se soporta sobre los indicadores de productividad de los agregados

Tabla 11.1. Distancia óptima para los medios de transporte cañero.

No.	Medio de transporte	Distancia óptima (km)
1	Carreta de tracción animal	0 a 2
2	Remolque tirado por tractor	3 a 5
3	Camión solo	8 a 10
4	Camión con remolques	15 a 25
5	Ferrocarril	30 a 50

El sistema de trasbordo para la transportación de la caña cosechada de forma mecanizada (Figura 11.5) es más eficiente que los demás sistemas porque:

• Reduce la compactación del suelo al utilizar llantas de alta flotación, además minimiza el daño a la cepa de caña.

• Hace más eficiente la labor de cosecha de caña de azúcar ya que el conjunto del tractor y vagón tienen menor radio de giro que un camión, esto minimiza el tiempo perdido al girar el equipo de transporte al final del surco y colocarse nuevamente en posición de trabajo en el surco adyacente.

• Permite trabajar en condiciones de altos niveles de humedad.

• Protege a la cosechadora de daños provocados por interferencias del elevador con la sección superior del equipo de transporte.

• Hace más eficiente el transporte de la caña cosechada y el traslado de la misma al central en menor tiempo.

A B

Figura 11.5. Sistema de trasbordo con remolques autobasculantes.
A. Tirado por camión. B. Tirado por tractor.

Las modalidades de transporte de caña más difundidas en Cuba son:

• Transporte de caña larga en carretas de tracción animal.

• Transporte de caña larga utilizando remolques y camiones con estrobos para descargar con ayuda de un derramador.

• Transporte de caña larga o troceada en remolque y camiones con descarga por la culata con ayuda de un virador o basculantes.

• Transporte de caña larga o troceada empleando carretas y camiones con malla móvil para descarga lateral por arriba con la ayuda de un derramador.

• Transporte de caña troceada mediante remolques y camiones auto-basculantes de descarga lateral a nivel de plataforma y por arriba (VANGUARD, CAMECO).

• Transporte de caña mediante vagones de ferrocarril.

•Transporte de caña en contenedores especializados para un sistema integral (CAMECO).

Estructura de trabajo: En la cosecha mecanizada se agrupa la maquinaria en pelotón o brigadas, estructura que conforma la unidad central de trabajo. En la Tabla 11.2 se puede apreciar la composición de un pelotón de cosecha mecanizada, cuando se utilicen de dos a tres combinadas. En general el pelotón de cosecha mecanizada está conformado por las cosechadoras, medios de aseguramiento, comunicaciones y transporte.

Tabla 11.2. Estructura de un pelotón de cosecha mecanizada.

Medios	Cantidad	Integrantes
Combinadas	2 o 3	Jefe de pelotón, operador mecánico, noviero, soldador B, computador, cocinero, enganchador.
Tractores movedores	4 a 6	
Medios de transporte	Según distancia de tiro	
Tractor de servicio	1	
Novia	1	
Moto-soldador	1	
Equipo de oxicorte	1	
Pipa con motobomba para agua	1	
Cocina comedor	1	
Planta de radio	1	

Índices de eficiencia de la cosecha.

En la cosecha, como en otras labores agrícolas, se establecen determinados índices para evaluar la eficiencia en el trabajo realizado. Entre los importantes se encuentran:

Contenido de materias extrañas: Se refiere al contenido de impurezas que está presente en la caña cosechada. Las materias extrañas propias de la caña son: cogollo, hojas verdes, renuevos, cepas, hojas y cañas secas; no inherentes a la caña están otros como tierra, arena y piedras. El contenido de materias extrañas no está relacionado con el rendimiento del campo sino que depende fundamentalmente de las características de los medios que se utilicen y de la profesionalidad del personal vinculado a la cosecha. En la actualidad se establecen índices de materias extrañas permisibles para las máquinas de fabricación nacional (KTP) de 18%, y para las de reciente introducción como las CASE entre 5 y 8%. En la Tabla 11.3 se muestran los índices de materias extrañas establecidos en Cuba por tipo, característica y condiciones en que se realice la cosecha (INICA, 2007).

Tabla 11.3. Índice de impurezas tolerables por tipo, características y condiciones de la cosecha.

Tipo de corte	Características del corte	Impurezas (%)	
		Caña verde	Caña quemada
Mecanizado	Combinada sin corta-cogollo	12,0	10,0
	Combinada con corta-cogollo	10,0	8,0
Manual	Corte tradicional y caña larga, tiro directo al basculador	2,5	2,0
	Corte para centro de limpieza	8,0	5,0

Pérdidas en cosecha: La relación entre las pérdidas originadas por el sistema de cosecha y el rendimiento agrícola se manifiesta de forma similar a lo planteado en las materias extrañas. Se consideran pérdidas de cosecha: Cañas largas dejadas en el campo, corte alto (tocones), caña en cogollo y derrames de caña troceada.

Para determinar las pérdidas en la cosecha inmediato al corte se ha establecido una evaluación denominada prueba rápida que persigue como objetivos: conocer los valores reales de las pérdidas en cada condición de trabajo y determinar las causas que la originan para

acometer acciones que solucionen los problemas encontrados lo antes posible. El procedimiento para realizar la prueba rápida es el siguiente:

• Identificar el lugar de muestreo. Para ello se toma una zona ubicada de dos a cuatro surcos respecto a donde está transitando en el momento de la cosecha el medio de transporte y a 20 m desde la cabecera del campo.

• Establecer la zona de muestreo en el campo. La zona de muestreo tiene una longitud de 20 m y un ancho de 1,50 o 1,60 m, que coincide con la distancia de plantación.

• Identificar las causas de la pérdida. Se separan los residuos del área de muestreo con cuidado de no eliminar porciones de caña, posteriormente se recolectan todos los trozos de caña dejados. A partir del tipo de pérdida encontrada se debe identificar paralelamente las causas que le pudieron dar origen.

• Determinar el porcentaje de pérdida. Las cañas o trozos encontrados como pérdidas se colocan en una hilera continua a lo largo de la zona de muestreo (hileras con longitud de 20 m). Para determinar el valor de la pérdida es necesario conocer el estimado del campo (Ec). Cada hilera continua de 20 m significa una pérdida (P) de 5 t ha^{-1} aproximadamente. Por regla de tres se halla el porcentaje de pérdida (% P), es decir:

$$\% P = \frac{P \times 100}{Ec}$$

Si la caña encontrada en el muestreo no completa los 20 m, el valor de la pérdida se determina por regla de tres en base a las 5 t ha-1 de pérdidas anteriormente señaladas. Un resultado más confiable se obtiene al realizar tres evaluaciones como mínimo.

Mermas: El control y la supervisión de los vales de pesa y la caña realmente recibida en el basculador juegan un papel importante en el control de toda la zafra.

Frescura de la caña: Para cada centro de recepción se confecciona un plan de frescura, teniendo en cuenta sus condiciones concretas. Este plan se elabora con el objetivo de reducir al mínimo el tiempo entre el corte y molida de la caña. El plan de frescura de cada centro de recepción es la base para el control y chequeo de esta actividad,

durante la ejecución de la zafra. Para reducir el tiempo entre corte y molida, será necesario:

• Trabajar con un volumen mínimo diario de caña en el suelo.

• Hacer cuantos repartos de carro de ferrocarril sean necesarios y posibles.

• Moler primero la caña de más tiempo de cortada y troceada.

• No acumular exceso de caña, en el suelo y en carros, sobre todo los fines de semana.

En cada lugar se aplicarán sanciones consistentes en rechazar la caña atrasada. El laboratorio del ingenio decidirá mediante análisis hasta que momento la caña es «molible» y cuando debe ser desechada. Toda la caña debe ser procesada antes de las 36 horas de cosechada.

Efectos de la quema de caña de azúcar.

La caña de azúcar se puede cosechar de dos formas: una quemando la caña y otra sin quemarla o cruda. Cuando se quema la caña de azúcar se producen una serie de problemas e impactos ambientales negativos relacionados con la calidad del aire, el suelo (físicos y biológicos), materia orgánica, la materia prima al ser llevada a la fábrica, la salud humana y con el cultivo.

En un estudio realizado en el Valle del Río Cauca, con el fin de evaluar la contaminación atmosférica generada por la quema de la caña de azúcar, donde se obtuvieron cifras en cuanto a la emisión de partículas, monóxido de carbono e hidrocarburos. En los reportes mensuales se encontró coincidencia entre los valores más altos de partículas en suspensión y la época de la quema de caña de azúcar para la cosecha en las zonas estudiadas. El deterioro de la calidad del aire está generando consecuencias en la salud de los habitantes, al observarse un incremento en los casos de infecciones y trastornos respiratorios. Entre las razones de peso, para practicar la quema de caña para la cosecha, se encuentran:

• Aumentar el rendimiento de los macheteros o cortadores.

• Disminuir una cantidad importante de materia extraña que va al central.

• Eliminar malezas, en campos infestados, por mal manejo agronómico.
• Disminuir el peligro de serpientes y ataques de insectos picadores.
• Evitar o disminuir las quemas incontroladas.

Actualmente la escasez de fuerza de trabajo para cortar caña manual y el avance tecnológico alcanzado en las cosechadoras de caña de última generación, modifican sustancialmente las razones antes expuestas, en la Figura 11.6 se observa una cosechadora CASE 7000 cortando caña verde, en un campo de alto rendimiento.

Figura 11.6. Cosecha de caña verde utilizando la cosechadora CASE 7000, nótese el tamaño de la caña y el volumen de paja, 1 Triturador de cogollo, 2 Cuchilla de corte lateral.

