



CENTRO INTERNACIONAL DE ESTUDOS
DE DOUTORAMENTO E AVANZADOS
DA USC (CIEDUS)

TESIS DE DOCTORADO

**INCREMENTO DE LA
PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR
UTILIZANDO VARIEDADES DE
CAÑA DE AZÚCAR
MEJORADAS Y UN MODELO DE
GESTIÓN**

Héctor Manfredo Orozco Vásquez

ESCUELA DE DOCTORADO INTERNACIONAL
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INVESTIGACIÓN AGRARIA Y
FORESTAL

LUGO
AÑO 2018





CENTRO INTERNACIONAL DE ESTUDOS
DE DOUTORAMENTO E AVANZADOS
DA USC (CIEDUS)

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR UTILIZANDO VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR MEJORADAS Y UN MODELO DE GESTIÓN

Memoria presentada para optar al Grado de Doctor por la
Universidad de Santiago de Compostela por el Ingeniero
Don Héctor Manfredo Orozco Vásquez

Directores: Dr. D. Santiago Pereira Lorenzo
Dr. D. José Luis Quemé de León
Dr. D. Mario Melgar Morales

Lugo, 2018



DECLARACIÓN DEL AUTOR DE LA TESIS

D. Héctor Manfredo Orozco Vásquez

**INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR UTILIZANDO
VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR MEJORADAS Y UN MODELO DE
GESTIÓN**

*Presento mi tesis, siguiendo el procedimiento adecuado al
Reglamento, y declaro que:*

- 1) *La tesis abarca los resultados de la elaboración de mi trabajo.*
- 2) *En su caso, en la tesis se hace referencia a las colaboraciones que tuvo este trabajo.*
- 3) *La tesis es la versión definitiva presentada para su defensa y coincide con la versión enviada en formato electrónico.*
- 4) *Confirmando que la tesis no incurre en ningún tipo de plagio de otros autores ni de trabajos presentados por mí para la obtención de otros títulos.*

En Lugo, 19 de julio de 2018



Fdo: Héctor Manfredo Orozco Vásquez





CENTRO INTERNACIONAL DE ESTUDOS
DE DOUTORAMENTO E AVANZADOS
DA USC (CIEDUS)

AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR / TUTOR DE LA TESIS

INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR UTILIZANDO VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR MEJORADAS Y UN MODELO DE GESTIÓN

Dr. Santiago Pereira Lorenzo, Dr. Ingeniero Agrónomo,
Catedrático de la Universidad de Santiago de Compostela (USC)
del Área de Producción Vegetal y Proyectos de Ingeniería.

Dr. José Luis Quemé de León, Dr. Ingeniero Agrónomo,
Profesor horario de la Universidad de San Carlos de Guatemala
(USAC) del área de Estadística.

Dr. Mario Francisco Melgar Morales, PhD, Director General
de CENGICAÑA.

INFORMA/N:

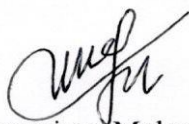
*Que la presente tesis, corresponde con el trabajo realizado por D.
Héctor Manfredo Orozco Vásquez, bajo nuestra dirección, y
autorizamos su presentación, considerando que reúne los
requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de
Doctorado de la USC, y que como directores de ésta no
incurre en las causas de abstención establecidas en Ley
40/2015.*

En Lugo, 19 de julio de 2018

Fdo. Dr. Santiago Pereira Lorenzo

A handwritten signature in black ink, enclosed in a hand-drawn oval. The signature is highly stylized and cursive.

Fdo. Dr. José Luis Quemé de León

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke.

Dr. Mario Francisco Melgar Morales



DEDICATORIA

A Dios y a mis padres, por permitirme la vida y alcanzar este importante logro.

A mi esposa María Evelia Avalos Torres, quien durante 36 años de vida conyugal ha sido mi bastón y más profunda inspiración.

A mis hijos María Gabriela, Pablo Augusto y Héctor Rodolfo, por ser luz terrenal que ilumina mi camino y el mayor orgullo de mi vida.



AGRADECIMIENTOS

Al Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) y su Junta Directiva, por el apoyo en la autorización y la provisión de los recursos necesarios para la ejecución de este trabajo, y por creer en la investigación y en el proyecto de variedades de caña de azúcar propias y adecuadas para Guatemala.

Al Comité Técnico Agrícola de CENGICAÑA en especial al Ing. Rolando Acevedo, de la Corporación Pantaleón/Concepción, por facilitar los datos que dieron origen a esta tesis. También a los ingenieros Rolando Duarte, Sergio Velásquez, Luis Fernando Díaz, Fernando Barneond y Vinicio Paz, por compartir sus experiencias en los procesos de planeamiento varietal.

Al Dr. D. Santiago Pereira Lorenzo, por su orientación en todo momento en la realización de este trabajo, por sus sugerencias y por el aporte de su valiosísimo tiempo; pero sobre todo, por su amistad.

Al Dr. D. José Luis Quemé por su orientación en la ejecución de este trabajo. Sobre todo por su apertura para discutir los temas con toda la amplitud y franqueza necesaria.

Al Dr. D. Mario Melgar Morales, Director General de CENGICAÑA, por el permanente soporte, interés y cooperación, para que el programa de Doctorado Internacional en Agricultura y Medioambiente encontrara un buen camino y rindiera frutos.

Al Dr. D. Agustín Merino, coordinador del programa de Doctorado en Agricultura y Medioambiente (DIAM), por el entusiasmo y trabajo puestos para que me uniera al DIAM y llevar a feliz término el programa.

Al Dr. Fredy Longo, por su valioso apoyo con las gestiones ante la USC.

Al Perito Contador Rafael Buc por el apoyo en los análisis estadísticos y manejo de Bases de Datos.

A la señorita Karen Corado por su apoyo permanente en la edición de este trabajo.

Al Lic. Estuardo Catalán de la Biblioteca Pedro Escaler de CENGICAÑA, quien estuvo presto a la búsqueda y adquisición de la literatura que se utilizó en la redacción de esta memoria de tesis.

A la Dra. Dña Ana María Ramos Cabrer de la USC, por su ayuda en la revisión, elaboración y maquetación del documento.



RESUMO

En Guatemala a cana de azucre é un cultivo importante desde o punto de vista social e polo valor que achega o azucre a súa economía. A Agroindustria Azucreira de Guatemala incrementou a súa produtividade de azucre en t de azucre por ha (TAH) en preto do 100% desde 1960 ata a data, pero esta tendencia debe continuar para mellorar a súa competitividade. As variedades melloradas CG e introducidas liberadas por CENGICAÑA teñen a potencialidade de contribuír co incremento sostido do TAH. Os obxectivos deste estudo foron avaliar o impacto das variedades liberadas e o uso dun Modelo de Xestión de Variedades de Cana de Azucre (MGVCA) no aseguramento do incremento do TAH e melloramento da sustentabilidade do cultivo. O estudo baseouse en datos recollidos de lotes comerciais da corporación Pantaleón-Concepción durante as zafras 2013-14 a 2017-18, e a súa proxección á zafra 2020-21, con información de área cultivada, variedade, TAH e o seu compoñentes rendemento de cana en t de cana por ha (TCH) e concentración de azucre (CS) en kg de azucre por t de cana. O incremento de TAH, TCH e CS estimouse mediante comparacións entre lotes con variedades recomendadas e non recomendadas. A contribución das variedades no incremento sostido do TAH obtívose comparando os incrementos en TAH, TCH e CS das nove zafras estudadas. A sustentabilidade do cultivo estimouse a partir do incremento das TAH segundo a xenética varietal, tanto no número como na área das variedades adoptadas. A efectividade do MGVCA baseouse nas taxas de adopción das variedades recomendadas. O impacto das variedades liberadas viuse reflectido no incremento das TAH en 0,78, cun valor anual de 0,08 TAH, mediante o incremento de 5 TCH e 3,5 CS. A adopción das variedades nun 68% permitiu estimar que a AIA de Guatemala aumentará a súa TAH en 0,78 na zafra 2021-22, cuns escenarios varietales equilibrados en número e proporción de área. En conclusión, as variedades melloradas e o uso do Modelo de Xestión de variedades de cana de azucre contribuíron no incremento sostido da produtividade de azucre en Guatemala.

Palabras clave: Variedades de cana de azucre, incremento da produtividade de azucre, manexo de variedades de cana de azucre, adopción de variedades, modelo de xestión de variedades.

RESUMEN

En Guatemala la caña de azúcar es un cultivo importante desde el punto de vista social y por el valor que aporta el azúcar a su economía. La Agroindustria Azucarera de Guatemala ha incrementado su productividad de azúcar en t de azúcar por ha (TAH) en cerca del 100% desde 1960 hasta la fecha, pero esta tendencia debe continuar para mejorar su competitividad. Las variedades mejoradas CG e introducidas liberadas por CENGICANÑA tienen la potencialidad de contribuir con el incremento sostenido del TAH. Los objetivos de este estudio fueron evaluar el impacto de las variedades liberadas y el uso de un Modelo de Gestión de Variedades de Caña de Azúcar (MGVCA) en el aseguramiento del incremento del TAH y mejoramiento de la sostenibilidad del cultivo. El estudio se basó en datos recogidos de lotes comerciales de la corporación Pantaleón-Concepción durante las zafas 2013-14 a 2017-18, y su proyección a la zafa 2020-21, con información de área cosechada, variedad, TAH y sus componentes rendimiento de caña en t de caña por ha (TCH) y concentración de azúcar (CS) en kg de azúcar por t de caña. El incremento de TAH, TCH y CS se estimó mediante comparaciones entre lotes con variedades recomendadas y no recomendadas. La contribución de las variedades en el incremento sostenido del TAH se obtuvo comparando los incrementos en TAH, TCH y CS de las nueve zafas estudiadas. La sostenibilidad del cultivo se estimó a partir del incremento de las TAH según la genética varietal, tanto en el número como en el área de las variedades adoptadas. La efectividad del MGVCA se basó en las tasas de adopción de las variedades recomendadas. El impacto de las variedades liberadas se vio reflejado en el incremento de las TAH en 0,78, con un valor anual de 0,08 TAH, mediante el incremento de 5 TCH y 3,5 SC. La adopción de las variedades en un 68% permitió estimar que la AIA de Guatemala aumentará su TAH en 0,78 en la zafa 2021-22, con unos escenarios varietales equilibrados en número y proporción de área. En conclusión, las variedades mejoradas y el uso del Modelo de Gestión de variedades de caña de azúcar contribuyeron en el incremento sostenido de la productividad de azúcar en Guatemala.

Palabras clave: Variedades de caña de azúcar, incremento de la productividad de azúcar, manejo de variedades de caña de azúcar, adopción de variedades, modelo de gestión de variedades.

ABSTRACT

Sugarcane is an important crop due to its social impact and economy contribution in Guatemala. The Guatemalan sugar industry has been increasing sugar yield in t of sugar per ha (TSH) in approximately 100% since 1960, but this improvement needs to continue to enhance competitiveness. Released CG and introduced sugarcane varieties by CENGICAÑA have the potential to increase sugar yield and crop sustainability. The objectives of this study were to evaluate released sugarcane varieties and the use of a Sugarcane Variety Management Model (SCVMM) on sustainable sugar yield increase and improvement of crop sustainability. The study was based on primary data collected from commercial fields in the Pantaleón-Concepción sugar mills during 2013-14 to 2017-18 and the projections up to 2020-21 harvest seasons. Data comprised harvested area, variety and TSH and its components t of cane per ha (TCH) and sucrose content (SC) in kg of sugar per t of cane. TSH and its components were estimated from a comparison between fields with recommended and non-recommended varieties. Contribution of released varieties on the sustainable increase of TSH was obtained from TSH increase of the nine harvest seasons. Crop sustainability was measured based on TSH increase and number and area of adopted varieties in the nine studied harvest seasons. The SCVMM effectiveness was associated to adoption rate of released varieties. Results indicated that impact of released varieties increased sugar yield up to 0.78 TSH, with a yearly average of 0.08 TSH, by an increase of 5 TCH and 3.5 SC. Varieties adopted in 68% allowed estimation that the Guatemalan sugar industry will increase 0.78 TSH by the harvest season 2021-22 in a more balanced varietal composition. In conclusion, released sugarcane varieties and the use of the SCVMM ensured the sustainable increase of sugar yield in Guatemala.

Keywords: Sugarcane released varieties, sugar yield increase, variety management model, variety adoption.