La cosecha en verde, aunque representa retos tecnológicos, de manejo agronómico, para realizar las diferentes labores post-cosecha, es una alternativa viable para lograr mitigar o disminuir considerablemente los impactos negativos sobre el ambiente, evita la erosión del suelo y no produce efectos negativos sobre el rebrote de las yemas de la cepa para formar las socas. Los residuos pueden ser usados para; protección del suelo contra la erosión, abonos orgánicos para incorporarlos al suelo, conservar la humedad, mejorar la infiltración, recuperación física y biológica del suelo, control de malezas, alimentación animal, cama para corrales, lombricultura, y cogeneración de electricidad, entre otras.

Cuando se utiliza la quema como actividad previa a la cosecha se generan una serie de impactos ambientales negativos que inciden directamente sobre la atmósfera, el suelo, el ser humano y la materia prima, además se rompe el equilibrio biológico. La quema continua

de los residuos tiende a reducir la microflora, sobre todo cerca de la superficie. Dejando los residuos de los cultivos en la superficie del suelo y usando una cobertura vegetativa perenne con un sistema radical denso, como ocurre con la caña de azúcar, se favorecerá un mejor desarrollo de la fauna del suelo y de la biomasa microbiana. En Cuba desde la década del 80 del siglo pasado, se crearon las condiciones para cosechar caña verde.

Productividad de las cosechadoras.

El rendimiento o productividad de las cosechadoras no es más que la relación entre el volumen de trabajo realizado por unidad de tiempo trabajado. Es evidente que el trabajo en áreas de alto rendimiento y el buen aprovechamiento de la jornada contribuyen con el incremento de dicho índice. Otros aspectos relacionados con la productividad se pueden encontrar en la Norma Cubana (NC) 34:37:2003.

La productividad por tiempo de explotación para rendimientos agrícolas entre 35 y 100 t ha^{-1}, después de numerosos ensayos con las cosechadoras cubanas, se enmarcan entre 15,9 y 22,3 t/hora. Estos valores de productividad han sido afectados fundamentalmente por las pérdidas de tiempo asociadas a la baja fiabilidad de estas máquinas. En la actualidad se establecen índices de productividad para las máquinas con varios años de explotación y sin avances tecnológicos como la KTP-2 de 10 t/hora y para las de reciente introducción como las CASE de 30 t/hora.

Cosecha de caña en condiciones de alta humedad.

Alrededor del 25% de la caña en Cuba se encuentra sobre suelos arcillosos (pesados) con mal drenaje, que comprenden a los agrupamientos genéticos de suelos Vertisol e Hidromórfico, según la Nueva Versión de la Clasificación Genética de los suelos de Cuba (Hernández et al., 1999).

Las investigaciones relacionadas con el tráfico en suelos sobre-humedecidos deben considerar varios factores entre los que se destacan

las propiedades físico-mecánicas del suelo, el tipo de trabajo a realizar y el equipo a utilizar para alcanzar buenos resultados. Las soluciones técnicas que garantizan el trabajo en estas condiciones se dirigen hacia el uso de puentes múltiples, neumáticos de alta flotación, semi-esteras, esteras, y neumáticos dispuestos en parejas.

Servicios Científico Técnicos y Extensión Agrícola

Desde finales de la última década del siglo pasado, el INICA, comenzó a introducir en las empresas y unidades productoras de caña, del entonces Ministerio del Azúcar (MINAZ), hoy Grupo Azucarero AZCUBA, un grupo de Servicios Científico Técnicos con la finalidad de asistir al productor cañero con los últimos adelantos de la Ciencia y la Técnica adquiridos en el país.

Los Servicios Científico Técnicos se introdujeron en la producción comercial después de su validación mediante polígonos de pruebas en una o varias empresas azucareras. Se crearon bajo las premisas del manejo sostenible de tierras y tienen como principal condición su funcionamiento en armonía con el medio ambiente y la preservación de los recursos naturales.

A continuación se muestran algunos de los principales resultados obtenidos desde su introducción en la producción de caña de azúcar.

Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE)

Mario Ernesto de León Ortiz
Jacinto Campos Asín

Es notable que una de las causas de contaminación ambiental más notoria, y a la vez una de las fuentes de gastos más elevadas de la agricultura, coincidan con una necesidad insoslayable de la producción vegetal contemporánea: la fertilización. La causa de esta antítesis radica en el frecuente mal uso de los fertilizantes.

El suministro de nutrientes es uno de los factores externos influyentes sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, que con mayor facilidad puede controlar el hombre. Un cultivo industrial como la caña de azúcar, extendido en una enorme superficie de los más variados suelos, con disímiles contenidos de nutrientes necesarios al cultivo, sometidos sostenidamente al monocultivo y de los que cada año se exporta determinada cantidad de nutrientes con la cosecha, necesita, ya sea para mantener o para incrementar la producción, del uso de fertilizantes (hoy día, todos los países productores de caña de azúcar, son notables consumidores de fertilizantes).

En la medida en que se satisfagan factores limitativos de la producción, edáficos, bióticos o los debidos a desaciertos en el manejo del cultivo por el hombre, podrá la fertilización ejercer en mayor o menor grado su contribución sobre el rendimiento y durabilidad de la cepa.

Bajo las condiciones del cultivo de la caña de azúcar en Cuba, es posible esperar, siempre que otros factores estén cubiertos, incrementos en el rendimiento en el entorno de 25%. Ahora bien, cuando además de los otros factores, la fertilización también haya cubierto las necesidades del cultivo, no deben esperarse nuevos incrementos, sino el mantenimiento de los niveles de producción alcanzados.

Impactos del SERFE.

El uso de este servicio científico-técnico consta de impactos económicos, ecológicos y sociales. En atención al impacto económico los resultados permitieron desde el momento de su implementación un ahorro sustancial de importaciones de fertilizantes, ya que el servicio resultante, al recomendar al nivel de campo cañero y establecer las dosis sobre la base de criterios científico-técnicos (producto de más de cuatro décadas de estudios) evitando tanto las insuficiencias como los excesos en las aplicaciones de fertilizantes, logra la mayor contribución posible de la fertilización al rendimiento agrícola y azucarero, sin dañar el medio ambiente.

Al momento de su implementación el estado cubano gastaba anualmente en la importación de fertilizantes más de 70 millones de dólares, sin que con esta inversión se obtuvieran los beneficios esperados.

El primer efecto económico fue una reducción de varios millones de dólares en los gastos de fertilizantes (Tabla 12.1).

Tabla 12.1. Fertilizante consumido y costo del mismo (Período 1996-1999).

Año	Consumo (Miles de t)	Valor (Millones USD)
1996	364,1	75,0
1997	232,0	42,4
1998	146,6	27,8
1999	209,9	32,7

Para comparar los resultados del SERFE con lo que tradicionalmente se realizaba se tomaron las dosis medias aplicadas (kg ha^{-1} de cada elemento) en el período 1980 a 1989 (97,0 de N; 26,70 de P_2O_5.y 86,40 de K_2O). La Tabla 12.2 muestra lo que en la campaña 1998-1999 se recomendó según el SERFE y lo que se hubiera consumido de seguirse con las aplicaciones tradicionales, a los precios de los portadores en esos años.

Tabla 12.2 Comparación de la cantidades de fertilizantes y costo de los portadores según la recomendación del SERFE y la tradicional.

Elemento activo	Área a fertilizar	Portador	Precio	Cantidad de portadores		Costo portadores	
				Tradicional	SERFE	Tradicional	SERFE
	ha		USD/t	Miles de toneladas		Millones de USD	
N	805,834	Urea	226,18	170,00	111,1	46,80	25,12
P2O5	748,891	SFT	211,07	42,12	65,5	8,90	13,82
K2O	529,204	KCL	123,72	76,17	77,8	9,40	9,69
Total						65,10	48,56
Diferencia							–16,54

Se observa que con las recomendaciones del SERFE se ahorraron, de forma inmediata 16,54 millones de dólares.

A partir del año 2007 el costo de los portadores de fertilizantes se ha incrementado extraordinariamente, el costo actual (mediados del 2012) es de 595,00 USD/t para la urea; 675,00 USD/t para el amoniaco anhidro, 745,00 USD/t para el fósforo y 650,00 USD/t para el potasio.

El presupuesto del año 2013 para la importación de portadores está en el entorno de los 70 millones de dólares, y ello no satisface la demanda total de fertilizantes del área cañera, sin embargo, gracias al

SERFE es posible distribuir la existencia sobre bases técnicas de forma que se obtenga el mejor resultado.

En atención al impacto ecológico no sólo se evitan excesos potencialmente contaminadores del medio ambiente, sobre todo de nitrógeno y fósforo, sino que al mantener un control permanente del registro de fertilidad de los suelos evita el deterioro de los mismos por su explotación en monocultivo.

Servicio de Variedades y Semilla (SERVAS)

Rolando Medardo González Acosta
José María Mesa López

El uso de nuevas y mejores variedades de caña de azúcar constituye uno de los más importantes factores para incrementar la productividad, y consecuentemente, la reducción de los costos del sector agroazucarero. En septiembre de 1965 fue realizada en Cuba una Reunión de Variedades de Caña que tuvo como objetivo principal hacer una revisión de la relación de los cultivares entonces existentes para dar respuesta al incremento acelerado de la cosecha mecanizada y lograr el mejor aprovechamiento y rendimiento de las cosechadoras a emplear. En ella el INICA propuso un primer grupo de nuevas variedades que se destacaban por sus favorables condiciones para la mecanización, resistencia a plagas y enfermedades, adaptabilidad a diferentes tipos de suelos, y con características de maduración capaces de satisfacer diferentes períodos de cosecha.