INDICE DE CONTENIDOS

Pág

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL MUNDO Y EN GUATEMALA	3
1.2 PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR	4
1.2.1. Concepto de productividad de azúcar	4
1.2.2. Mecanismos para incrementar la productividad de azúcar	5
1.2.3. Evolución de la productividad de azúcar	8
1.3. DISPONIBILIDAD Y ROL DE LAS VARIEDADES MEJORADAS EN EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR	15
1.3.1. Obtención, desarrollo y liberación de variedades mejoradas.....	15
1.3.2. Medición del impacto en el incremento de la productividad de azúcar	23
1.4. ESTRATEGIAS PARA LA TRANSFERENCIA Y ADOPCIÓN DE VARIEDADES LIBERADAS.....	25
1.4.1. Factores que intervienen en la adopción.....	25
1.4.2. Estrategias para acelerar la adopción de variedades de caña de azúcar en otros países	26
1.5 MODELOS DE GESTIÓN DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR	29
1.5.1. Concepto de un modelo de gestión de variedades de caña de azúcar	29
1.5.2. Diferencias de un modelo de gestión de variedades y un sistema de transferencia tradicional.....	30
1.6 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	31
2. OBJETIVOS	35

INDICE DE CONTENIDOS (cont)	Pág
2.1 OBJETIVO GENERAL	35
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.1 ÁREA Y PERÍODO DE TIEMPO DEL ESTUDIO.....	39
3.2 PREMISAS Y SUPUESTOS DEL MGVCA.....	40
3.3 VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR USADAS EN EL ESTUDIO.....	41
3.4 APLICACIÓN DEL COMPONENTE PLANEAMIENTO VARIETAL	43
3.5 MONITOREO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR Y ADOPCIÓN DE LAS VARIEDADES MEJORADAS	45
3.6 ESTIMACIÓN DEL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR	46
3.7 MEDICIÓN DE LA TASA DE ADOPCIÓN	50
4. RESULTADOS	55
4.1 INCREMENTO DE TAH, TCH Y CS COMO IMPACTO DE LAS VARIEDADES RECOMENDADAS EN EL MODELO	55
4.2 TASA DE ADOPCIÓN DE LAS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR RECOMENDADAS.....	58
4.3 EL BALANCE DE LAS COMPOSICIONES VARIETALES EN LOS NUEVOS ESCENARIOS.....	62
5. DISCUSION.....	67
5.1 ESTIMACIÓN DEL INCREMENTO DE TAH, TCH Y CS COMO IMPACTO DE LAS VARIEDADES RECOMENDADAS EN EL MODELO	67
5.2 ADOPCIÓN DE LAS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR RECOMENDADAS.....	70
5.3 EL BALANCE DE LAS COMPOSICIONES VARIETALES EN LOS NUEVOS ESCENARIOS.....	74
6. CONCLUSIONES.....	79
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	83

INDICE DE TABLAS

Pág

Tabla 1. Componentes de la estrategia general del Programa de Variedades de CENGICAÑA para la obtención y desarrollo de variedades de caña de azúcar aplicable a un tipo de maduración temprana ó tardía..... 17

Tabla 2. Directorio de variedades de caña de azúcar para la renovación de la zafra 2018-19 en la AIA de Guatemala según el estrato, la época de zafra y la textura del suelo..... 23

Tabla 3. Variedades de caña de azúcar incluidas y variables determinadas en los análisis de tres Zafras (A3Z) y análisis de nueve Zafras (A9Z)... 43

Tabla 4. Variedades liberadas y su incremento en t de azúcar por ha (TAH), rendimiento de caña en t por ha (TCH) y contenido de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña respecto a las variedades testigo.....50

Tabla 5. Estimación de la productividad de azúcar en t de azúcar por ha (TAH), rendimiento de caña en t por ha (TCH) y concentración de azúcar en kg de azúcar por t de caña (CS) en tres plantías durante tres zafras... 56

Tabla 6. Rango entre las zafras 2013-14 y 2021-22 e incremento anual de t de azúcar por ha (TAH), rendimiento de caña en t por ha (TCH) y concentración de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña; y contribución varietal en t de azúcar adicional (TAA), t de caña adicional (TCA) y kg de azúcar adicionales (KAA), durante nueve zafras..... 58

Tabla 7. Tasa de adopción según el Indicador de Desempeño (ID) para un conjunto de 12 variedades de caña de azúcar recomendadas en el modelo durante tres zafras para cuatro tratamientos..... 59

Tabla 8. Tasas de adopción en Indicador de Desempeño (ID) para 12 variedades de caña de azúcar recomendadas en el modelo durante tres zafras..... 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág

- Figura 1.** Área de cultivo (ha) y productividad de azúcar (t de azúcar por ha, TAH) en Guatemala durante los últimos 58 años. (CENGICAÑA. 2017). . 12
- Figura 2.** Rendimiento de caña en t de caña por ha (TCH) y concentración de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña en Guatemala durante los últimos 58 años (CENGICAÑA, 2017). 13
- Figura 3.** Tendencias de la concentración de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña de las variedades CP72-2086 y CP88-1165 en Guatemala a partir de 2010 (CENGICAÑA, 2011-2017). 15
- Figura 4.** Incrementos anuales de t de azúcar por ha (TAH), contenido de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña y t de caña por ha (TCH). . 57
- Figura 5.** Tendencia de adopción de 14 variedades de caña de azúcar, disminución en área del cultivar CP88-1165 y adopción del cultivar CG02-163. 61
- Figura 6.** Diferentes escenarios de variedades de caña de azúcar debido a la adopción entre las zafras 2013-14 y 2021-22. 63
- Figura 7.** Dinámica de variedades de caña de azúcar durante el período de nueve zafras estudiadas. 64



1. INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL MUNDO Y EN GUATEMALA

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es uno de los pastos perennes del género *Saccharum* que se cultiva en climas templados de las regiones tropicales del globo terráqueo. La forma silvestre de la caña de azúcar pertenece a la especie *spontaneum*, la cual ha jugado un rol importante en la obtención de nuevas variedades comerciales mediante la hibridación y la selección. Comercialmente el azúcar se produce a partir de los tallos de la caña de azúcar en los países tropicales y de las raíces de la remolacha azucarera en los países en donde el clima es frío. Cerca del 80% de la producción mundial de azúcar proviene de la caña de azúcar.

La caña de azúcar, con su contenido de carbohidratos y fibra, constituye una fuente de energía renovable. La planta de caña de azúcar convierte una considerable cantidad de energía solar en azúcar y celulosa durante su largo período de crecimiento, de 10 a 16 meses; y, por esto, es considerada como uno de los cultivos más eficientes, en el cual la energía contenida en su biomasa es cuatro veces la energía que utilizó la planta durante su cultivo.

Con respecto a los orígenes de la caña de azúcar, se sabe que tuvieron lugar en el sur de Asia durante el período Cretácico. Se cree que un género ancestral de la caña de azúcar se originó a partir de especies de los géneros *Erianthus* y *Mischantus* (James, 2004).

Los primeros indicios de su cultivo se localizaron en India y China hace más de 2.500 años (James, 2004) y de allí se supone que

fue llevado a los Países Árabes y a lo largo del Mediterráneo, llegando a España en el año 755 después de Cristo. La caña de azúcar está distribuida en el mundo entre las latitudes 36,70 N y 31,00 S respecto al Ecuador, ocupando zonas tropicales y subtropicales.

La importancia de la agroindustria azucarera en el mundo económico es debida, en parte, a que el azúcar es un ingrediente importante en la dieta humana y su consumo es directamente proporcional al estilo de vida y a la economía de los países. Más de 100 países del mundo cultivan alrededor de 25,4 millones de ha (Burnquist, 2013).

En Guatemala, el azúcar es el principal producto derivado de la caña de azúcar y en el año 2015 fue el segundo producto que más divisas generó al país por concepto de exportaciones, solo por debajo de la industria textil (BANCO DE GUATEMALA, 2016). La producción anual alcanza 2,7 millones de t de azúcar anuales, lo que ubica a Guatemala en el onceavo país productor de azúcar del mundo (USDA, 2018). La caña de azúcar se cultiva en el sur de Guatemala, en la costa del Océano Pacífico entre las latitudes 13° 51' y 14° 30' N y entre las longitudes 90° 14' y 91° 29' O, en cuatro estratos altitudinales que se caracterizan por marcadas diferencias de clima, de suelo, y del manejo del cultivo, cubriendo un área de 270.000 ha en la zafra 2016-17 (ASAZGUA, 2017).

1.2 PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

1.2.1. Concepto de productividad de azúcar

La productividad es un concepto aplicable a los sistemas agrícolas que se define como la producción por unidad de recurso utilizado, generalmente referido a la superficie de suelo cultivado (Villalobos *et al.*, 2009).

La productividad, además, sirve como un indicador o medida indirecta que mide la eficiencia de una empresa, organización (Rutkauskas y Paulavičienė, 2005) o sistema agrícola (Villalobos *et al.*, 2009) con la que se usan los insumos.

La productividad con enfoque económico se define como la tasa que resulta del total de entradas y el total de salidas en un proceso productivo (Fuglie, 2012; Rutkauskas y Paulavičienė, 2005). Las entradas son los recursos usados en la creación del producto tales como mano de obra, materiales, energía, etc; mientras que las salidas consisten en un determinado producto o servicio, ambos definidos cuantitativamente. En el caso de caña de azúcar la productividad se refiere a la salida principal del cultivo, que es la cantidad de azúcar en t producida por ha (TAH) y es el indicador de eficiencia para procesos de “benchmarking”. El TAH es producto de la acumulación de biomasa y la concentración de azúcar en los tallos de la caña de azúcar (Ming *et al.*, 2006) y su medición se hace directamente del rendimiento de biomasa (caña) en t de caña por ha (TCH) y la concentración relativa (porcentaje) de sacarosa (CS) en los tallos en kg de azúcar por t de caña (Orozco *et al.*, 2012a).

1.2.2. Mecanismos para incrementar la productividad de azúcar

El incremento de la productividad de azúcar se justifica debido a que las industrias azucareras necesitan incrementar su capacidad de competitividad en el mercado mundial del azúcar.

La competitividad según Males y Clive (2010) es la capacidad de competir en el mercado imperfectamente competitivo del azúcar. Este tipo de mercado ocurre a causa de que la producción de azúcar se incrementa rápidamente bajo la condición de altos precios, pero su respuesta es lenta cuando los precios bajan (Males y Clive, 2010).

Estos autores mencionan que el éxito de la AIA de Australia en la

competitividad se ha logrado debido a dos elementos importantes: el desarrollo e implementación continuada de nuevas tecnologías y la reducción de costos de producción.

De lo anterior se deduce que la mejora de la competitividad se logra mediante el incremento de la productividad de azúcar y la reducción de costos de producción, resultando en una mayor eficiencia económica.

Los factores tecnológicos que han dado, y continúan generando, beneficios que se pueden obtener por el incremento de la productividad de azúcar están asociados al campo de la mejora genética y al uso de nuevas prácticas culturales.

En los países más productores del mundo (Brasil, India y China) se reporta que, en las perspectivas a corto plazo, las principales estrategias serán enfocadas al desarrollo y uso de variedades con características específicas usando prácticas culturales modernas (Goes *et al.*, 2011; KPMG, 2017; Rukai y Yuan, 2010; Chen y Zhaonian, 2010).

En Brasil, el desarrollo tecnológico en caña de azúcar se ha basado en el mejoramiento genético, contribuyendo en el incremento de la productividad en más del 50% en los últimos 30 años; además, los resultados experimentales actuales permiten concluir que la productividad de azúcar se incrementará significativamente debido al uso de las variedades mejoradas más recientes (Goes *et al.*, 2011).

Esta proyección también se fundamenta en el hecho de que las variedades transgénicas jugarán un rol importante, porque son más productivas y resistentes a plagas y enfermedades, y tienen mejor adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, tales como regiones con estrés hídrico en periodos más largos, condiciones de suelo y otras características importantes. En este sentido, las inversiones en mejora genética se espera que se impulsen, tanto en Brasil como en otros países como India (Goes *et al.*, 2011; KPMG,

2017).

Con relación a las prácticas culturales, podemos señalar los nuevos métodos de fertirrigación con la aplicación de un compuesto de vinaza (obtenido del proceso industrial del etanol), con un elevado contenido de materia orgánica y potasio, utilizado como suplemento nutricional en la recuperación de la fertilidad de los suelos (Goes *et al.*, 2011); y la utilización de riego por goteo (KPMG, 2017). Como método de fertilización se ha usado la cachaza, que es un subproducto del proceso industrial de la caña de azúcar que ha demostrado experimentalmente incrementar la productividad de azúcar derivado del TCH alto. Otro factor de manejo agronómico del cultivo que influirá en la productividad de azúcar es el incremento de la mecanización en determinados países como China (Yinggang *et al.*, 2013).

La productividad de azúcar en el futuro puede cambiar de acuerdo con los nuevos enfoques de las industrias azucareras del mundo. En el caso de Brasil se reporta que durante muchos años la mejora genética se orientó a la obtención de variedades de alta sacarosa con destino a la producción de azúcar y etanol; sin embargo, actualmente toda la atención está puesta en variedades de alto contenido de etanol celulósico y al incremento de la biomasa para la producción de energía. Por lo tanto, producir una variedad de caña de azúcar con mas fibra y menos sacarosa es un nuevo desafío que ya se está enfrentando (Goes *et al.*, 2011).