Por otra parte, en los últimos años, tanto en Cuba como en los principales países productores de esta gramínea, se han producido cambios conceptuales en la política que rige el uso y manejo de las variedades. Se ha transitado del cultivo monovarietal o de pocas variedades, al empleo de grupos numerosos de cultivares con distribución más o menos equilibrada (SERVAS, 2010). Además, el ciclo de explotación comercial de las variedades se ha acortado, o lo que es lo mismo, se ha visto acelerado el proceso de sustitución de las viejas variedades con vistas a obtener incrementos de azúcar por área. La dinámica varietal es mayor, lo que exige un elevado nivel tecnológico para mantener la competitividad de la producción azucarera.

A partir de la década de los 80, el INICA comenzó a desarrollar un trabajo más específico y profundo, respecto a estudios de evaluación de suelos y ubicación de las variedades. Estos trabajos, que inicialmente abarcaron algo más de 60 000 ha, se fueron ampliando y perfeccionando gradualmente, y constituyeron un valioso ejercicio y fuente de experiencias para que a fines del año 1997, a propuesta de la entonces Dirección de Agronomía del extinto MINAZ, el Departamento de Mejoramiento Genético del INICA trabajara en la elaboración de la nueva propuesta tecnológica denominada Servicio de Variedades y Semilla (SERVAS) para la caña de azúcar, que se comenzó a implementar preliminarmente en el año 1998, permitiendo ampliar la sostenibilidad del cultivo en condiciones especiales, aun cuando las limitaciones materiales imposibiliten lograr respuestas productivas apreciables (González et al., 2004).

Contribución del SERVAS a la protección fitosanitaria.

Las variaciones en las áreas ocupadas por las principales variedades de importancia comercial, junto a la introducción acelerada de nuevas obtenciones han permitido mejorar significativamente el cuadro fitopatológico de la caña de azúcar en Cuba.

En las Figuras 12.1 y 12.2 se muestra la reducción de las áreas ocupadas en el presente milenio por cultivares comerciales susceptibles al carbón y la roya, coincidiendo ello con la considerable reducción de las afectaciones ocasionadas por esta patología que en la actualidad son reportadas por el Servicio Fitosanitario (SEFIT).

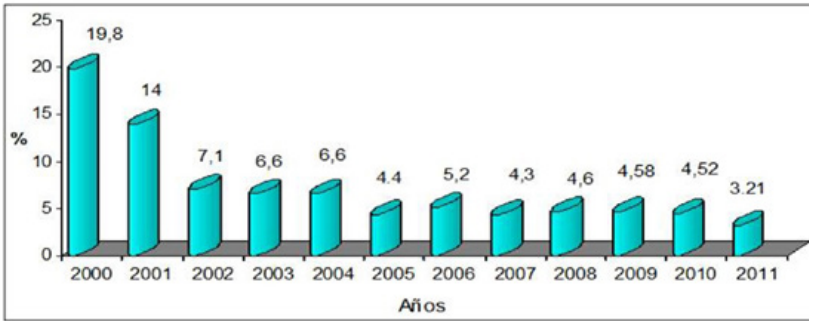


Figura 12.1. Evolución del porcentaje de área de las variedades susceptibles a carbón.

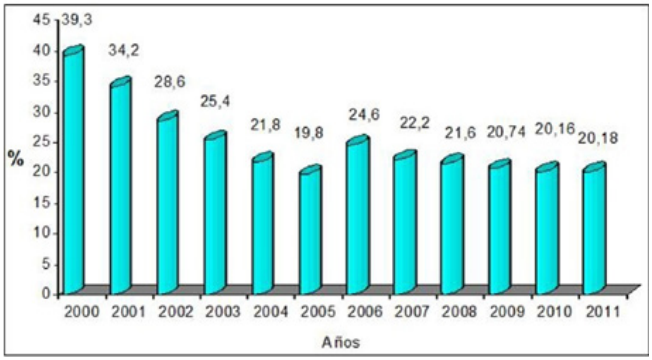


Figura 12.2. Evolución del porcentaje de área de las variedades susceptibles a roya.

En la Figura 12.3 se refleja la evolución del área ocupada por variedades susceptibles a la enfermedad bacteriana conocida como escaldadura foliar, apreciándose un importante decrecimiento, durante el período 2000-2011 como resultado de incorporar variedades resistentes a la explotación comercial.

Valoración económica.

La implementación del SERVAS representa una alternativa adicional para contribuir a aumentar los rendimientos del sector azucarero y reducir el efecto negativo que las deprimidas producciones actuales provocan en la economía nacional, constituye una herramienta tecnológica y metodológica para alcanzar una mayor expresión productiva de las variedades, sobre la base de su mejor ubicación y manejo adecuado, explotando convenientemente la interacción genotipo-ambiente.

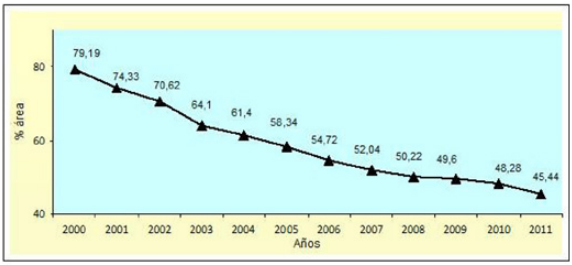


Figura 12.3. Comportamiento del área ocupada por variedades resistentes a escaldadura foliar.

Servicio Fitosanitario (SEFIT)

Mérida Loreto Rodríguez Regal
Eida Luisa Rodríguez Lema
Jesús Matos García

Históricamente las plagas han sido las responsables de la decadencia de los cultivares y de pérdidas de consideración. A pesar de todos los esfuerzos realizados por el hombre, las plagas (insectos, enfermedades y malezas) destruyen anualmente cerca del 35% de las cosechas, incluso post cosechas, se producen entre un 10 y un 20% de pérdidas adicional, por lo que en total oscilan entre 40-50% de la producción. Estos porcentajes demuestran la necesidad de implementar estrategias para el control eficiente de las plagas que contribuyan a la sostenibilidad de las producciones agrícolas.

El Servicio Fitosanitario para la caña de azúcar el cual mantiene bajo vigilancia fitosanitaria todas las áreas del cultivo, tuvo como antecedentes los resultados y experiencias del SERFE y del SERVAS que tenían en común la introducción agilizada de los resultados obtenidos por la investigación. Antes del establecimiento del SEFIT existieron en Cuba metodologías para la evaluación fitosanitaria de las plagas de la caña de azúcar, derivadas de trabajos locales, generalizaciones y tesis doctorales de investigadores de diferentes instituciones nacionales. Los criterios para el uso y manejo de los medios biológicos en caña de azúcar, en forma de Metodología e Instructivo Técnico, aparecieron por vez primera en Cuba en el año 1980, a partir de la creación del Programa Nacional de Lucha Biológica

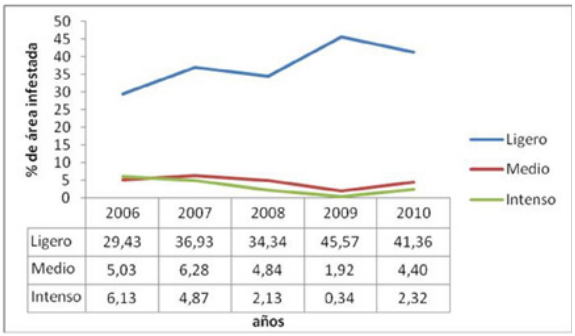
Impactos del SEFIT.

El SEFIT ha contribuido en la disminución de la incidencia de las principales plagas presentes en el cultivo de la caña en Cuba, así como en la organización y consolidación de la estrategia de control.

Bórer: En relación con el barrenador D. saccharalis se logró manejar sus poblaciones con niveles por debajo de 1,10 establecido como umbral económico de daño para la especie. En la Figura 12.4 se

aprecia el porcentaje del área cañera con incidencia del barrenador de la caña de azúcar D. saccharalis en el periodo 2006-2010.

Durante todos los años el mayor porcentaje de área infestada se ubicó en la categoría de ligero, mientras que sólo el 5% fueron medios e intensos. En todos los casos el porcentaje de área infestada no sobrepasó el 50% del área total, lo que pudiera deberse a la efectividad de los medios biológicos liberados.



	2006	2007	2008	2009	2010
Ligero	29,43	36,93	34,34	45,57	41,36
Medio	5,03	6,28	4,84	1,92	4,40
Intenso	6,13	4,87	2,13	0,34	2,32

Figura 12.4. Propagación de la infestación por barrenador a nivel nacional durante los años 2006-2010.

Un análisis más detallado aparece en la Figura 12.5 donde se observa que las variaciones del porcentaje de intensidad de ataque del barrenador desde el año 2006 hasta el 2009 disminuyen, sin embargo en el 2010 se aprecia un ligero incremento, tendencia evidenciada por una ecuación polinómica. Los menores valores corresponden a los años 2008 y 2009 y esto pudiera deberse a dos razones fundamentales: la disciplina en la aplicación de la lucha biológica o a factores climáticos que influyeron de forma positiva.

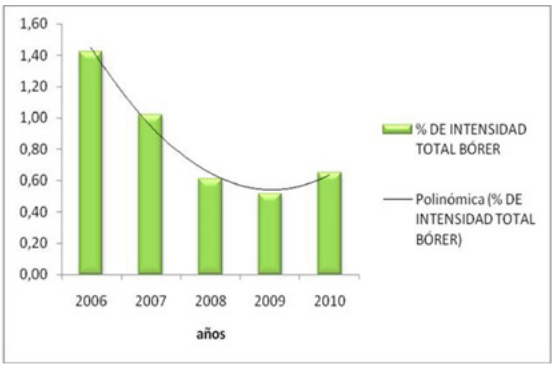
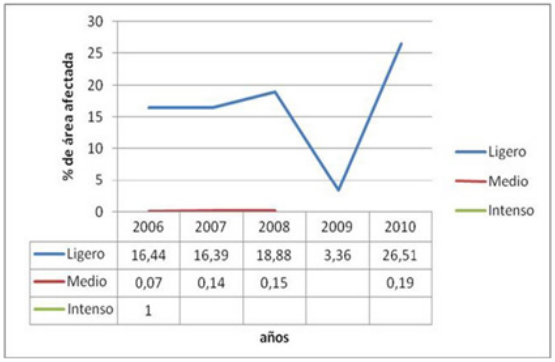


Figura 12.5. Índice de intensidad total del barrenador durante los años 2006-2010.

Roya parda: Durante el quinquenio 2006-2010 el porcentaje de área afectada por roya fue catalogado mayormente con índice de infección ligero, aunque llama la atención un incremento limitado de pequeñas áreas afectadas (0,07-0,19%) que alcanzaron categoría de medio, sin registros de áreas con infecciones intensas en los últimos cuatro años (Figura 12.6).



	2006	2007	2008	2009	2010
Ligero	16,44	16,39	18,88	3,36	26,51
Medio	0,07	0,14	0,15		0,19
Intenso	1				

Figura 12.6. Propagación del nivel de infección por roya parda en áreas de producción en el periodo 2006-2010.

Por otra parte esta patología es influida por las variaciones del clima y eventos meteorológicos y Cuba fue azotada por varios ciclones durante el 2008 (Gustav, Ike y Paloma), el primero es el peor huracán que ha azotado al país en los últimos 50 años, cuestión que también pudiera haber incidido en la tendencia al incremento.

En la Figura 12.7 se observa el comportamiento en los últimos 5 años, de forma detallada. Este intervalo está descrito por una curva de tendencia de tipo potencial y explica el lento crecimiento en este periodo.

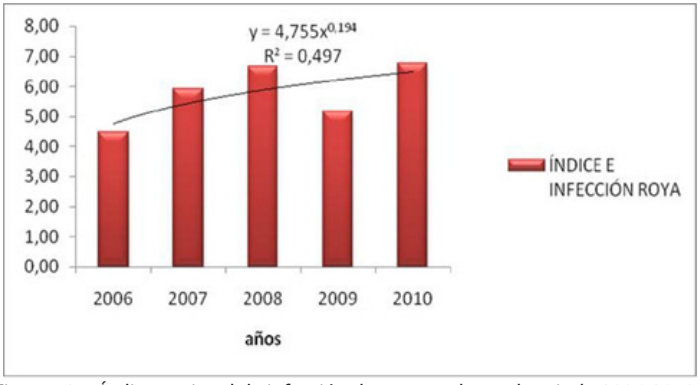
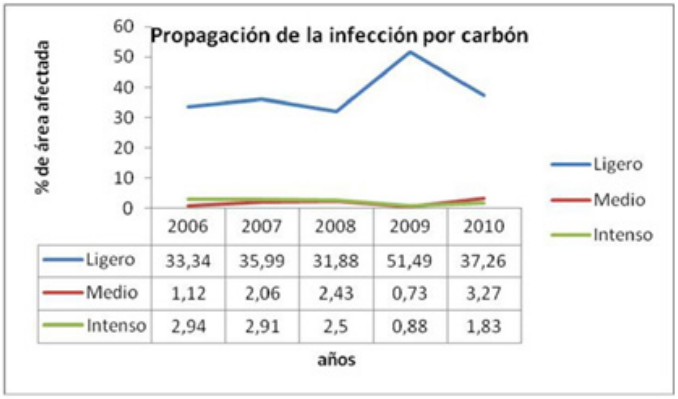


Figura 12.7. Índice nacional de infección de roya parda en el periodo 2006-2010.

Carbón: Para todos es conocido que el carbón de la caña de azúcar constituyó por varios años uno de los principales problemas fitosanitarios en Cuba, lo que no significa que en el presente no constituya una enfermedad importante, sin embargo, se puede considerar bajo control, salvo incidencias ocasionales en áreas de producción donde aún se cultiva alguna variedad susceptible.

En la Figura 12.8, se aprecia un crecimiento importante de la enfermedad en el año 2009, pero debe considerarse que este porcentaje de área afectada se enmarca en la categoría de ligero, es decir, puede tratarse y en efecto así resulta, de campos con escasos tallos enfermos, pero que se agrupan en la categoría de afectado. Un análisis más consecuente se logra al considerar el porcentaje de área con afectaciones medias e intensas, las que son prácticamente imperceptibles.



	2006	2007	2008	2009	2010
Ligero	33,34	35,99	31,88	51,49	37,26
Medio	1,12	2,06	2,43	0,73	3,27
Intenso	2,94	2,91	2,5	0,88	1,83

Figura 12.8. Niveles de propagación de la infección por carbón en el período 2006-2010.

La Figura 12.9 muestra el crecimiento reportado en el período 2006-2010 que también manifiesta una tendencia de tipo polinómica, pues en los primeros años el decrecimiento era más importante, con una inflexión en la curva en el año 2007, lo que pudiera guardar relación con el ligero incremento a nivel nacional del porcentaje de área ocupada por variedades susceptible, producido en el año 2006.

Figura 12.9. Evolución del comportamiento de la infección por carbón en el período 2006-2010.

Un ejemplo del impacto económico lo constituye la disminución de las pérdidas provocadas por dos de las plagas más importantes que afectan a la caña de azúcar en el país, carbón y el barrenador de la caña.

En la Tabla 12.3 se refleja el beneficio económico que se logró al disminuir los índices del carbón de la caña en las diferentes provincias desde el 2003 al 2005.

Tabla 12.3. Resumen de las pérdidas agrícolas, toneladas de caña y azúcar salvadas y beneficio económico reportado por la disminución del carbón de la caña de azúcar zafra 2004-2005.

Provincia	Pérdidas agrícolas (toneladas de caña)			Beneficio económico 2004-2005		
	2003	2004	2005	T. de caña	T. azúcar	USD
Pinar del Rio	2160	1111	297	813,63	81,363	26036,16
Habana	4944	1321	494	826,30	82,63	26441,60
Matanzas	10629	1998	1772	226,36	22,636	7243,52
Cienfuegos	70140	21128	11690	9437,83	943,783	302010,56
Villa Clara	38346	21593	3262	18331,00	1833,1	586592.00
S. Spíritus	2971	3823	598	3224,36	322,436	103179,52
C. de Ávila	1783	19897	594	19302,64	1930,264	617684,48
Camagüey	1124	4595	4129	466,35	46,635	14923,2
Las Tunas	7906	33624	18511	15112,77	1511,277	483608,64
Holguín	9967	9315	1812	7502,71	750,271	240086,72
Granma	18898	14837	8424	6413,28	641,328	205224,96
Sgo. de Cuba	8933	10864	6067	4797,45	479,745	153518,4
Guantánamo	2875	1972	298	1674,41	167,441	53581,12
Nación	13898	11237	4458	6779,16	677,916	216933,14

El SEFIT permitió obtener beneficios en la zafra 2004-2005 en azúcar salvada de alrededor de 700 mil toneladas, lo que representó una ganancia de 216 933. 14 USD, sólo por la disminución de las pérdidas ocasionadas por carbón. En la Tabla 12.4 se expresan los beneficios del Servicio al disminuir el índice de infestación del barrenador.

Tabla 12.4. Resumen nacional de las pérdidas y azúcar salvada en toneladas, por la disminución del índice de infestación del barrenador de la caña de azúcar en el periodo de aplicación del SEFIT (quinquenio 2001-2005).

Año	Área tratada	Índice de intensidad total	Pérdidas (Tm)	Azúcar producida (Miles de t)	Beneficio	
					Azúcar (%)	Miles (USD)
1980-2000	1147884	3,03	103 126	6,8	-	
2001	2065250	3,03	53 025	3,5	0,05	12,02
2002	17254848	2,14	38 575	3,6	0,06	15,49
2003	18122586	1,43	16 472	2,3	0,08	20,80
2004	20076793	1,48	17 742	2,4	0,08	20,49
2005	81000000	0,73	4 770	1,3	0,09	23,61
Total						92,41

Tomando como referencia el período 1980 al 2000, se observa un decrecimiento de las pérdidas provocadas por esta plaga, a partir del 2001 que fue cuando se estableció el SEFIT. Esto posibilitó salvar entre 0,05 y 0,09 porcentaje de azúcar producida, lo que representó un monto total de 92 410 dólares por este concepto.

Impacto ambiental: Desde el punto de vista ambiental se logró mitigar el efecto negativo de otros agentes nocivos y la prevención de los exóticos, lo cual fue posible mediante la aplicación de las recomendaciones que brinda el Servicio para la adecuación de la composición varietal, la evaluación de la calidad de la semilla utilizada para la reposición de las plantaciones y la activación de la vigilancia fitosanitaria con todos sus componentes. Dentro de las medidas de control recomendadas, no se incluyen medios químicos excepto para el caso de los roedores que por su poca disponibilidad y estabilidad del producto biológico se utiliza el brodifacum (Klerat).