Sobre la base de lo anterior, Landell, citado por Goes *et al.* (2011), plantea dos escenarios: a) uso de variedades productivas con más contenido de sacarosa para producción de azúcar y etanol y b) uso de variedades enfocadas a alto contenido de fibra, disociadas de la producción de azúcar, dirigidas a la producción de biomasa para electricidad y a la producción de etanol celulósico.

Los dos enfoques necesitarán estrategias diferentes para llegar a alcanzar el objetivo. En general, los mecanismos para incrementar la productividad de azúcar seguirán siendo la mejora genética y las

prácticas culturales modernas incluyendo la adopción de sus tecnologías (KPMG, 2017; SRA, 2017a, 2017b; MSIRI, 2016).

En los planes estratégicos a medio plazo se esperan incrementos importantes de la productividad (Goes *et al.*, 2011; KPMG, 2017; SRA, 2017a, MSIRI, 2016), particularmente en Brasil se estiman incrementos de TCH de 79 a 140 alcanzables entre los años 2030 y 2040, pero también en Australia, gracias al uso de variedades transgénicas (SRA, 2017a, 2017b).

Además, también se esperan incrementos en subproductos de la caña de azúcar como la cogeneración de energía en Brasil e India (Goes *et al.*, 2011; KPMG, 2017) y en la producción de etanol celulósico, impulsando a la química del alcohol y con resultados concretos en la producción de diesel y biobutanol (Goes *et al.*, 2011).

1.2.3. Evolución de la productividad de azúcar

1.2.3.1. Evolución de la productividad de azúcar en los principales países productores

El total de azúcar cristalizada producida en el mundo es superior a los 110 millones de t por año, de los cuales la caña de azúcar aporta entre el 60-65% de esa producción, y el resto corresponde al azúcar producido a partir de la remolacha localizado principalmente en Europa, USA y otras regiones frías del globo terrestre.

La caña de azúcar es uno de los cultivos más importantes en el mundo por su nivel de producción con cerca de 25 millones de ha y se distribuye en diferentes regiones del mundo, siendo los primeros seis países productores Brasil, India, China, Tailandia, Paquistán y México (Burnquist, 2013). Brasil e India concentran el 60% del área; sin embargo, en las últimas décadas la industria azucarera en todo el mundo ha crecido sustancialmente. La principal contribución del

aumento en la producción de azúcar ha procedido de Tailandia, India, Filipinas y Australia.

La productividad de azúcar de la caña de azúcar en cualquier parte del mundo va orientado a alcanzar el máximo TCH teórico a nivel comercial reportado en 148 t de caña por ha (Waclawovsky *et al.*, 2010). Sin embargo, recientemente se ha señalado que comercialmente el TAH máximo obtenido fue 12,97, derivado de 110,9 TCH y 117 kg de azúcar por t de caña, en Colombia, el país en el primer lugar del ranking entre los países de mayor productividad (Meneses y Galiego, 2015).

La evolución del TAH de la caña de azúcar ha mostrado ganancias durante los últimos 50 años, pero inferiores a los incrementos en productividad observados en otros cultivos tales como maíz, soja, remolacha azucarera y colza (Burnquist, 2013). La existencia de mejores programas de investigación y desarrollo más eficientes podría explicar esta situación.

Entre los países productores de caña de azúcar el incremento del TAH ha alcanzado el 40% en un periodo de 51 años (1961-2011), representando un incremento anual del 0,6% (Burnquist, 2013). Por países, Colombia y Tailandia alcanzaron un incremento del 162% y 140%, respectivamente; mientras que Brasil, India y Australia mostraron incrementos del 76%, 52% y 31%, respectivamente. Por otra parte, Sudáfrica y Estados Unidos presentaron una tendencia a la baja.

1.2.3.2. Evolución de la productividad de azúcar en Guatemala

El cultivo de caña de azúcar en Guatemala comenzó en 1536 en el valle central de Guatemala y en el valle de Salamá, departamento de Baja Verapaz. En el siglo XVII creció el número de trapiches; sin embargo, no fue hasta mediados del siglo XIX cuando se iniciaron las

exportaciones a baja escala. En 1957 la producción total de azúcar de Guatemala alcanzó las 68.000 t, siendo el punto de partida para cuantificar la evolución de la productividad de azúcar, porque en ese año los ingenios azucareros definieron su estrategia de modernización y crecimiento (Melgar, 2012). La industria se transformó de una industrial local a una industria de exportación, convirtiéndose en una de las actividades agroindustriales más importantes del país, no solo para producir azúcar, sino también energía eléctrica y alcohol. Actualmente, existen operando 11 ingenios azucareros.

El incremento de exportaciones de azúcar motivó a la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA) a desarrollar proyectos y estrategias para incrementar la producción. Los ingenios iniciaron mejoras en el cultivo, la cosecha, la fábrica, la distribución y comercialización del producto, así como mejoras en las condiciones de vida para sus trabajadores.

En 1971 se fundó la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala (ATAGUA) con el fin de fomentar el intercambio de experiencias y tecnología, así como la difusión de conocimientos técnicos a nivel local e internacional para impulsar el desarrollo de la Agroindustria Azucarera (AIA).

En 1974 ASAZGUA creó el Departamento de Experimentación Agrícola y en 1978 el ingenio Pantaleón inició sus primeros trabajos de investigación. Pocos años después los ingenios Santa Ana, Concepción y La Unión continuaron con esa labor.

Para apoyar la línea de desarrollo tecnológico, en 1992 fue creado el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).

En general, los principales factores que han incidido en el desarrollo de la AIA en Guatemala fueron de tipo ecológico, gerencial, tecnológico y social (Melgar, 2012). Las condiciones agroecológicas han sido favorables, la organización gerencial ha sido y es de naturaleza privada, la organización gremial ha sido y es buena,

se dispone de una terminal de exportación, y se ha favorecido la diversificación de la producción (electricidad y alcohol). En el tema tecnológico se pueden destacar las operaciones en el campo, las operaciones en fábrica, la investigación, la capacitación, la transferencia de tecnología, y el “benchmarking”; finalmente, en lo social ha incidido la responsabilidad social empresarial.

El crecimiento en superficie y producción de azúcar ha ubicado a la AIA de Guatemala como el quinto exportador de azúcar a nivel mundial, el segundo en Latinoamérica y en el tercer lugar en productividad de azúcar a nivel mundial (Melgar, 2012).

Por otra parte, debido a que Guatemala exporta el 70% de su producción anual, el azúcar es el segundo producto agrícola en el país en generación de divisas, constituyendo una importante contribución a la economía nacional. Según el Banco de Guatemala (2016), la participación del cultivo de la caña de azúcar representó el 15,7% del PIB de los productos no tradicionales, y ha generado, en promedio, el 1,11% del PIB nacional durante los últimos nueve años.

El tamaño enorme de la industria del azúcar requiere una demanda considerable de mano de obra. Por lo tanto, el cultivo de caña de azúcar es una fuente importante de ingresos familiares a través de empleos directos e indirectos para la población rural.

La evolución del área de cultivo y el incremento sostenido del TAH desde 1960 a la zafra 2016-17 (58 años) (CENGICANA, 2017) (Figura 1) han sido el resultado de los esfuerzos mencionados anteriormente (Melgar, 2012). El incremento en área de cultivo ha sido sostenido a lo largo del tiempo, con un ajuste a una regresión polinómica de grado 4 y con un $R^2 = 0,989$.

La caña de azúcar se cultiva en la costa sur del país en un total de 270.000 ha en la zafra 2016-17 (ASAZGUA, 2017), cubriendo los departamentos de Escuintla, Retalhuleu, Santa Rosa y Jutiapa. Esta área localmente posiciona a la caña de azúcar en el segundo lugar

después del cultivo del café. En las últimas dos zafras se ha producido una disminución de la superficie del cultivo debido a la expansión del cultivo de banano. Por lo tanto el área de cultivo de la caña de azúcar parece haber llegado a su máximo y comenzará a estabilizarse.

Como se ha señalado anteriormente, el incremento en el TAH ha sido sostenido a través del tiempo ajustándose a una regresión polinómica grado 5 ($R^2 = 0,940$) (Figura 1) (CENGICAÑA, 2017). El incremento acumulado fue de 5,39 TAH en un periodo de 58 años, entre la zafra de 1959-60 y 2016-17, lo que equivale a un incremento anual de 0,09 TAH (CENGICAÑA, 2017). Comparando el incremento acumulado de cerca del 100% (1,96% anual) con el de los países más importantes en producción, y en el mismo periodo de tiempo (1961-2011), resulta muy superior al promedio mundial del 40% (0,60% anual), ocupando al final del período el tercer lugar después de Colombia (162%) y Tailandia (140%).

El incremento anual del TAH en Guatemala es importante porque es el que más ha evolucionado entre los países de Latinoamérica (Meneses y Galiego, 2015).

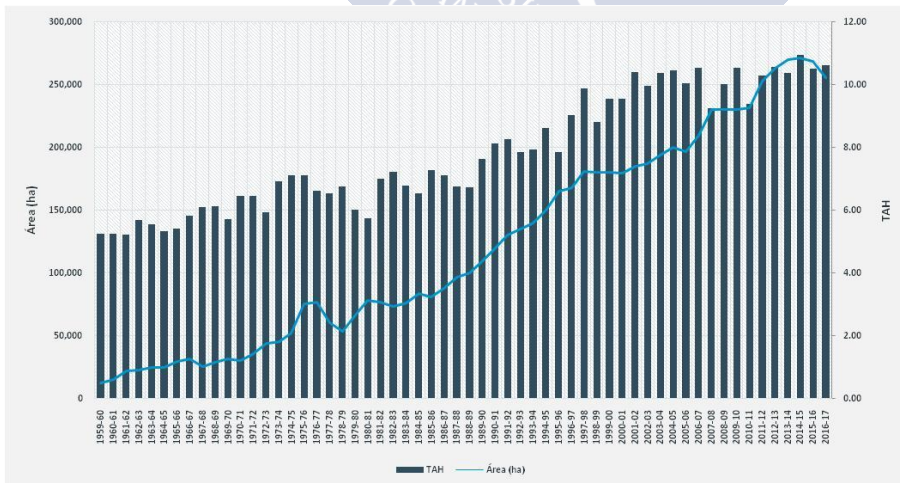


Figura 1. Área de cultivo (ha) y productividad de azúcar (t de azúcar por ha, TAH) en Guatemala durante los últimos 58 años. (CENGICAÑA. 2017).

En Guatemala, la evolución del TAH ha dependido del comportamiento de sus componentes TCH y CS (Figura 2). El TCH, con similar tendencia que el TAH, se ajustó a una regresión polinómica de grado 5 ($R^2 = 0,876$) y los valores de CS han mostrado un ajuste a una regresión de tipo polinómica grado 6 con un $R^2 = 0,817$.

Este tipo de regresión ayuda a explicar el comportamiento de los valores de CS por ciclos de tiempo y con tendencia hacia el decrecimiento, afectado principalmente por el valor promedio de 111,2 kg de azúcar por t de caña en el periodo de 1999-00 a 2009-10 (CENGICAÑA, 2017) (Figura 2).

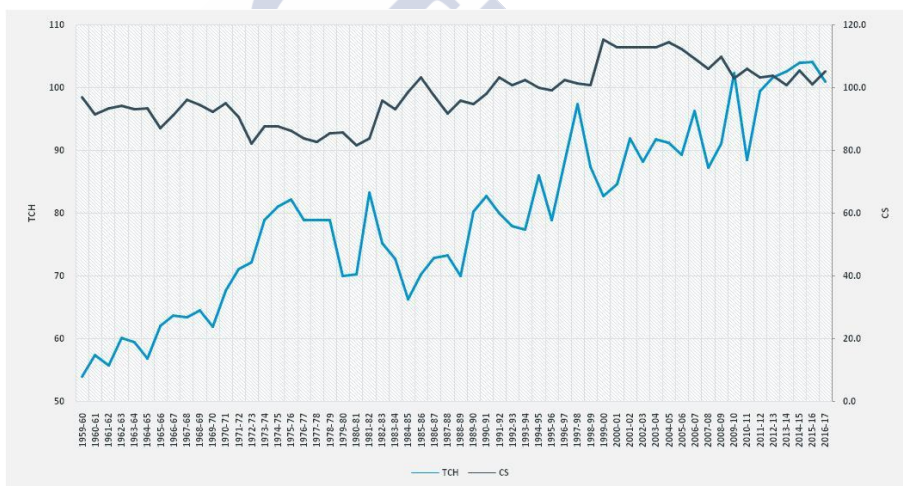


Figura 2. Rendimiento de caña en t de caña por ha (TCH) y concentración de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña en Guatemala durante los últimos 58 años (CENGICAÑA, 2017).

De manera general, el componente CS depende de tres factores interactuando de una manera compleja (Cardozo y Sentelhas, 2013): i) las variables climatológicas, ii) el potencial genético de las variedades y iii) el manejo del cultivo. Sobre esta base, el decrecimiento en CS a partir de 2010 pudo haber sido causado por las condiciones climáticas

adversas (Castro y Monterroso, 2014; Seechan *et al.*, 2016), por la composición varietal (Orozco y Buc, 2017), y por los cambios tecnológicos en el manejo del cultivo y en la fábrica.

En cuanto a los factores del clima, se reporta que el comportamiento de la amplitud térmica en el período de zafra define la acumulación natural de azúcar. Durante el período de la década 2010 se produjo un incremento de CO₂ ligado al efecto invernadero, con el consecuente incremento de la temperatura mínima (Castro y Monterroso, 2014).

El efecto del potencial genético de las variedades en la CS a nivel comercial se deduce de los diferentes contenidos de azúcar de las variedades CP88-1165 y CP72-2086, las más importantes a partir de 2010 (Figura 3) (CENGICAÑA, 2011-2017).

En este sentido, la media de CS fue muy dependiente del nivel de participación de estas variedades, con el 27,5% del área cultivada correspondiente a la variedad CP88-1165 (Orozco y Buc, 2017). Las variaciones en CS a lo largo de las zafras se asume que fueron causadas por las variaciones del clima.

En relación al manejo tecnológico del cultivo, se menciona fundamentalmente el efecto del incremento proporcional de la cosecha mecanizada, principalmente en verde. La materia prima en este caso se incrementó por el contenido de materia extraña, en su mayor parte compuesta por cogollos y hojas, lo que incidió en la capacidad para extraer el azúcar.

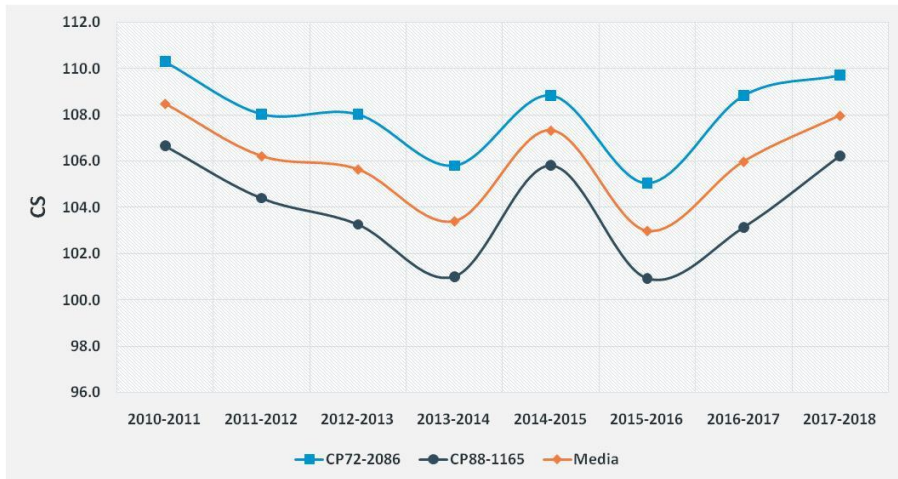


Figura 3. Tendencias de la concentración de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña de las variedades CP72-2086 y CP88-1165 en Guatemala a partir de 2010 (CENGICAÑA, 2011-2017).

1.3. DISPONIBILIDAD Y ROL DE LAS VARIEDADES MEJORADAS EN EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR

1.3.1. Obtención, desarrollo y liberación de variedades mejoradas

Todo programa de mejora genética de la caña de azúcar debe contar con dos componentes principales: i) la creación de la variabilidad genética, convencionalmente mediante cruzamientos, y ii) la discriminación dentro de ésta variabilidad por medio de la selección. La incorporación de nuevo germoplasma mediante la introducción de variedades se considera también un componente importante.

El resultado del programa es la liberación de variedades mejoradas y el continuo mejoramiento de las poblaciones base.

Las variedades liberadas deben cumplir con un prototipo establecido conjuntamente con los gerentes de producción de los ingenios y la Junta Directiva de CENGICAÑA, el cual se convierte en compromiso por parte del programa, como así sucede en otros programas de mejora genética de la caña de azúcar en el mundo (Wei *et al.*, 2006).

El mejoramiento de las poblaciones base se obtiene mediante el reciclamiento de clones élite provenientes de la selección, o de la introducción de nuevos clones del extranjero, así como mediante la eliminación de parentales improductivos (Cox *et al.*, 2000).

El Programa de variedades de CENGICAÑA tiene como objetivo contribuir al incremento de la productividad de azúcar mediante la obtención, desarrollo y liberación de variedades de caña de azúcar de alto TCH y CS, con resistencia a las principales enfermedades, adecuadas características agronómicas para su manejo y adaptables a las diferentes condiciones de clima y suelos de la agroindustria azucarera de Guatemala (Orozco *et al.*, 2012a). La estrategia general del programa parte del recurso genético y concluye con el Estado V, en el cual se hace la liberación de las variedades con los atributos establecidos para la siguiente etapa, que es el desarrollo comercial (Tabla 1).

Tabla 1. Componentes de la estrategia general del Programa de Variedades de CENGICAÑA para la obtención y desarrollo de variedades de caña de azúcar aplicable a un tipo de maduración temprana ó tardía.

Estratos altitudinales (msnm)	BG	C	Estados de selección					DC	UC
			I	II	III	IV	V		
Alto (>300)									
Medio (300-100)									
Bajo (100-40)									
Litoral (40-00)									

BG, Bancos de Germoplasma; C, Cruzamientos; DC, Desarrollo Comercial; UC, Uso Comercial.

1.3.1.1. Creación de la variabilidad genética

Los Bancos de Germoplasma (Tabla 1) son la base para la creación de la variabilidad genética y el de CENGICAÑA está constituido por 2.040 accesiones o variedades, en su mayoría híbridos *Saccharum* spp.

Las accesiones proceden de diferentes programas de mejoramiento del mundo, entre otros de los de Estados Unidos (Florida y Louisiana), Barbados, México, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Australia, Tailandia y Mauricio.

Los objetivos de la introducciones son: i) ampliar la base genética y ii) evaluar el potencial de las variedades para posible uso comercial (Orozco *et al.*, 2004).

Las variedades importadas son sometidas a un sistema de cuarentena con el objetivo de disminuir el riesgo de introducción de

patógenos no presentes en el país o variantes nuevas de los que estén presentes en el país.

El sistema de cuarentena consta de dos etapas: cuarentena cerrada y cuarentena abierta. Las evaluaciones fitosanitarias en la cuarentena cerrada se realizan para detectar síntomas de infecciones por el carbón (*Ustilago scitaminea* H Syd & P. Syd), la escaldadura foliar (*Xanthomonas albilineans*), el mosaico común de la caña de azúcar (SCMV), la enfermedad de la hoja amarilla (SCYLV) y otras de interés (Ovalle, 1997).

Las variedades que no presentan síntomas de enfermedades se trasladan a la cuarentena abierta. El objetivo de la cuarentena abierta es permitir el desarrollo de las variedades introducidas en condiciones de campo, pero alejadas de la zona de producción. Las variedades libres de síntomas de enfermedades se trasladan a la zona cañera del Pacífico, para ser incluidas en el estado III de selección (Tabla 1).

La variabilidad genética en CENGICAÑA se obtiene convencionalmente mediante un programa de cruzamientos (Tabla 1). La variabilidad creada es enfocada al prototipo varietal que incluye alto TAH, resistencia a enfermedades, adecuadas características agronómicas y adaptabilidad a las condiciones de clima y suelo de Guatemala.

Los criterios para la selección de los progenitores son: i) TCH, ii) concentración de azúcar, iii) resistencia a enfermedades, y iv) otras. En los últimos años ha cobrado importancia la resistencia a la roya naranja (*Puccinia kuehnii*) y a la roya marrón (*Puccinia melanocephala*). En las últimas campañas de hibridaciones se han realizado más de 600 cruzamientos por año con una producción promedio de 160.000 plántulas.

1.3.1.2. Programa de selección y liberación

Los procedimientos de selección dentro de la variabilidad genética creada varían entre los diferentes programas de mejoramiento existentes en el mundo. Estos procedimientos están en función, principalmente, de la edad de la planta para la selección y el número de cortes o socas (Ming *et al.*, 2006).

En Guatemala, las variedades de caña de azúcar utilizadas comercialmente alcanzan su madurez de cosecha a los 12 meses de edad, con un promedio de cinco cortes (plantía y cuatro socas).

Los criterios de selección aplicados en el Programa de Variedades de CENGICANA, considerando los factores anteriores, van orientados a la duración del periodo de zafra que ocurre durante los meses de noviembre a abril. Por lo anterior, los ingenios requieren variedades con la maduración natural acorde a esos meses de zafra.

En respuesta a esta situación el programa conforma cinco estados de selección y, a partir del estado I de selección, dos grupos de variedades categorizados por presencia o ausencia de floración. El supuesto es que las variedades floreadoras concentran su máximo contenido de sacarosa durante los primeros meses de la zafra y las variedades no floreadoras harán lo mismo durante los últimos días.

Cada uno de éstos grupos de variedades se evalúa en dos localidades a partir del estado II; por lo tanto, el programa conduce cuatro programas de selección en cinco estados de selección, con el objetivo de seleccionar y liberar variedades para uso comercial en los meses de zafra y en cuatro estratos altitudinales (Tabla 1).

En el estado I de selección, el principio básico es que cada planta de las 160.000 bajo evaluación tiene el potencial de convertirse en una variedad superior de alto desempeño. Las observaciones en este estado se limitan a considerar aspectos generales de la planta como el vigor,

expresado principalmente en población, altura y diámetro de tallo, así como la presentación de una buena sanidad general.

En el estado I se asigna la nomenclatura de identificación a las variedades seleccionadas para asegurar la trazabilidad en los siguientes estados de selección (Tabla 1). Esta nomenclatura incluye las letras CG (CENGICAÑA, Guatemala), los últimos dos dígitos del año de selección y una numeración correlativa de la selección. En el momento de la selección, se establecen dos grandes grupos para evaluación en el estado II: variedades floreadoras y variedades no floreadoras para las Estaciones Experimentales del Estrato Medio y Estrato Litoral (Tabla 1).

El estado de selección II también es un ensayo que cuenta con un elevado número de variedades, entre 1.000 y 5.000. En este estado se inicia un proceso más detallado de caracterización de las variedades, con el fin de realizar una selección más precisa. Sin embargo, debido al tamaño de los ensayos y a la cantidad de variedades, las observaciones de selección se restringen al aspecto de la planta, a la presencia de enfermedades y a la concentración de azúcar (Quemé *et al.*, 2010).

En el estado II la descripción de las enfermedades se hace con más precisión, con especial atención a las enfermedades siguientes: escaldadura foliar, carbón, roya marrón y roya naranja, enfermedad de la hoja amarilla, y mosaico común de la caña de azúcar (Ovalle, 1997).

Tanto el estado de selección III como el estado II se organizan de acuerdo a los cuatro programas de selección, de variedades tempranas y tardías y en dos estratos altitudinales (Tabla 1). En este nivel de selección, la proporción de variedades seleccionadas en común para distintos estratos altitudinales es relativamente bajo, lo cual demuestra el alto grado de adaptabilidad específica de las variedades.

Los genotipos superiores se seleccionan de acuerdo con su mejor desempeño en TCH, concentración de azúcar expresada en porcentaje de azúcar en la caña (Pol%-caña) y el TAH. En la evaluación de enfermedades se descartan aquellas variedades que superan los límites impuestos para cada enfermedad.

Además de las enfermedades evaluadas en el estado II, en el estado III se analizan “pokkah boeng” (*Fusarium moniliforme* Sheldon), mancha púrpura (*Dimeriella sacchari*) (Ovalle, 1997) y otras. El resultado del estado III son 20 a 30 variedades que cumplen con los estándares establecidos y pasarán a conformar el estado IV de selección.

El estado IV constituye la primera evaluación extensiva, en el cual las variedades son expuestas a una amplia diversidad de ambientes contrastantes (temperatura, precipitación, suelo, manejo, etc.) que representan las condiciones naturales de producción comercial de la AIA de Guatemala (Tabla 1).

La información obtenida de los ensayos del estado IV se analiza estadísticamente por localidad y entre localidades, para hacer inferencias de la respuesta de adaptabilidad de las variedades a condiciones ambientales muy específicas y/o de amplia adaptación.

El estado V es la validación de los procesos anteriores del programa, incluyendo los cruzamientos, debido a que de este estado se seleccionan las variedades que se van a liberar para uso comercial (Tabla 1). En el estado V se evalúan en un diseño experimental de tres a cinco variedades promisorias, además de la variedad testigo CP72-2086. La información de las características agronómicas, conforme avanza el desarrollo del cultivo con fines de selección, son: emergencia en plánta y rebrotes en socas, cierre natural, cantidad y calidad de los tallos molederos, reacción a enfermedades y plagas, incidencias de floración y corcho, TCH, contenido de sacarosa, TAH y otras observaciones de interés.

La liberación de variedades en CENGICAÑA se realiza al concluir el programa de selección con el estado V (Tabla 1). Los datos del comportamiento de las variedades se discuten con el personal del Comité de Variedades para tomar las decisiones acerca de las variedades a ser liberadas para su uso comercial.