Servicio para el Control Integral de Malezas (SERCIM)

Lorenzo Rodríguez Estrada
Rigoberto Martínez Ramírez

Servicio científico-técnico creado por el INICA, con el aval de más de 40 años de investigaciones en el manejo integral de malezas, con el objetivo de ayudar a los productores cañeros a alcanzar un control integral de malezas que sea técnicamente más eficaz, económicamente más viable y ambientalmente más seguro, a fin de contribuir a alcanzar mayores rendimientos agrícolas y eficiencia económica, mediante la planificación, control, asesoramiento y capacitación de las actividades de control integral de malezas en caña de azúcar, fundamentalmente en las Unidades Productoras de Caña (UPC).

Este servicio elabora planes anuales de control integral de malezas, ajustados a los rendimientos de caña, a todos los niveles del grupo azucarero AZCUBA, incluyendo la necesidad de herbicidas y de medios, las áreas a atender por aplicación de herbicidas, cultivo de desyerbe, limpia manual y por cada medio de control, anualmente y por quincenas. También brinda recomendaciones inmediatas o a corto plazo para hacer ajustes en los tratamientos de herbicidas planificados, y brinda bases de conocimientos sobre herbicidas, malezas, medios de aplicación y costos de labores.

El Servicio organiza la celebración anual de cursos-seminarios de actualización sobre control integral de malezas para las UEB y UPC. Finalmente, el Servicio realiza la evaluación, recomendación y monitoreo de nuevos productos herbicidas, maduradores, bioestimulantes, fertilizantes foliares y coadyuvantes en caña de azúcar. El Servicio tiene las siguientes premisas:

1. Obligatoriedad en la elaboración de la necesidad de herbicidas y de medios a través del PCMalezas, para su asignación y distribución.

2. Financiamiento con suficiente antelación (3 meses antes de la aplicación) del plan de herbicidas del año, en cantidad y surtido según el PCMalezas.

3. Disponer de la movilidad necesaria para la planificación, ejecución y control del servicio, tanto a nivel de UEB, provincia y nación.

Principales funciones del SERCIM.

• Realizar la planificación anual de la necesidad de herbicidas, otros medios y materiales, así como de las labores de control integral de malezas en caña de azúcar a todos los niveles de AZCUBA.

• Planificar, monitorear y evaluar programas de generalización sobre control integral de malezas, como el Programa Merlin y otros productos residuales aplicados en condiciones de suelo seco.

• Planificar, monitorear y evaluar programas de generalización sobre bioestimulantes.

• Brindar la capacitación anual sobre control integral de malezas para todas las unidades productoras de caña y unidades empresariales de base del país.

• Evaluar con fines de registro la eficacia biológica de nuevos productos herbicidas, maduradores, bioestimulantes (fito-reguladores), fertilizantes foliares y coadyuvantes en caña de azúcar.

Servicio de Labranza (SERLAB)

Yoel Betancourt Rodríguez

La mecanización agrícola se considera como una de las causas principales del deterioro de los suelos cuando se emplean técnicas agrícolas inadecuadas. Dentro de las causas principales de degradación se destacan la de facilitar la erosión, la compactación y la reducción de la materia orgánica del suelo. Según el Instituto de Suelos de Cuba, la erosión reduce la productividad del 40% de los suelos cubanos y alcanzará en un futuro próximo a cerca del 56%. Esta aseveración induce al empleo de técnicas agrícolas sustentables que contemplen la aplicación de materia orgánica, la no práctica de la quema, cultivo intercalado, siembra en contorno, rotación de cultivos, cobertura de residuos vegetales, entre otros aspectos.

Desde el punto de vista medioambiental la caña de azúcar respecto a otros cultivos ofrece bondades como el aporte de residuos y el ciclo largo para la reposición del campo, que pueden ser aprovechados para la mejora de los suelos con la aplicación conciente de labores fitotécnicas sostenibles.

De las labores agrícolas utilizadas en el cultivo de la caña de azúcar, las de mayor incidencia sobre el suelo son: la preparación del terreno para la siembra, el cultivo y la cosecha, por lo que el empleo de medidas sostenibles en la realización de las mismas tendrá un impacto significativo sobre el suelo. Algunas de las premisas a seguir para lograr tal propósito son:

1. Realizar la perturbación indispensable del suelo.
2. Lograr niveles adecuados de rugosidad en la superficie basándose en fragmentar el suelo solo lo necesario.
3. Mantener el suelo descubierto durante el menor tiempo posible.
4. Realizar la cosecha de la caña de azúcar en verde.
5. Eliminar la quema post-cosecha.
6. Propiciar el mayor porcentaje del área cubierta por residuos después de las labores.
7. Aplicar medidas para evitar la compactación del suelo y eliminarla una vez identificada.

Objetivos del SERLAB.

Asistir a las UEB y UPC en la toma de decisiones respecto a los métodos y tecnologías de labranza a utilizar en su territorio bajo criterios conservacionistas y de sostenibilidad.

Alcance del SERLAB.

• El servicio de labranza abarca a todas las Unidades de Producción Cañeras (UPC, CPA, CCS), Unidades Empresariales de Base y Empresas Provinciales del Grupo Azucarero AZCUBA.

• El servicio involucra a las Estaciones Provinciales y Territoriales de Investigaciones de la Caña de Azúcar, así como a los Grupos de Extensión y Servicios Agrícolas (GESA) del INICA.

• El establecimiento de alternativas tecnológicas, variantes operacionales y selección de medios adecuados para su realización en todas las condiciones edafoclimáticas que se cultiva la caña de azúcar.

• La recomendación de los medios a partir del parque disponible en las UPC y UEB.

• La capacitación del personal implicado con los procesos tecnológicos a los que se dirige el servicio.

• La introducción de los resultados científico-técnicos en la práctica productiva.

• La determinación de los recursos materiales y financieros para enfrentar los distintos procesos tecnológicos.

• La recomendación de nueva maquinaria a partir de las necesidades específicas de cada entidad.

• Otros aspectos relacionados con el Servicio de Labranza pueden ser encontrados en el Manual de Procedimientos.

Servicio Integral de Explotación de Riego y Drenaje (SIERIED)

Carlos José Lamelas Felipe
Reynaldo Roque Rodés

El notable incremento de los precios del azúcar y su estabilización en los últimos meses, se ha duplicado con relación a los más bajos alcanzado en los primeros años de este siglo, han provocado que el Gobierno Revolucionario haya decidido la ejecución de un Programa Emergente para recuperar la producción de caña, con el objetivo de incrementar la producción de azúcar y alcohol, fundamentalmente. Este incremento se fundamenta en la plantación de nuevas áreas y en el manejo agrícola que se practique, con el empleo de tecnologías que garanticen, altos rendimientos, eficiencia productiva, bajos costos y sobre todo la conservación de los recursos naturales, suelo y agua.

El riego y el drenaje resultan determinantes en la obtención de los objetivos propuestos. En la actualidad existen importantes disponibilidades de agua, que permiten regar más del 35% del área cañera, sistemas de riego y drenaje que funcionan una parte de ellos y otros que requieren su complementación, reconstrucción, mantenimiento, personal capacitado y experiencia acumulada.

El riego y el drenaje es la actividad que más se afectó durante la etapa crítica del período especial, no obstante es indispensable para

la recuperación cañera. La implementación de este Servicio Científico Técnico, el cual es de reciente creación, ayudará significativamente al incremento del rendimiento agrícola.

Impactos del SIERIED.

• Contribuir al logro de un mayor efecto económico del riego, por el incremento de los rendimientos agrícolas, la reducción de los costos de explotación, el aumento de la eficiencia del uso agua, y el aumento de la vida útil de las cepas.

• Mejorar la organización de la explotación de los sistemas de riego y drenaje.

• Incrementar el conocimiento de la situación de la actividad de riego y drenaje, lo que facilita las bases para una mejor explotación de los sistemas y la aplicación de una tecnología agrícola más eficiente.

• Mayor eficiencia en los métodos de control de la actividad de riego y drenaje.

• Contribución al logro de una producción cañera y agropecuaria más sostenible, con mayor equidad y estabilidad, preservando los recursos naturales suelo y agua.

Servicio de Ordenamiento Territorial (SEROT)

Manuel Pérez Izquierdo

Las premisas del Ordenamiento Territorial en las empresas del Grupo Azucarero AZCUBA, están dadas por el área de Proyección Territorial del antiguo Ministerio del Azúcar (MINAZ), la existencia y reactivación de las comisiones de topografía en las Unidades Empresariales de Base y el desarrollo alcanzado por los Servicios Científicos Técnicos, que desde finales de la última década del siglo pasado, presta el INICA a las empresas y unidades productoras de caña. También se encuentran entre los antecedentes del Ordenamiento Territorial, el estudio de evaluación de tierras llevado a cabo entre los años 2001 y 2002 en todas las áreas agrícolas del MINAZ y el catastro especializado de la agricultura cañera.

El Ordenamiento Territorial, requiere del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el manejo de la amplia información asociada al nivel de unidad mínima de manejo agrícola (UMMA). La tecnología SIG en la agricultura cañera es empleada en varios países, ejemplo de los cuales son: Australia, Sudáfrica, Colombia, Brasil, entre otros.

Utilidad de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Con la utilización de la tecnología de los SIG es posible construir una cultura de análisis con referencia geográfica, principio fundamental para el desarrollo sostenible mediante la manipulación, almacenamiento y procesamiento de una gran cantidad de datos, tanto gráficos como de atributos literales, lo que a su vez constituye un eficiente sistema de ayuda a la toma de decisiones, de enorme poder, con el que es posible realizar una labor de gestión mucho más eficiente. Sin embargo, es necesario mencionar que los SIG no solamente posibilitan aplicaciones técnicas, sino que tienen un importante componente teórico-metodológico que hacen posible mirar la realidad de una manera específica (Buzai y Robinson, 2010).

La utilización de tecnologías de Sistemas de Información Geográfica como base para la toma de decisiones concernientes a la evaluación, uso y manejo de la agricultura cañera, mostrando sus potencialidades, para la ubicación de centros de recepción, regionalización de variedades, acercamiento de las áreas cañeras, a la ubicación del ingenio, establecimiento de flujograma de transportación de caña, establecimiento del paquete tecnológico de maquinaria en función de las características físicas del suelo, recomendación de técnica y métodos de explotación de riego, seguimiento fitosanitario de plagas y enfermedades, entre otras acciones de soporte a la toma de decisiones, constituyen una importante herramienta en las tareas de planificación ambiental y ordenación del territorio (Bosque y García, 2000).

Los dos tipos de datos que constituyen todas las características geográficas (espaciales y descriptivas) son combinados en los SIG permitiendo analizar su interacción dentro de un mapa o entre varios mapas y obtener uno nuevo con características propias.

El ordenamiento territorial como un servicio científico técnico

La desarticulación de los grupos de proyección territorial en las empresas proporcionó descontrol gerencial, ilegalidades y deficiencias en el manejo agronómico del área agrícola, siendo una decisión de AZCUBA apoyar material, y administrativamente el Proyecto de Ordenamiento Territorial, para lograr con urgencia la reestructuración de tan importante segmento estructural al nivel de las empresas azucareras del país.

Para ello se debe lograr cumplimentar lo siguiente:

• Conformar un servicio de Ordenamiento Territorial en las unidades empresariales de base, que permita mayor fiabilidad en el control del suelo y su uso, así como servir de soporte para la toma de decisiones en los programas de siembra, variedades, bloquificación e identificación de factores limitantes en las unidades productoras.

• Planificación agrícola objetiva sustentada en la evaluación de las tierras, lo que permite que cada parcela de tierra perteneciente a cada unidad empresarial, sea utilizada de manera eficiente, con la mejor opción de uso, teniendo en cuenta no solo los aspectos físicos de los suelos, sino también los elementos del relieve, clima y las actividades realizadas por el hombre, así como el entorno económico y social en que se encuentra.

• Utilización de la tecnología de SIG para construir una cultura de análisis con referencia geográfica, principio fundamental para el desarrollo sostenible mediante la manipulación, almacenamiento y procesamiento de grandes cantidades de datos, tanto gráficos como literales para la toma de decisiones.

Sistema automatizado para la gestión y la asistencia científico técnica en la agricultura cañera.

Los servicios científico técnicos que cierran el ciclo de investigación en el INICA, están representados por procesos metodológicos y hasta el año 2009, fueron apoyados por softwares aislados. Surge entonces la necesidad de integrar la base informativa de estos servicios (Base

de Datos Única), así como de actualizar su plataforma para facilitar la interacción con el usuario y propiciar la toma de decisiones, posibilitando el manejo de la información agronómica de la caña de azúcar desde la base (Figura 12.10).

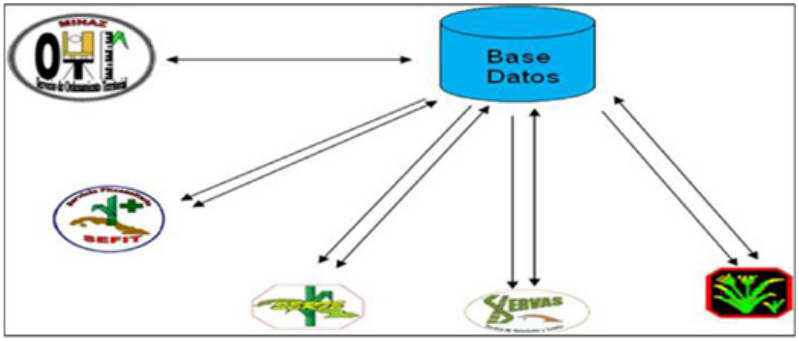


Figura 12.10. Esquema de funcionamiento de la Base de Datos Única (BDU).

Extensión Agrícola

Nancy Yumarys Zambrano Quiñones
Irán Rodríguez Delgado

La Extensión es un proceso continuo para hacer llegar una información o tecnología útil a la población (dimensión comunicativa) y para ayudarla a adquirir los conocimientos, habilidades y aptitudes necesarias para aprovechar eficazmente esa información o tecnología. En líneas generales, el objetivo del proceso extensionista en la agricultura, es hacer posible que los productores utilicen esas técnicas y conocimientos, así como la información, para mejorar su eficiencia productiva y sus condiciones de vida.

Grandes cambios en el accionar de los productores requieren de una adecuada capacitación para lograr que se adopten adecuadamente las tecnologías e innovaciones que se realizan tanto por los centros de investigación como por otros productores. La generalización de resultados novedosos, por lo general, implica que se adiestre al productor en las tecnologías y técnicas a emplear.

Se puede sintetizar en pocas palabras las características relevantes del procedimiento de Extensión Agrícola: participación, planificación y metodología.

El proceso de la enseñanza en la labor de extensión agrícola.

La educación persigue desarrollar integralmente al individuo para que perciba y logre los goces de la verdad y alcance un balance armonioso de personalidad, es decir, de su intelecto, carácter, apreciación y bienestar.

Por una parte el extensionista brinda informaciones a aquellas personas que desean aprender y por otra a aquellos que no lo desean, los debe incentivar y despertarle el deseo de capacitarse. En ocasiones debe vencer la fuerte resistencia que presentan los productores a la adopción de nuevas ideas. La eficiencia del trabajo de Extensión Agrícola depende de la habilidad del extensionista, en cada situación de aprendizaje y de los métodos y técnicas más apropiados que se apliquen (Zambrano et al., 2005).

La enseñanza no es sólo el suministro de conocimientos, también es un proceso de integración entre el maestro (el extensionista), el educando (el productor), el contenido y los materiales de enseñanza en un ambiente propicio.

Las áreas de resultados claves en las que el servicio de extensión agrícola necesita trabajar para alcanzar mejores resultados y mayor impacto en la producción cañera cubana, son las siguientes:

• La asistencia técnica preventiva a las labores agrícolas de las Unidades Productoras de Caña, en especial hacia las labores que repercuten con mayor incidencia en la elevación eficaz de los rendimientos agrícolas.

• La utilización óptima y eficaz de los locales de capacitación de las Unidades de Producción Cañera y UEB.

• El correcto uso metodológico de las técnicas de extensión agrícola y su adecuada planificación, ejecución y divulgación.

• La constante satisfacción por parte del INICA de las demandas tecnológicas que necesita el productor agrícola cañero.

• La superación constante de los agentes de extensión a todos sus niveles.

Adopción de una nueva tecnología.

Lo apropiado o ventajoso en la puesta en práctica de una técnica, uso de un insumo o procedimiento en la agricultura se traduce en lo que es factible para el agricultor y lo que signifique menos costo, esfuerzo humano, mayor rendimiento y calidad de la cosecha, que a su vez implica beneficio económico y sustentable.

Las personas normalmente no adoptan una nueva técnica o idea tan pronto sabe de su existencia, sino que pueden pasar varios años antes de ponerla en práctica por primera vez y antes de tomar una decisión final, generalmente se pasa por diferentes etapas las cuales no deben ser violentadas ya que pueden provocar el fracaso de la adopción correcta de la tecnología. Es precisamente el servicio de extensión agrícola el encargado de acortar el tiempo entre la generación de una tecnología y su generalización y correcta adopción por parte de los productores.

Condiciones principales que debe reunir un buen extensionista

Procedencia: Preferiblemente debe seleccionarse de las comunidades o zonas donde desempeñará su labor de extensión.

Vocación: Quien realice labor de Extensión necesita tener vocación para la misma.

Sensibilidad: El extensionista tiene que sentir suyos los problemas que percibe en su diario acontecer.

Capacidad técnica: La capacidad técnica no solo es la suma de conocimientos técnicos que el extensionista debe poseer en alto grado, sino, principalmente, en el criterio que debe tener para aplicar esos conocimientos. Ello implica la necesidad de asesorarse de un especialista cuando el caso lo requiera.

Modestia: El extensionista debe tener la modestia suficiente para ocultar su yo en la participación que le corresponda en las actividades de Extensión Agrícola y para no atribuirse los méritos de sus éxitos. Antes, por el contrario, debe siempre destacar el valor de la participación de los productores y demás personas que han contribuido a la solución de los problemas.

Iniciativa: La labor de Extensión Agrícola es una disciplina que obedece a principios fundamentales y a una técnica conocida. Sin embargo, es sobre todo, una creación personal, de modo que quien no tenga iniciativa no puede desarrollarla en forma conveniente.

Conciencia social: Los extensionistas deben tener conciencia de que los conocimientos universitarios que han logrado adquirir no son solo atribuidos a un esfuerzo personal, sino, principalmente a la sociedad en que viven que hizo posible que tales conocimientos les fueran otorgados, y a ella deben ser devueltos, por espíritu de justicia y porque esa es la única forma de obtener el integral desarrollo de la sociedad.