La liberación de las variedades se documenta en la Memoria de Presentación de Resultados de Investigación de CENGICAÑA, y las variedades en expansión en el Directorio de Variedades de la AIA de Guatemala (Tabla 2). En el año 2011, del tercer estado V se liberó la variedad CG98-46 de maduración temprana y con adaptabilidad a suelos franco arenosos (Orozco *et al.*, 2011). La variedad CG98-46 ha sido comercial y actualmente forma parte del Directorio Varietal. En el año 2012 se liberó la variedad CG00-102 (temprana) (Orozco *et al.*, 2012b), la cual se sigue cultivando comercialmente. Las variedades CG98-78 y CG02-163 fueron liberadas en el año 2013 (Orozco *et al.*, 2013). Estas dos variedades, dentro de las CG, son las más cultivadas comercialmente; en buena medida por su adaptabilidad a ambientes contrastantes, la CG98-78 a suelos franco arcillosos y la CG02-163 a suelos franco arenosos y, además, adaptables a los cuatro estratos altitudinales de la AIA de Guatemala.

Las variedades liberadas recientemente, y por lo tanto en desarrollo comercial, fueron RB84-5210 y SP83-2847, ambas de maduración natural tardía (Orozco *et al.*, 2014a). En 2015 se liberó la variedad de maduración tardía CG03-256 (Orozco *et al.*, 2015); en el año 2016 las variedades CG04-0587 y CG04-10295, ambas de maduración temprana, y CG04-10267 de maduración tardía (Orozco *et al.*, 2016); por último, en el año 2017, se liberaron las variedades CG04-09324 (temprana) y CG04-15398 (tardía) (Orozco *et al.*, 2017). La variedad CG03-025, incluida en el Directorio Varietal, se liberará en el año 2018.

Tabla 2. Directorio de variedades de caña de azúcar para la renovación de la zafra 2018-19 en la AIA de Guatemala según el estrato, la época de zafra y la textura del suelo.

Variedad	Progenitores	Estrato Altitudinal				Meses de Zafra						Textura de Suelo		
		A	M	B	L	N	D	E	F	M	A	Fa	F	Fc
CP72-2086	CP62-374 x CP63-588													
CP73-1547	CP66-1043 x CP56-63													
CG98-78	TUC68-19 x CP57-603													
CG02-163	CP65-357 x CP72-2086													
CG98-46	CP56-59 x CP57-603													
CG00-102	CP63-588 x Co421/CP72-2086													
RB84-5210	RB72454 x SP70-1143													
SP83-2847														
CG04-10267	CP72-2086 x CP81-1384/CGCP95-50/SP71-6180													
CG03-025	CP88-1508 x CP57603													
CG03-256	CB46-47 x CP57-603													
CG04-10295	CP72-2086 x CP81-1384/CGCP95-50/SP71-6180													
CG04-0587	SP79-2233 x CP88-1508													
CG04-09324	SP71-6180 x CP88-1524													
CG04-15398	CG97-97 x CP81-1384													

A = Alto (>300 msnm), M = Medio (300-100 msnm), B = Bajo (100-40 msnm) y L = Litoral (40-0 msnm); N = Noviembre, D = Diciembre, E = Enero, F = Febrero, M = Marzo, A = Abril; Fa = Franco arenoso, F = Franco y Fc = Franco arcilloso.

1.3.2. Medición del impacto en el incremento de la productividad de azúcar

El mejoramiento genético en caña de azúcar es ampliamente reconocido como el principal método para incrementar la productividad de azúcar (Berding *et al.*, 2004). Las variedades contribuyen con el incremento del TAH sin incremento de costos y las variedades resistentes a plagas y enfermedades pueden reducir costos de mantenimiento del cultivo. La mejora genética de la caña de azúcar es también el principal método para controlar enfermedades como

carbón y roya marrón, el virus del mosaico de la caña de azúcar, la enfermedad de origen viral Fíji, la escaldadura foliar y otras. La mejora genética de la caña de azúcar también puede tener un efecto significativo en las características de molienda de la caña y la calidad de azúcar producida (Berding *et al.*, 2004).

La estimación del incremento de la productividad de azúcar de las variedades mejoradas es importante para los mejoradores y para los inversionistas. Estos cálculos son complejos porque es necesario separar el efecto varietal del efecto de las prácticas de manejo mejoradas (Cox *et al.*, 2005). Sin embargo, el incremento del TAH debido al componente varietal ha sido estimado en Australia, Estados Unidos y Brasil (Burnquist *et al.*, 2010; Cox *et al.*, 2005; Edmé *et al.*, 2005).

En Australia se han realizado varios estudios, el primero de una base de datos comercial de 30 años con el porcentaje de área de cada variedad liberada en cada ingenio por zafra, y utilizando la metodología Mejores Predictores Lineales Imparciales, el cual reportó incrementos significativos de 0,13 a 0,31 TAH por año, interpretado como la ganancia genética en la productividad de azúcar (Cox *et al.*, 2005).

Un segundo estudio, específico para el área de Queensland, reportó incrementos de 0,119 a 0,231 TAH por año, en el cual el primer valor fue obtenido con variedades liberadas de 1960 a 1989 y el segundo con variedades liberadas de 1975 a 2004. El valor 0,231 TAH se obtuvo principalmente por ganancias en TCH y, en un grado menor, por contenido de sacarosa (Cox y Stringer, 2007).

Un tercer estudio en Australia reportó incrementos de 0,12 a 0,15 TAH por año haciendo referencia a la ganancia genética obtenida en 48 años (1946 a 1994) (Chapman, 1996).

Otro estudio durante un periodo de 33 años en Florida (Estados Unidos) reportó valores de 0,10 y 0,16 TAH de incremento anual

basado en datos de rendimiento comercial y experimental, respectivamente (Edmé *et al.*, 2005). Los datos anteriores indican que las variedades nuevas han hecho, y continúan haciendo, contribuciones importantes a la rentabilidad de esas industrias azucareras.

En Guatemala, la contribución de las variedades nuevas en la Agroindustria Azucarera (AIA) es reconocida por los incrementos en TAH, pero también en la minimización del riesgo de pérdidas en el TAH por el apareamiento repentino de enfermedades. En este estudio se documentará la evidencia estadística de la contribución de variedades liberadas adoptadas en incrementos anuales de TAH, y sus componentes TCH y CS, en un estudio de medio plazo (nueve años) en un ingenio de Guatemala en un área de 48.745 ha.

1.4. ESTRATEGIAS PARA LA TRANSFERENCIA Y ADOPCIÓN DE VARIEDADES LIBERADAS

1.4.1. Factores que intervienen en la adopción

Con el objetivo de acelerar la adopción de las variedades de caña de azúcar liberadas es necesario comprender los factores que favorecen o limitan su adopción.

Un primer factor es el resultado del proceso de transferencia. La transferencia, según Maher (2014), es la provisión de un flujo bidireccional de información y tecnología nueva entre la investigación y el productor; por lo tanto, la extensión debe formar alianzas tanto con el investigador como con el productor para garantizar la generación y transferencia de tecnología. En consecuencia, la estructura y organización de la investigación y transferencia puede limitar ó mejorar la efectividad de la transferencia.

Un segundo factor que interviene en la adopción de una variedad nueva está asociado a las características de la variedad a recomendar. Entre las características varietales, la resistencia a enfermedades es la que tiene mayor incidencia y, en un segundo plano, el nivel de productividad (Mordocco *et al.*, 2007). Se reporta, además, que la resistencia a enfermedades impacta más en la tasa de adopción, mientras que el TAH lo hace en el nivel de adopción.

El tercer factor está asociado a las limitaciones que se presentan durante la gestión de llevar a cabo la transferencia del conocimiento de las variedades liberadas al ente productor. Estas limitaciones pueden ser: a) la poca información que se tiene de la variedad recién liberada (Ahmad *et al.*, 2007; Deokate *et al.*, 2015), b) la falta de conocimiento del gestor de la recomendación acerca de la variedad a recomendar (Muhammad *et al.*, 2001), c) la existencia de variedades dominantes conocidas ampliamente por sus atributos (Quemé *et al.*, 2014) y d) la no disponibilidad de semilla para siembra atribuible al esquema de liberación de la variedad (Mordocco *et al.*, 2005; Ahmad *et al.*, 2007).

1.4.2. Estrategias para acelerar la adopción de variedades de caña de azúcar en otros países

Las estrategias para acelerar la máxima adopción de una variedad son cruciales porque si no se produce una buena adopción: a) disminuye la oportunidad de generar ganancias económicas, y b) no se utiliza la ventaja de aprovechar el tiempo total de vida útil de una nueva variedad (Burnquist *et al.*, 2010).

La vida comercial o útil de las variedades de caña de azúcar es corta y varía entre países. En Queensland, Australia, las variedades muestran una adopción con una tendencia típica de 15-20 años, equivalente a cuatro o cinco renovaciones de cultivo, y algo similar ocurre en Brasil. En la medición de la tasa de adopción intervienen dos factores, tiempo y área (Mordocco *et al.*, 2005). El tiempo hace

referencia al que se empleó para establecer la variedad en su máxima área referida como adopción completa.

Algunas estrategias para acelerar la adopción de las variedades están documentadas en algunos programas de mejora genética de caña de azúcar. En el centro de investigación para el azúcar en Australia (SRA, por sus siglas del Inglés), el trabajo para acelerar la adopción de tecnologías, incluyendo las variedades, lo realiza personal específico. La adopción en el SRA es un área de trabajo crítico, con énfasis en la adaptación óptima de variedades liberadas para cada área geográfica por parte del programa de mejora genética. La actividad de adopción es manejada por el grupo de adopción de SRA a partir de la información integrada en el programa informático denominado QCANE, con el objetivo de asegurar que el investigador responde directamente a las necesidades de la industria, y de que los resultados de la investigación permita a los productores gestionar las mejores variedades para sus propias condiciones, minimizando el riesgo por enfermedades e incrementando el TAH (SRA Annual Report, 2015–16).

Recientemente, Stringer *et al.* (2016) utilizaron un análisis con datos de ingenios para diseñar estrategias de extensión regionalizadas con el objetivo de mejorar las recomendaciones varietales para lograr el incremento del TAH.

En Brasil se reporta un estudio de la optimización de variedades de caña de azúcar centrado en disminuir riesgos causados por la presencia de una variedad dominante, a pesar que Brasil dispone de una elevado número de variedades de alto TAH (Scarpari *et al.*, 2008).

En el programa de mejora genética de la caña de azúcar de SASRI de Sur de África, se reporta que la investigación y extensión agrícola se llevan a cabo bajo un mismo esquema de trabajo, mediante la relación investigación-extensión-productor (Maher, 2014). Este vínculo se basó en la filosofía de que los resultados de la

investigación debían transferirse al productor a través de la extensión. El productor en este esquema es importante porque incide en limitaciones o mejora de la efectividad del servicio de extensión. La estrategia de SASRI incluye actividades tales como las reuniones bianuales de personal, la participación de especialistas en extensión en equipos de proyectos de investigación, las aportaciones de especialistas en extensión para determinar la composición de la cartera de proyectos de investigación en general, los grupos de discusión, los seminarios y conferencias, y las solicitudes de extensión para asesoramiento. En síntesis, el Servicio de Extensión SASRI es una parte integral del proceso de investigación y es el vínculo crucial entre la investigación y el productor.

Una estrategia similar, en cuanto al sistema integrador del investigador con el productor y la ejecución de programas para la transferencia de la tecnología, ha sido descrita por Isaacs *et al.* (2010) en CENICAÑA, Colombia. Recientemente, CENICAÑA está proponiendo el establecimiento de áreas semicomerciales equivalentes al Estado V del programa de CENGICAÑA de Guatemala y, además, una fase comercial de 100 ha por variedad con el objetivo de evaluar su desempeño a nivel de campo y fábrica, con manejo de acuerdo a las recomendaciones de la agricultura específica por sitio (CENICAÑA, 2017).

En general, la mayoría de programas de mejora genética apoyan la adopción mediante la instalación de parcelas demostrativas y proveen documentación experimental de las variedades liberadas en catálogos o fichas técnicas. Bajo estas circunstancias, los productores toman sus propias decisiones de escogencia de las mejores variedades para sus propias condiciones por sí solos (Bischoff y Gravois, 2004; Parfitt, 2005).

1.5 MODELOS DE GESTIÓN DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR

1.5.1. Concepto de un modelo de gestión de variedades de caña de azúcar

El incremento sostenido del TAH requiere de variedades de alta productividad de azúcar con adaptabilidad general ó específica a los diferentes ambientes de producción prevalecientes y al manejo agronómico. Las variedades liberadas por CENGICAÑA tienen la premisa de ser de alto TAH y, por lo tanto, con la capacidad de hacer contribuciones al incremento de la productividad de azúcar y a la sostenibilidad del cultivo en Guatemala (Orozco *et al.*, 2012a; Orozco Vásquez y Ovalle Sáenz, 2012;).

Estas variedades mejoradas al final de un proceso de adopción considerado aspecto crucial darán origen a composiciones varietales nuevas.