Bibliografías

Agüero, F. C. (2006). Sociedad, Cultura y Currículo escolar. Reflexiones, Análisis y Propuestas desde un Análisis de Caso en Cuba. Tesis de Doctorado. Münster, Alemania, Universidad de Oviedo. h. 308.

Álvarez, A. (2001). Las malas hierbas reducen la zafra 2002 en 1,4 millones de toneladas de azúcar: 54 millones de dólares menos netos. En: Ciencias de Malezas. II Congreso Nacional Ciencias de Malezas. La Habana, Cuba, Memoria digital en CD-ROM, pp. 56-58.

Anderson, D. L. y Bowen, J. E. (1994). Nutrición de la caña de azúcar. Canada: Potash & Phosphate Institute (PPI); Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) y Foundation for Agronomic Research (FAR). p. 40.

Anliker, W. (2010). Astrología vs. Ciencia [en línea]. México, Astro Walter-Com. Disponible en: Walter Agricultura Biodinámica.mht [Consulta: 02 agosto 2012].

Arzola, N. (2000). Empleo de fuentes alternativas de nutrientes en caña de azúcar. Cuba Azúcar, Volumen 29 (No. 4), 48-51.

AZCUBA. (2012a). Serie histórica de producción de azúcar desde 1959 hasta fecha. La Habana, Cuba: Grupo Azucarero Nacional.

AZCUBA. (2012b). Informe de Balance de la Zafra 2011-2012. La Habana, Cuba: Grupo Azucarero.

Barberi, P. (2003). Métodos preventivos y culturales para el manejo de malezas [en línea]. Cuba. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/007/y5031s/y5031s0e.htm [Consulta: 02 diciembre 2010].

Boletín. (2001). "Estudio alternativo de la caña de azúcar como recurso alimenticio y energético- un modelo integrado (I). Boletín de alerta informativa, Volumen 2 (No. 1. enero), 2-5.

Borden, R. J. (1943). Nitrogen effects upon the yield and crop of sugar cane. Haw. Planters Records, (52), 1-54.

Bosque, J. y García, Rosa C. (2000). Anales de Geografía de la Universidad Complutense. Informe de investigación 20. Argentina.

Brolo, G. A. (2004). Historial de la distribución de malezas en el cultivo de caña de azúcar (saccharum spp.) en la costa sur de Guatemala. Trabajo de Diploma. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas. hh. 16-17.

Buzai, G. D. y Robinson, D. J. (2010). Sistemas de información geográfica en América Latina (1987-2010). Un análisis de su evolución académica basado en la CONFIBSIG.

Caraballoso, V. (2012). Bases científicas para la definición de una estrategia de aprovechamiento de los recursos fitogenéticos, mediante el uso de la floración de la caña de azúcar. Tesis de Doctorado. La Habana, Cuba, Ministerio del Azúcar. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. h. 93.

Castellanos, R. J. (2001). Evolución histórica de la distribución territorial de la producción azucarera: análisis, resumen y conclusión. tomo 1. La Habana. Cuba: Instituto de Planificación Física, Departamento de Investigaciones. pp. 22-25.

Chinea, A., Nass, H., Davoin, C. y Diez, M. D. (2002). Enfermedades y daños de la caña de azúcar en Latinoamérica. Barquisimeto, Venezuela: Editorial Continental. p. 108.

Chinea, A., Rodríguez, E. L., Pérez, O. G. y Cabrera, M. L. (2011). Inventario de enfermedades de la caña de azúcar detectadas en Cuba y estrategia para su control. En: Universidad Agraria de La Habana. Agrociencias. La Habana, Cuba, Memoria en CD-ROM ISBN 978-959-16-1367-7, p. 9.

Correo (2007). Control simplificado de malezas en cereales. La Revista de Bayer CropScience para la Agricultura Moderna, Volumen 2 (No. 07), 9-11.

Crespo, R. (2007). Las Prácticas Agronómicas en la Caña de Azúcar. México: Curso para la maestría en Caña de azúcar. Universidad Veracruzana. Folleto. Córdova.

Cuéllar, I. A.; De León, M. E.; Gómez, A.; Piñón, Dolores; Villegas, R. y Santana, I. (2003). Caña de Azúcar. Paradigma de sostenibilidad.

1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial PUBLINICA. pp. 15-170. ISBN 959-7023-24-6.

Cuéllar, I., Villegas, R., De León, M. y Pérez, H. (2002). Manual de Fertilización de la Caña de Azúcar en Cuba. 1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial PUBLINICA.

De León, M. E. (2001). Perfeccionamiento del sistema nacional de recomendaciones y control del uso de fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar, En Informe final del proyecto CITMA 00101104 "Fundamentación científico técnica de las necesidades de fertilizantes minerales en el cultivo de la caña de azúcar y sus métodos de diagnóstico". La Habana, Cuba: INICA.

Díaz, J. C. (2005). Modelación, Perfeccionamiento y Generalización del Sistema Automatizado para el Control Integral de Malezas en Caña de Azúcar PC Malezas. Informe de investigación. Proyecto de investigación y desarrollo 00101167. La Habana, Cuba: CITMA.

Díaz, J. C. y Pérez, E. (2004). Manejo integrado de malezas en principales cultivos económicos. La Habana, Cuba.

Edmé, S. J.; Miller, J. D.; Graz, B.; Tai, P. y Comstock, J. (2005). Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. Crop Sci, (45), 92-97.

Febles, J. M. y Durán, J. L. (2006). Manual de erosión y conservación de suelos. 2da ed. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela. pp. 45-62. ISBN 959-258-989-5.

Fernández, W. (2012). Cuba con más del 27% de superficie boscosa. Periódico Granma. p. 1.

Fonseca, J. R. (2005). Riego por aspersión. Manual de explotación. Ediciones PUBLINICA. La Habana. Cuba. 56 p.

Funes, R. (2010). De los bosques a los cañaverales: una historia ambiental de cuba 1492-1926. 1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial Ciencias Sociales. pp. 27-76. ISBN 978-959-06-0967-1.

García, E. (2005). Material de apoyo al Diplomado en Caña de Azúcar. Universidad "Máximo Gómez", Ciego de Ávila, Cuba. Ministerio de Educación Superior, h. 66

García, I. (2005). Manejo pos-cosecha de cobertura y cultivo de descompactación en retoños de caña de azúcar. Tesis de Maestría. Cuba, Universidad de Cienfuegos.

García, I., Sánchez, Maritza., Betancourt, Y. y Vidal, M. L. (2011). Normativas para el uso del penetrómetro de impacto en el diagnóstico de la compactación de los suelos en caña de azúcar. Revista Cuba & Caña, (No. 2), 54-60.

González, R. M., Almeida, R., Jorge, H. y Jorge, Ibis. (2004). Principales variedades de caña de azúcar empleadas en Cuba con fines comerciales en los últimos 40 años. En: INICA. 40 Aniversario de la creación del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba, PUBLINICA

Guzmán, G. I. y Alonso, A. M. (2001). Manejo de malezas (flora espontánea) en agricultura ecológica. Informe de investigación. España: Comité Andaluz de Agricultura Ecológica.

Hernández, A., Pérez, J., Bosch, D. y Rivero, L. (1999). Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. 1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial AGRINFOR.

Humbert, R. P. (1965). El cultivo de la Caña de Azúcar. 1ra ed. La Habana, Cuba: Editora Universitaria. pp. XIII-XX.

INICA. (2005). Curso para cañicultores. Venezuela: Ministerio de Agricultura y Tierras. Corporación Venezolana Agraria (CVA). Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. p. 327.

INICA (2001). Evaluación de la Aptitud Física de las Tierras dedicadas al Cultivo de la Caña de Azúcar. Informe Nacional (Primera Aproximación). La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.

INICA. (2007). Instructivo Técnico para la Producción y Cultivo de la Caña de Azúcar. Primera Edición ed. La Habana, Cuba: PUBLINICA. p. 166. ISBN ISSN1028-6527.

INICA, MINAZ. (2010). Reglamento para la producción de semilla de caña de azúcar. La Habana, Cuba: Editorial PUBLINICA. p. 20.

Instituto de Suelos. (2001). Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos. 1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial Agrinfor. p. 39.

ISSCT. (2010). Common Names of sugarcane diseases and their causal agents [en línea]. Great Britain. Disponible en: http://www.isppweb.org/ccn.htm [Consulta: 18 abril 2012].

Jorge, H.; Jorge, Ibis; Mesa, J. M. y Bernal, N. (2011). Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la caña de azúcar en Cuba. La Habana, Cuba: PUBLINICA. p. 346. ISBN 1028-6527.

Jorge, H.; Suárez, O.; García, H.; Jorge, Ibis; Santana, I.; Hernández, J. y Crespo, R. (2003). Variedades de caña de azúcar. Uso en la alimentación del ganado vacuno. La Habana, Cuba: PUBLINICA. p. 33. ISBN 1028-6527.

Lamelas, C (2004). Planificación y manejo eficiente del riego en el CAI "Gregorio A. Mañalich". Resumen Tesis Maestría. Universidad Agraria de La Habana. INICA. 63 pp.

Lamelas, C (2011). Proyecto. Planificación y Operación de los sistemas de Riego y Drenaje y los Recursos Hídricos en Caña de Azúcar. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana, Cuba.

Lamelas, C; Roque, R. (2012). El riego y drenaje en el cultivo de la caña de azúcar. Instructivo técnico INICA. Pp 29. La Habana, Cuba. (En proceso de publicación).

Loveland, P. y Webb, J. (2003). Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review? Soil Tillage & research, Volume 70 (No. 1), 1-18.

Márquez, A. y Borges, O. (2007). Por una Agricultura Sostenible en la Cooperativa de Crédito y Servicios Fortalecida (CCSF) "Enrique Campos Caballero" de Guantánamo. Revista Agricultura Orgánica, Volumen 13 (No. 2), 46-47.

Martín, J. R.; Gálvez, G.; De Armas, R.; Espinosa, R.; Vigoa, R. y León, A. (1987). La caña de azúcar en Cuba. 1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial Científico-Técnica. pp. 14-16.

Meneses, J; J. Del Rosario; L. Vidal y J. A. Rodríguez (2000). Cuba & Caña. Resumen 1999 - 2000. p: 15 – 19.

Monroig, M. F. (2010). Control integrado de malezas en el cafetal [en línea]. Cuba. Disponible en: http://academic.uprm.edu/mmonroig/id64.htmm [Consulta: 02 diciembre 2010].

Moreno, M. (1964). El Ingenio: el complejo económico social cubano del azúcar (tomo 1. 1760-1860). 1ra ed. La Habana, Cuba: Empresa Consolidada de Artes Gráficas. Comisión Nacional Cubana de la UNESCO. pp. 63-138.

Moreno, M. (1978). El Ingenio: complejo económico social cubano del azúcar. 3ra ed. La Habana, Cuba: Editorial de Ciencias Sociales. pp. 7-48.

Muñiz, O. (2008). Los microelementos en la agricultura. Ministerio de la Agricultura, Instituto de Suelos. La Habana, Cuba: Agrinfor. p. 132. ISBN 978-959-246-201-4.

Pablos, P. (2008). Perfeccionamiento de los criterios utilizados para la fertilización nitrogenada de la caña de azúcar en Cuba. Tesis de Doctorado. La Habana, Cuba, Ministerio del Azúcar. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. h. 100.

Pablos, P.; León, M. de; Cortegaza, P. L.; Osorio, N. y Villegas, R. (2007). Afectación de la materia orgánica del suelo bajo diferentes condiciones de manejo. Evento por el 60 Aniversario de la EPICA de Jovellanos. Varadero-Matanzas, junio 5 al 9, ISBN 1021-6527.

Pérez, J. R; Cuellar; I; Fonseca, J. R. (2004). Caña de azúcar: Captación, conservación y manejo sostenibles del agua y la humedad del suelo. Serie Caña de Azúcar. Siglo XXI. La Habana, Cuba. 42 p.

Pineda, Emma., Vandrel, O. y González, Maribel. (2002). Curso de Agroecología y Manejo de Agro sistemas. Curso para los Productores de Barinas y Cojedes. Venezuela. La Habana, Cuba: Ministerio del Azúcar, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.

Reynoso, Á. (1862). Ensayo sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar en Cuba. La Habana, Cuba: Editorial Nacional.

Riverol, M. (2007). Tecnología Integral para el Manejo de Suelos Erosionados. La Habana, Cuba: Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura.

Rodríguez, Clara Nydia., Ricardo, N. E., Díaz, J. C., Espino, A., Fuentes, A., Rodríguez, A. y Pérez, D. (2005). Principales malezas en los cañaverales de Cuba. 1ra ed. La Habana, Cuba: PUBLINICA.

Rodríguez, I., Pérez, H., Vera, A., Concepción, E., Morales, Leydi., Domínguez, N., Nápoles, R. y Rodríguez, E. (2012). Establecimiento de prácticas agrícolas para mitigar la degradación de suelos cañeros en la UBPC Tuinucú. Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC), Volumen 73 (No. 1. enero-abril), 6-10.

Rodríguez, I., Pérez, H. y Cruz, O. (2010). Prácticas agrícolas establecidas para evitar la degradación de los suelos en la UBPC Tuinucú. Revista Cuba & Caña, (No. 1), 51-56.

Rodríguez, J., Almarales, E., Cuadras, F. y Rodríguez, J. F. (2007). Sistema técnico de explotación de la maquinaria agrícola y principios básicos para la organización de la cosecha de la caña de azúcar.

La Habana, Cuba: Cuadernillo 8. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.

Rodríguez, J. (2008). Las malezas y el agroecosistema. Unidad de Malezas. Universidad de la República Oriental del Uruguay: Departamento de Protección Vegetal, Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía.

Roldós, J. E.; Pérez, J. y Casas, M. (2000). Capacidad nitrofijadora de la cepa 8 INICA de Azospirillum sp. y su relación con la caña de azúcar. La Habana, Cuba: PUBLINICA.

Ruiz, J., González, R., Marín, M. y Hernández, F. (2001). Penetrómetro de impacto para diagnosticar el cultivo a los retoños. Revista Cuba & Caña, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.

Santana, I., Santos, J. C., Guillén, S., Sánchez, M., Velarde, E., Jorge, H., Sulroca, F., De, M., Benítez, Ledya., Zambrano, Yumarys y Acevedo, R. (2007). Instructivo de la Caña de Azúcar. 1ra ed. La Habana, Cuba: Editorial PUBLINICA. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Ministerio del Azúcar.

Seidán, F. (2009). Caña de azúcar: El cultivo del futuro. Revista Producción Agroindustrial. Tucumán, Argentina, (No. julio-agosto), 26-27.

SERVAS. (2010). Manual de procedimiento tecnológico del Servicio de Variedades y Semilla. La Habana, Cuba: PUBLINICA. p. 14.

Socorro, A.; Padrón, R.; Pretel, R. y Parets, R. (2004). Modelo Alternativo para la Racionalidad Agrícola: el significado del desarrollo sostenible para la agricultura. 1ra ed. Cienfuegos, Cuba: Edición Especial para la Universalización de la Educación Superior. pp. 18-20.

Stolf, R., Fernández, J. y Fuslani, V. L. (1983). An impact penetrometer model to determine the deep tillage in sugarcane areas. En: ISSCT. XVIII Congress International Society Sugar Cane Technology (ISSCT). Agricultural Commission. La Habana, Cuba, Resúmenes, pp. 853-867.

Tarjuelo, J. M. (2005). El riego por aspersión y su tecnología. Ediciones Mundi-Prensa. España.

Urquiaga, S. y Zapata, F. (2000). Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Porto Alegre: Génisis, Rio de Janeiro. Brasil: Embrapa Agro-biología. p. 110.

Urquiza, María Nery; Alemán, C.; Flores, L.; Ricardo, Marta Paula y Aguilar, Yulaidis. (2005). Programa de Asociación de País "Apoyo al Programa de Lucha contra la Desertificación y la Sequía" Manejo Sostenible de Tierra (MST). La Habana, Cuba: Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

Van Dillewijn, C. (1973). Botánica de la caña de azúcar. La Habana, Cuba: ed. Revolucionaria.. Instituto Cubano del Libro.

Van Dillewijn, C. (1975). Botánica de la caña de azúcar. Nutrición. La Habana, Cuba: Edición Revolucionaria. Segunda ed. Instituto Cubano del Libro. p. 257-354.

Biografía

Hipólito Pérez Iglesias.

Enero de 1944, Villa Clara, Cuba.
Ingeniero Agrónomo (1969). Doctor en Ciencias Agrícolas (1983).
Investigador Titular (1981). Profesor Titular. (2004).
Especialista en Suelos, Nutrición y Fertilización.
Fundador del INICA (1964). Actualmente profesor Titular de la Unidad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala.

Ignacio Santana Aguilar.

Junio de 1958, Matanzas, Cuba.
Ingeniero Agrónomo (1983), Doctor en Ciencias Agrícolas (1995). Investigador Titular (2008).
Especialista en Biotecnología de las plantas.
Actualmente Director General del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (inica), Cuba.

Irán Rodríguez Delgado

Octubre de 1967, Sancti Spíritus, Cuba.
Ingeniero Agrónomo (1992), Máster en Ciencias Agrícolas (2009).
Investigador Agregado (2011). Profesor adjunto (2012).
Actualmente profesor Titular de la Unidad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala.

Manejo Sostenible de Tierras
en la Producción de Caña de Azúcar
Tomo II
Se terminó de imprimir en marzo de 2016 en la
imprenta de la UTMACH, calle Loja y 25 de Junio
(campus Machala)
Esta edición consta de 300 ejemplares.

www.utmachala.edu.ec

El programa de Reingeniería del Conocimiento en la Universidad Técnica de Machala (UTMACH) es un modelo emergente de gestión de la investigación que promueve saberes científicos con pertinencia social. Desde el Vicerrectorado Académico impulsamos la investigación colectivista, donde docentes y estudiantes se engranan en la construcción y divulgación del resultado de sus ejercicios pedagógicos, heurísticos y de vinculación social, en aras de contribuir con el fortalecimiento de nuestras ventajas comparativas y competitivas a nivel transfronterizo.

Mediante este programa estratégico la UTMACH impacta sus imaginarios respecto a la relación de la docencia con la investigación, muestra de ello es la presente obra donde se cristaliza el empoderamiento y profesionalismo de sus actores y redes al servicio de la formación crítica de profesionales de avanzada.

En la UTMACH seguimos conquistando el conocimiento a través de la investigación, por ello en cada acción emprendida ***proyectamos nuestra historia***.

Ing. Amarilis Borja Herrera, Mg. Sc.
VICERRECTORA ACADÉMICA.

REINGENIERÍA DE LA INVESTIGACIÓN

UTMACH

INICA

MANEJO SOSTENIBLE DE TIERRA
OPS CUBA
ACTÚA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN Y LA SEQUÍA

ISBN: 978-9942-24-031-6
9 789942 240316

AZCUBA
GRUPO AZUCARERO