Para acelerar la adopción surge el Modelo de Gestión de Variedades de Caña de Azúcar (MGVCA) como una directriz de la Junta Directiva de CENGICAÑA. El MGVCA es, en CENGICAÑA, la herramienta necesaria para facilitar que el productor aproveche el potencial genético de las variedades liberadas que, junto con las variedades mejoradas, responderán al incremento sostenido del TAH en Guatemala.

El MGVCA tiene dos componentes, la planificación y el monitoreo. En el primer componente, un grupo experto comparte información acerca del comportamiento del TAH de las variedades comerciales actuales y de las variedades mejoradas, así como las condiciones ideales para lograr óptimos rendimientos. Sobre la base del conocimiento compartido se elaboran planes de siembra en un proceso de toma de decisiones estratégicas para determinar, entre las variedades liberadas o comerciales, la variedad que debe ser sembrada en las diferentes condiciones ambientales presentes, con el objetivo de optimizar la producción. El segundo componente del MGVCA es el

monitoreo del TAH, el cual se focaliza en el seguimiento y análisis del comportamiento de las variedades por zafra y mes de zafra.

1.5.2. Diferencias de un modelo de gestión de variedades y un sistema de transferencia tradicional

El MGVCA como herramienta para transferir el conocimiento de las variedades liberadas por CENGICAÑA difiere de otros sistemas de transferencia, como el Servicio de Extensión SASRI en Sudáfrica y el Programa de Transferencia de CENICAÑA de Colombia, en algunos aspectos que aseguran la adopción de las variedades mejoradas.

En principio el MGVCA considera dentro de su grupo gestor a profesionales del programa de mejora genética, por ser los mejores conocedores de las variedades liberadas; por lo tanto, de alguna manera con esto se cierra la brecha de falta de conocimiento de las variedades mejoradas.

Una segunda diferencia podría derivarse del planeamiento varietal, el cual se ejecuta con personal de ingenios con capacidad de realizar los cambios varietales y, por lo tanto, se asegura su ejecución mediante la asignación de variedad por lote y, como consecuencia, el aseguramiento de la disponibilidad de semilla mediante un plan de producción.

La tercera diferencia se origina de los eventos de planeamiento varietal que se retroalimenta del segundo componente del MGVCA, el seguimiento de la productividad de azúcar de las variedades recomendadas en eventos previos de planeamiento. Una última diferencia es que el MGVCA permite medir las tasas de adopción de las variedades planeadas ó recomendadas y su impacto en la productividad de azúcar.

1.6 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema que se plantea en este estudio es la falta de certeza en la magnitud en la que las variedades liberadas por CENGICAÑA contribuyen en el mantenimiento del incremento sostenido de la productividad de azúcar en la AIA de Guatemala.

En los últimos años la AIA de Guatemala ha experimentado incrementos de TAH debido, principalmente, a la adopción de variedades liberadas de alta productividad y a mejoras en el manejo agronómico, implementación de sistemas de riego y otros. Estas mejoras tecnológicas tendrán un límite, sin embargo, para mantener la competitividad, y se espera a corto y mediano plazo mantener esos niveles de incremento de productividad de azúcar mediante la adopción de las variedades mejoradas de CENGICAÑA.

La AIA de Guatemala ha invertido, y sigue invirtiendo, económicamente en el Programa de Variedades de CENGICAÑA, pero las dudas todavía persisten acerca del comportamiento comercial de las variedades liberadas y su impacto en el TAH, TCH y CS. Por lo tanto, es necesario proveer las bases numéricas para que el programa de mejora de caña de CENGICAÑA continúe su labor de respaldo al sector azucarero, especialmente cuando la AIA guatemalteca se ve amenazada su rentabilidad por factores externos.





2. OBJETIVOS



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo es determinar el impacto de las variedades liberadas del programa de mejora genética de CENGICAÑA, y el uso de un Modelo de Gestión en el incremento sostenido de la productividad de azúcar en Guatemala.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el incremento anual de la productividad de azúcar durante un periodo de nueve zafras debido al uso de variedades de caña de azúcar liberadas y al uso de un Modelo de Gestión de Variedades de Caña de Azúcar.

Determinar la tasa de adopción de las variedades liberadas del programa de mejora de CENGICAÑA.

Determinar la composición de variedades de caña de azúcar de nueve zafras.

Estimar el incremento sostenido de TAH de la AIA de Guatemala a corto plazo.





3. MATERIALES Y MÉTODOS



3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la medición de la contribución de las variedades mejoradas y el uso del Modelo de Gestión de Variedades de Caña de Azúcar (MGVCA) en el incremento sostenido de la productividad de azúcar se aplicaron los siguientes siete pasos:

- (1) determinación del área y periodo de estudio,
- (2) establecimiento de premisas y supuestos del MGVCA,
- (3) identificación de las variedades para el estudio,
- (4) aplicación del componente planeamiento varietal,
- (5) monitoreo de la productividad de azúcar y adopción de las variedades,
- (6) estimación del incremento de la productividad de azúcar, y
- (7) medición de la tasa de adopción.

3.1 ÁREA Y PERÍODO DE TIEMPO DEL ESTUDIO

El estudio comprendió dos análisis diferentes con alcances en área y número de años, en el cual cada año correspondió a un periodo de cosecha o zafra.

El primer análisis se realizó a partir de una base de datos de tres zafras (A3Z) y el segundo de nueve zafras (A9Z).

El área promedio de estudio del A3Z fue de 9.511 ha, valor que representó el 18,7% del área total del cultivo de caña de azúcar de la Corporación Pantaleón-Concepción. Esta área se renovó para establecer las plantías de las zafras 2013–14, 2014–15 y 2015–16.

El área de estudio para el análisis A9Z (zafras comprendidas de 2013-14 a 2021-22) fue de un alcance más amplio en superficie, puesto que se analizó el 100% del área con un valor promedio de 48.746 ha y con un rango de 46.484 y 51.344 ha.

Los análisis A3Z y A9Z se basaron en datos recogidos en la Corporación Pantaleón-Concepción, la cual se localiza en las coordenadas geográficas 15°30'N 90°15'O. El área de cultivo de este ingenio representa el 18 % del área total con caña de azúcar en Guatemala.

3.2 PREMISAS Y SUPUESTOS DEL MGVCA

Las premisas en este estudio fueron aquellos hechos explícitos y verdaderos sobre los cuales se aplicó el modelo, mientras que los supuestos fueron aquellos factores dados por hecho o concedidos para garantizar el cumplimiento del modelo.

Las premisas fueron las siguientes:

- a) Las variedades liberadas tienen el potencial de producir mayor productividad de azúcar comparado con las variedades comerciales actuales; por lo tanto, adoptarlas es un factor crucial.
- b) El ingenio posee datos históricos disponibles de TAH y manejo comercial de cada uno de los lotes de las diferentes fincas.
- c) El MGVCA puede ser implementado en cualquier lugar en donde se cultiva caña de azúcar y se cumplan las premisas anteriores (a y b).
- d) El modelo debe manejar un número razonable de variedades
- e) La aplicación del modelo puede hacerse con datos de al menos tres zafras.

Los supuestos fueron los siguientes:

- a) El grupo gestor del modelo (GGM) del ingenio tiene suficiente conocimiento para recomendar la variedad ideal para cada lote y el poder de implementar los cambios varietales.
- b) El GGM es responsable como grupo del el éxito o fracaso de los resultados de las variedades recomendadas.
- c) El GGM está dispuesto a tomar el riesgo de adoptar variedades nuevas bajo las circunstancias comerciales.
- d) El establecimiento de las variedades y su mes de cosecha se hace acorde al plan.
- e) Las prácticas de manejo agronómico del cultivo son apropiadas a las variedades recomendadas.
- f) La semilla utilizada de las variedades recomendadas es de buena calidad y disponible acorde al plan.
- g) Si los supuestos y recomendaciones del modelo se cumplen al final de la implementación del modelo en el área de estudio, el incremento del TAH será la diferencia entre el promedio del TAH de las variedades recomendadas y el TAH de las variedades no recomendadas.
- h) Si la adopción de las variedades liberadas fuera de un 100%, el incremento del TAH será la diferencia con respecto al histórico del área.

3.3 VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR USADAS EN EL ESTUDIO

Las variedades de caña de azúcar usadas fueron diferentes de acuerdo con los estudios A3Z y A9Z. En el estudio A3Z se incluyeron 12 variedades de caña de azúcar de diferente origen (Tabla 3).

Con estas 12 variedades se determinó el incremento del TAH y la adopción en tres zafras bajo la condición de plantías (primera cosecha ó corte de cuatro a seis).

Dentro de estas variedades se incluyeron las más importantes (CP88-1165, CP72-2086 y CP73-1547) cultivadas en la zafra 2013-14 en el 42,1%, el 26,1%, y el 10,0%, respectivamente. También se incluyeron las variedades comerciales menores Mex79-431, RB84-5210, CG98-78, SP79-1287, así como variedades nuevas en desarrollo comercial.

Las variedades de caña de azúcar incluidas en el estudio A9Z fueron diferentes acorde a sus objetivos. Para determinar el incremento del TAH acumulado y anual se incluyeron 14 variedades liberadas, mientras que para determinar la adopción se consideraron 26 variedades cosechadas en nueve zafras y de todos los ciclos de cultivo (Tabla 3). Estas 26 variedades fueron incluidas por haber sido cosechadas en al menos el 1% del total del área en al menos una de las nueve zafras estudiadas.

Tabla 3. Variedades de caña de azúcar incluidas y variables determinadas en los análisis de tres Zafras (A3Z) y análisis de nueve Zafras (A9Z).

Número	Estudio A3Z		Estudio A9Z	
	Incremento del TAH /Adopción	Incremento Del TAH	Adopción	
1	*CP88-1165	CG98-10	CG04-0587	CP73-1547
2	CP73-1547	RB84-5210	RB73-2577	Mex79-431
3	Mex79-431	CG96-135	CG04-10295	CP72-2086
4	CP72-2086	CG98-78	CG04-10267	CG00-033
5	CG00-033	RB73-2577	CP72-1312	SP79-1287
6	SP79-1287	SP79-1287	PGM89-968	CG98-78
7	CG98-78	PR75-2002	Mex82-114	CG98-46
8	CG98-46	CG98-46	PR75-2002	CG00-102
9	CG00-102	CG00-033	CG96-78	RB84-5210
10	RB84-5210	CG00-102	CP88-1508	CG02-163
11	CG02-163	CG02-163	CG03-025	SP71-6161
12	SP71-6161	CG04-0587	CG03-138	CG98-10
13		CG04-10295	CG05-077440	CG96-135
14		CG04-10267		
Área (ha)	9.511	48.746	48.746	

*Las siglas en los nombres de las variedades se refieren a su origen: CP = Canal Point, FL USA; Mex = México; PGM = Pantaleón Guatemala, México; CG = CENGICANA Guatemala; RB = República de Brasil; SP = Sao Paulo Brasil; PR = Puerto Rico.

3.4 APLICACIÓN DEL COMPONENTE PLANEAMIENTO VARIETAL

El planeamiento varietal (PV) se aplicó anualmente usando las variedades en las áreas de los estudios A3Z y A9Z (Tabla 3). Los eventos de PV se realizaron cada año previo a la siembra de las recomendaciones varietales.

El PV se realizó por medio del Grupo Gestor del Modelo (GGM)

con énfasis en un proceso de toma de decisiones para recomendar variedades de caña de azúcar como grupo (Orozco *et al.*, 2014b). El GGM se integró por personal profesional de la Corporación Pantaleón-Concepción y CENGICAÑA.

El GGM del ingenio estuvo integrado por los Gerentes de Zona y sus mayordomos, el Jefe del Departamento de Agronomía y el delegado al Comité de Variedades; y por el lado de CENGICAÑA participaron un fitomejorador responsable del estado V de selección, un fitopatólogo y un especialista en sistemas de información geográfica.

Un total de 12 personas participaron en cada evento anual de PV. Cada evento de PV tuvo una duración de aproximadamente cinco días para cubrir el área total del ingenio. En cada evento de PV se cubrieron cerca de 2.000 ha por día.

El principal insumo para el PV fue la base de datos histórica de TAH, TCH y CS para cada lote y de lotes vecinos, la ubicación del lote, incluyendo la altitud, el mes de cosecha, y otros, tales como la textura de suelo y la disponibilidad de riego. El GGM de CENGICAÑA facilitó información experimental de TAH de las variedades candidatas incluyendo sus componentes TCH y CS, resistencia a enfermedades y plagas y adaptabilidad. Esta información está registrada en los libros de campo, en el directorio varietal y en el Sistema de información de CENGICAÑA. El grupo también facilitó información en mapas de textura de suelo, contenido de materia orgánica, TAH de lotes vecinos de otros ingenios y otros.

El GGM se concentró en decidir qué variedad sembrar en cada lote o grupo de lotes en las fincas del ingenio. Al inicio, el GGM del ingenio hizo una descripción general del lote y la variedad propuesta; luego surgieron preguntas y discusiones acerca de posibles variedades y el GGM, en su conjunto, decidió la variedad.

Los eventos del PV, después de la primera toma de decisiones, fueron de actualización sobre la base de los resultados comerciales

de las variedades liberadas y disponibilidad de nuevas variedades liberadas.

El PV finalizó con su implementación por el GGM del ingenio. La implementación se monitoreó mediante un Indicador de Desempeño que mide el cumplimiento de la recomendación por cada lote.

3.5 MONITOREO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR Y ADOPCIÓN DE LAS VARIEDADES MEJORADAS

El monitoreo de la productividad de azúcar y de la adopción de las variedades mejoradas fue diferente según los estudios A3Z y A9Z.

Para el estudio A3Z, la estimación del incremento del TAH y la tasa de adopción se llevó a cabo en tres plantías de tres zafras. Aunque la suma de área de las tres plantías solo representó el 57% del área total del ingenio, permitió la evaluación de las dos variables de respuesta: i) incremento del TAH, sus componentes TCH y CS; y ii) las tasas de adopción medidas como indicador de desempeño (ID).

De acuerdo al monitoreo del cumplimiento del modelo relacionado con el comportamiento de la adopción, y como resultado de las recomendaciones, el supuesto “El establecimiento de las variedades y su mes de cosecha se hace acorde al plan” se cumplió solamente de forma parcial. Esto permitió identificar cuatro escenarios denominados tratamientos en este estudio (T1, T2, T3 y T4) como resultado de las recomendaciones. Los tratamientos incluyeron la recomendación de la variedad y su mes de cosecha como sigue:

- T1, variedad y mes de cosecha recomendados;
- T2, variedad recomendada pero no mes de cosecha;
- T3, mes de cosecha recomendado pero no variedad; y
- T4, variedad y mes de cosecha no recomendados.

Cada tratamiento fue representado por áreas diferentes, dentro de los cuales el T2 y el T1 fueron cosechados en las áreas más representativas con el 50,7% y el 25,9%, respectivamente. El área del T4 no se incluyó en el análisis para evitar confusiones, debido a que éste contiene variedades y meses de cosecha no recomendados.

En el estudio A9Z se monitoreó el incremento acumulado y anual del TAH, TCH, CS y la adopción durante nueve zafras desde 2013-14 a 2021-22. Para ambos estudios (A3Z y A9Z) las variables de respuesta fueron ID, TAH, TCH y CS.

Los datos de estas variables fueron recogidos de cada lote de las fincas y suministrados semanalmente por la Corporación Pantaleón-Concepción, para luego ser procesados y almacenados en la Unidad de Transferencia de Tecnología de CENGICAÑA. El análisis de los datos de TAH, TCH y CS, para cada tratamiento estudiado, se realizó considerando toda el área objeto de estudio.

3.6 ESTIMACIÓN DEL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE AZÚCAR

En el estudio A3Z, el incremento del TAH y sus componentes TCH y CS se estimaron mediante comparaciones entre los tratamientos evaluados. Las variables TAH, TCH y CS se expresaron en promedios ponderados calculados de acuerdo al área de cada lote y su productividad de azúcar contenidos en la base de datos del área de estudio de las tres zafras estudiadas.

Para determinar el efecto de los tratamientos (T1, T2 y T3) para cada una de las tres variables (TAH, TCH y CS) se realizó un análisis de varianza combinado de tres zafras utilizando el modelo de un diseño completamente al azar y la prueba de medias de acuerdo a la diferencia mínima significativa $DMS_{0,05}$. Las repeticiones de los tratamientos estuvieron constituidas por los valores de los tratamientos en cuatro estratos altitudinales ó ambientes de producción del área de estudio.

El modelo para el análisis combinado de tres zafras fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + z_j + (\tau z)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2 \text{ y } 3 \text{ (tratamientos); } j = 1, 2 \text{ y } 3 \text{ (zafras)}$

donde:

Y_{ij} = valor de la variable respuesta (TAH, TCH o CS) referentes al i -ésimo tratamiento en la j -ésima zafra; μ = media general de la variable respuesta;

τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento;

z_j = efecto de la j -ésima zafra;

$(\tau z)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i -ésimo tratamiento y la j -ésima zafra;

ε_{ij} = error experimental asociado a la observación Y_{ij} .

Al final de la implementación del modelo, el T1 es el tratamiento que cumple las recomendaciones y supuestos del modelo. Por lo tanto, las comparaciones se hicieron con este tratamiento. La comparación entre el T1 y T2, en donde la diferencia fue el mes de cosecha, representó un impacto parcial del modelo, mientras que el impacto completo del modelo se estimó del cálculo de la diferencia entre el T1 y T3.

En el estudio A9Z, el incremento acumulado y anual del TAH, TCH y CS se calcularon tomando como base los datos de las nueve zafras estudiadas siguiendo los siguientes cálculos:

1. El incremento acumulado de TAH, TCH y CS se obtuvo de la diferencia entre el incremento de TAH, TCH y CS de los escenarios varietales 2013-14 y 2021-22.
2. El incremento anual de TAH, TCH y CS se obtuvo del incremento acumulado dividido entre las nueve zafras estudiadas.

En donde:

- a. El incremento de TAH en un escenario varietal se obtuvo de la suma de t de azúcar adicional (TAA) de las variedades en el escenario dividido entre el área total (ha) del estudio.
- b. El valor de TAA de una variedad en el escenario varietal se obtuvo del incremento de TAH de la variedad multiplicado por su área cosechada (ha).
- c. El incremento de TAH de una variedad se obtuvo de la diferencia entre el TAH de la variedad y el TAH de la variedad testigo a partir de datos comerciales o experimentales.
- d. El incremento de TCH en un escenario varietal se obtuvo de la suma de t de caña adicional (TCA) de las variedades en el escenario dividido entre el área total (ha) del estudio.
- e. El valor de TCA de una variedad en el escenario varietal se obtuvo del incremento de TCH de la variedad multiplicado por su área cosechada (ha).
- f. El incremento de TCH de una variedad se obtuvo de la diferencia entre el TCH de la variedad y el TCH de la variedad testigo a partir de datos comerciales o experimentales.
- g. El incremento de CS en un escenario varietal se obtuvo mediante la suma de kg de azúcar adicional (KAA) de las variedades en el escenario dividido entre el área (ha) del estudio.
- h. El valor de KAA de una variedad en el escenario varietal se obtuvo del incremento de CS de la variedad multiplicado por su área cosechada (ha).
- i. El incremento de CS de una variedad se obtuvo de la diferencia entre el CS de la variedad y el CS de la variedad testigo a partir de datos comerciales o experimentales.

El incremento en TAH, TCH y CS de las variedades RB84-5210, CG98-78, CG98-46 y CG02-163 se obtuvo de las bases de datos comerciales de productividad de azúcar de CENGICAÑA para la zafra 2016-17. Estas variedades se cosecharon en más de 1.000 ha en al menos una de las nueve zafra estudiadas.

Para el resto de variedades el incremento de TAH, TCH y CS se obtuvo de bases de datos experimentales, a partir de la diferencia del valor de las variables de la variedad liberada y la variedad testigo, obtenidos en ensayos de campo del estado V de Selección replicados en diferentes localidades.

Los valores de incremento de TAH, TCH y CS fueron el promedio de tres ciclos de cultivo, plantía, primera y segunda soca (Tabla 4). El incremento de TAH y sus componentes se ajustaron con el factor 0,7, el cual permitió transformar los datos experimentales a datos comerciales (Ramburan, 2008).

El área (ha) de cada variedad liberada se obtuvo de la base de datos de lotes individuales, en la cual se aplicó el MGVCA, y de la base de datos del planeamiento varietal proyectado para las nuevas composiciones varietales en el área de estudio. Los valores de TAH, TCH y CS de los ensayos de campo se analizaron por medio de un Análisis de Varianza Univariado, conforme a un diseño completamente al azar y la prueba de medias de acuerdo a la diferencia mínima significativa $DMS_{0.05}$. La metodología de análisis de datos comerciales y datos experimentales ha sido empleada previamente por Edmé *et al.* (2005).

Tabla 4. Variedades liberadas y su incremento en t de azúcar por ha (TAH), rendimiento de caña en t por ha (TCH) y contenido de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña respecto a las variedades testigo.

#	Variedad	TAH	TCH	CS	Variedades testigo
1	CG98-10	1,00	10,39	-0,69	CP72-2086
2	RB84-5210*	1,10	2,17	8,98	CP72-2086, CP88-1165
3	CG96-135	0,11	2,43	-1,67	CP72-2086
4	CG98-78*	0,54	5,15	-0,35	CP72-2086, CP88-1165
5	RB73-2577	1,25	12,29	-0,29	CP72-2086
6	SP79-1287	0,13	2,01	-0,74	CP72-2086
7	PR75-2002	0,59	5,49	0,29	CP72-2086
8	CG98-46*	1,89	13,10	4,47	CP72-2086, CP88-1165
9	CG00-033	0,68	1,17	4,72	CP72-2086
10	CG00-102	0,15	0,55	0,65	CP72-2086, CP73-1547
11	CG02-163*	1,25	9,54	2,78	CP72-2086, CP88-1165
12	CG04-0587	1,60	13,49	1,52	CP72-2086, CP73-1547
13	CG04-10295	0,93	9,45	-0,35	CP72-2086, CP73-1547
14	CG04-10267	0,78	7,53	0,10	CP72-2086

*Los datos de las variedades marcadas con asterisco se estimaron a partir de datos comerciales y para el resto de variedades el cálculo se hizo a partir de datos experimentales.

3.7 MEDICIÓN DE LA TASA DE ADOPCIÓN

Las tasas de adopción de variedades se midieron en Indicadores de Desempeño (ID) en ambos estudios A3Z y A9Z, para el conjunto de variedades incluidas en cada estudio y para cada variedad en particular.

En el estudio A3Z el ID (%) del conjunto de las 12 variedades se calculó basándose en el hecho de que la recomendación del modelo para cada lote se conformó de dos factores: variedad y mes de cosecha y, por lo tanto, su cálculo se basó en los cuatro tratamientos establecidos en el monitoreo.

Para cada tratamiento, el ID por zafra resultó de la relación entre el área en ha cosechada del tratamiento y el área total en ha del estudio multiplicado por 100, mientras que el ID de las tres zafras se calculó dividiendo el área en ha cosechada total entre el área total en ha del

estudio de las tres zafras multiplicado por 100.

Para cada variedad del estudio A3Z, el ID de cada zafra resultó de la relación entre el área en ha cosechada y el área en ha planeada de la variedad multiplicado por 100. El ID de cada variedad de las tres zafras fue un promedio ponderado de los ID por zafra y su área en ha. Sobre esta base, las variedades se clasificaron en tres categorías:

- La categoría 1 incluyó aquellas variedades altamente adoptadas, con ID del 81%–100%.
- La categoría 2 agrupó variedades moderadamente adoptadas, con ID del 61%–80%.
- La categoría 3 correspondió a las variedades pobremente adoptadas, con menos del 60% de ID.

Para la comparación de las categorías de variedades se consideraron los promedios ponderados de ID de las variedades que conformaron las categorías en cada una de las tres zafras de una forma multivariada; en este caso, cada zafra se consideró como una variable diferente, por lo tanto, cada categoría de variedades estuvo representada por un vector de tres medias ID correspondientes a las zafras 2013-14, 2014-15, y 2015-16.

Las diferencias estadísticamente significativas entre las distintas categorías fueron analizadas mediante el Análisis de Varianza Multivariado o MANOVA (por sus siglas en inglés, Multivariate Analysis of Variance), en el cual la hipótesis nula fue la igualdad de vectores, usando la prueba de Wilks. La comparación entre categorías de variedades se realizó mediante la prueba de medias por Hotelling. El análisis se realizó conforme al modelo lineal del análisis multivariado de varianza descrito en el Manual del Usuario de InfoStat (versión 2008) y se utilizó el programa estadístico InfoStat/Professional, actualizado el 08/02/2016 (Di Rienzo *et al.*, 2016).

En el estudio A9Z, la medición del ID fue para las 26 variedades y para cada variedad en particular. En ambos casos el ID se obtuvo de la relación entre el área en ha de las 26 variedades o variedad en particular y el área total en ha del estudio multiplicado por 100.

Con base en estos cálculos se determinaron las composiciones varietales de las nueve zafras estudiadas desde 2013-14 a 2021-22. Estos escenarios varietales se caracterizaron tomando como base el número de variedades y su área (ha) cosechada. El área (ha) de las variedades cosechadas se obtuvo de la base de datos de las zafras desde 2013-14 a 2017-18 y de las zafras proyectadas desde 2018-19 a 2021-22.





4. RESULTADOS



4. RESULTADOS

4.1 INCREMENTO DE TAH, TCH Y CS COMO IMPACTO DE LAS VARIETADES RECOMENDADAS EN EL MODELO

El incremento de TAH, TCH y CS se estimó para las variedades en estudio en su conjunto y para cada una en particular. En el estudio A3Z las 12 variedades reflejaron incrementos de TAH, TCH y CS, como resultado de las comparaciones de tres tratamientos en tres ciclos de cultivo iguales (plantías) y en tres zafras diferentes, lo cual aseguró separar el efecto de otros ciclos de cultivo. El efecto de los tratamientos (T1, T2 y T3) fue altamente significativo ($p \leq 0.001$) para las tres variables; por lo tanto, al menos uno de los tratamientos es diferente y según la prueba $DMS_{0.05}$, mostraron que T1 (adopción de la variedad y mes de cosecha recomendados en el modelo) y T3 (variedad y mes de cosecha ambos no recomendados) fueron estadísticamente diferentes respecto a TAH y CS, mientras que entre los tres tratamientos no se encontraron diferencias estadísticas en la variable TCH (Tabla 5).

Los resultados obtenidos mostraron que el impacto completo de las variedades y su mes de cosecha recomendados en el modelo, resultante de la diferencia entre T1 y T3, fue de 0,8 TAH, obtenido a partir de un incremento de 5 TCH y 3,5 CS. La comparación entre T1 y T2, entre los que la diferencia fue el mes de cosecha, resultó en un incremento de 0,3 TAH, el cual se obtuvo por el incremento de 3 TCH y 0,6 CS.

Tabla 5. Estimación de la productividad de azúcar en t de azúcar por ha (TAH), rendimiento de caña en t por ha (TCH) y concentración de azúcar en kg de azúcar por t de caña (CS) en tres plantías durante tres zafras.

Tratamientos	TAH	TCH	CS
T1 (Variedad y mes de cosecha recomendados)	11,4 A*	109 A	105,0 A
T2 (Variedad recomendada y mes de cosecha no recomendado)	11,1 AB	106 A	104,4 AB
T3 (Variedad no recomendada y mes de cosecha recomendado)	10,6 B	104 A	101,5 B
Diferencia entre T1 y T2	0,3	3	0,6
Diferencia entre T1 y T3	0,8	5	3,5

* Promedios con letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de DMS ($p \leq 0.05$).

En el estudio A9Z, las variedades liberadas y adoptadas en su conjunto reflejaron incrementos anuales de TAH, TCH y CS durante las nueve zafras estudiadas desde 2012-13 a 2021-22 (Figura 4). El incremento de TAH entre las zafras estudiadas varió de 0,06 a 0,78, dando como resultado un incremento anual de 0,08 TAH. Esta tendencia de incremento anual del TAH se ajustó a una regresión polinómica de grado 5 ($R^2 = 0.999$) (Figura 4). Similares resultados se encontraron con los incrementos anuales de TCH y CS, ambos con ajuste a regresiones polinómicas de grado 3 ($R^2 = 0.990$ y $R^2 = 0.998$, respectivamente) (Figura 4). El TCH se incrementó de 0,51 a 5,34, reflejando un incremento anual de 0,54 TCH; y la CS se incrementó de 0,10 a 2,28, con un incremento anual de 0,24 kg de azúcar por t de caña.

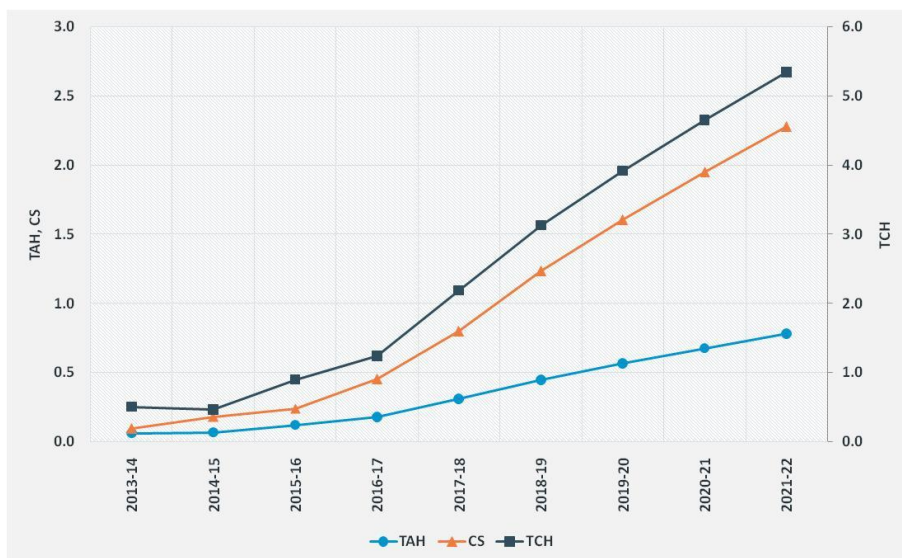


Figura 4. Incrementos anuales de t de azúcar por ha (TAH), contenido de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña y t de caña por ha (TCH).

En el estudio A9Z se encontró que en el incremento de TAH, TCH y CS las variedades contribuyeron diferencialmente; como se ilustra por los valores del rango entre los nueve escenarios varietales y los incrementos anuales en t de azúcar adicionales (TAA), t de caña adicionales (TCA) y kg de azúcar adicionales (KAA) (Tabla 6). La mayor diferencia en la contribución de TAA la marcó la variedad CG02-163 con un rango de 21.593 TAA y un incremento anual de 2.399 TAA. La variedad CG02-163 fue la más adoptada y, por lo tanto, en promedio fue la de mayor participación en área (ha) y contribución en el incremento de TCA, y la segunda variedad en aportar en KAA. Otras variedades importantes por su contribución fueron RB84-5210 y CG98-46. La variedad RB84-5210 fue la segunda variedad en aportar en el incremento de TAA, pero fue la que más contribuyó en KAA y, consecuentemente, la tercera variedad en TCA, lo cual es un resultado deseable debido a su alta CS.

Tabla 6. Rango entre las zafras 2013-14 y 2021-22 e incremento anual de t de azúcar por ha (TAH), rendimiento de caña en t por ha (TCH) y concentración de sacarosa (CS) en kg de azúcar por t de caña; y contribución varietal en t de azúcar adicional (TAA), t de caña adicional (TCA) y kg de azúcar adicionales (KAA), durante nueve zafras.

#	Variedad	Rango entre zafras: 2013-14 y 2021-22			Incremento anual		
		TAA	TCA	KAA	TAA	TCA	KAA
1	CG98-10	-942	-9.771	650	-105	-1.086	72
2	RB84-5210	6.220	12.205	50.557	691	1.356	5.617
3	CG96-135	-62	-1.336	919	-7	-148	102
4	CG98-78	1.673	15.852	-1.077	186	1.761	-120
5	RB73-2577	-585	-5.771	134	-65	-641	15
6	SP79-1287	-46	-703	258	-5	-78	29
7	PR75-2002	-200	-1.875	-98	-22	-208	-11
8	CG98-46	4.743	32.946	11.246	527	3.661	1.250
9	CG00-033	0	0	0	0	0	0
10	CG00-102	34	122	145	4	14	16
11	CG02-163	21.593	165.437	48.108	2.399	18.382	5.345
12	CG04-0587	1.475	12.439	-1.403	164	1.382	156
13	CG04-10295	1.033	10.544	-394	115	1.172	-44
14	CG04-10267	1.999	19.304	263	222	2.145	29
	Total	36.936	249.392	112.114	4.104	27.710	12.457
	TAH	0,72			0,08		
	TCH		4,83			0,54	
	CS			2,18			0,24

4.2 TASA DE ADOPCIÓN DE LAS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR RECOMENDADAS

Las tasas de adopción se presentan para las variedades en estudio en su conjunto y para cada una en particular.

En el estudio A3Z, la adopción de las 12 variedades en su conjunto fue similar considerando las tres zafras y tres plantías con respecto al estudio de nueve zafras y todos los ciclos de cultivo (A9Z).

En el A3Z, la adopción de las 12 variedades medido en ID varió del 4,7% para T3, en la zafra 2015-16, a un máximo del 58,0% para T2 (Tabla 7).

Los ID de la suma de T1 y T2 observados durante el periodo estudiado se incrementaron del 74,0% en 2013-14 al 80,4% en 2015-16, con un promedio de cerca de tres cuartos (76,6%) del área de estudio.

Entre tratamientos los promedios de ID variaron ampliamente, del 6,6% para T3 al 50,7% para T2. El T1, el cual contiene la variedad y mes de cosecha recomendados, se adoptó en un área total de 7.399 ha, con un ID del 25,9%.

Tabla 7. Tasa de adopción según el Indicador de Desempeño (ID) para un conjunto de 12 variedades de caña de azúcar recomendadas en el modelo durante tres zafras para cuatro tratamientos.

Tratamiento	2013-14		2014-15		2015-16		ACT (ha)	ID (%) Promedio
	AC (ha)	ID (%)	AC (ha)	ID (%)	AC (ha)	ID (%)		
T1	3.336	31,5	1.964	22,9	2.099	22,4	7.399	25,9
T2	4.503	42,5	4.532	52,8	5.428	58,0	14.464	50,7
T1 + T2	7.839	74,0	6.496	75,7	7.527	80,4	21.863	76,6
T3	884	8,3	558	6,5	437	4,7	1.879	6,6
T4	1.869	17,6	1.534	17,9	1.389	14,9	4.792	16,8
Área total (ha)	10.592		8.588		9.353		28.533	

T1, variedad y mes de cosecha recomendados; T2, variedad recomendada pero no mes de cosecha; T3, mes de cosecha recomendado pero no la variedad; y T4, variedad y mes de cosecha no recomendados.

AC, Área Cosechada, ID, Indicador de Desempeño, ACT, Área Cosechada Total.

En el A3Z, los ID para cada una de las 12 variedades estudiadas variaron considerablemente, entre el 45% (CG02-163) y el 94% (CP88-1165).

Las tres categorías de variedades de acuerdo a su ID (adopción alta,

moderada y pobre) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.001$) en el análisis MANOVA. Además, de acuerdo a la prueba de Hotelling (Tabla 8), las variedades altamente adoptadas (CP88-1165, CP73-1547, Mex79-431 y CP72-2086) y de moderada adopción (CG00-033, SP79-1287 y CG 98-78) fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) respecto a la categoría de variedades pobremente adoptadas (CG98-46, CG00-102, RB84-5210, SP71-6161 y CG02-163).

Entre las variedades de alta y moderada adopción existieron diferencias en área (ha) durante las zafras estudiadas. En general, las áreas con las variedades altamente adoptadas tendieron a disminuir, mientras que las variedades moderada y pobremente adoptadas mostraron incremento. También se observó tendencias de incremento en área (ha) (Tabla 8).

Tabla 8. Tasas de adopción en Indicador de Desempeño (ID) para 12 variedades de caña de azúcar recomendadas en el modelo durante tres zafras.

Variedad	2013-14		2014-15		2015-16		APT (ha)	ID (%) PP	Test Hotelling para ID
	AP (ha)	ID (%)	AP (ha)	ID (%)	AP (ha)	ID (%)			
CP 88-1165	1.274	93	670	95	326	94	2.269	94	*A
CP 73-1547	2.380	77	1.372	98	1.117	94	4.870	86	
Mex 79-431	893	90	342	72	68	100	1.303	86	
CP 72-2086	4.408	76	2.842	96	2.628	85	9.877	84	
PP, CA		80		95		88		86	
CG 00-033	71	0	219	59	507	94	798	76	A
SP 79-1287	125	27	229	90	258	79	612	72	
CG 98-78	510	49	1.383	59	1.021	86	2.914	67	
PP, CM		40		63		87		69	
CG 98-46	165	43	200	9	387	94	752	60	B
CG 00-102	106	0	137	0	805	75	1.048	57	
RB 84-5210	208	89	167	98	433	26	808	57	
SP 71-6161	0	0	269	3	369	83	638	49	
CG 02-163	178	0	334	0	1.041	67	1.553	45	
PP, CP		39		17		69		53	
Otras	273		424		394				
Total	10.592		8.588		9.353				

AP, Área Planeada, ID, Indicador de Desempeño, APT, Área Planeada Total, PP, Promedio Ponderado, CA, Categoría Alta, CM, Categoría Moderada, CP, Categoría Pobre.

* Letras diferentes significan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo al test de Hotelling.

En el estudio A9Z, la adopción de las 14 variedades liberadas en su conjunto varió entre el 8% del área en la zafra 2013-14 y el 68% en 2021-22, resultando en un incremento del 6,55% anual. Este patrón de adopción se ajustó a una regresión de tipo polinómica de grado 3 con un ajuste de $R^2 = 0.999$ (Figura 5).

Entre las variedades liberadas, CG02-163 y CG98-46 fueron las más rápidamente adoptadas durante el periodo 2015-16 al 2021-22. Particularmente, CG02-163 se expandió aceleradamente, ajustándose a una regresión polinomial de grado 5 ($R^2 = 0.998$) para alcanzar el 34% del área cultivada en la zafra 2021-22 y con una tasa de adopción anual del 4,86 %. El patrón de adopción de CG02-163 fue lo opuesto al de la variedad CP88-1165, con ajuste a una regresión polinómica de grado 5 ($R^2 = 0.999$) (Figura 5).

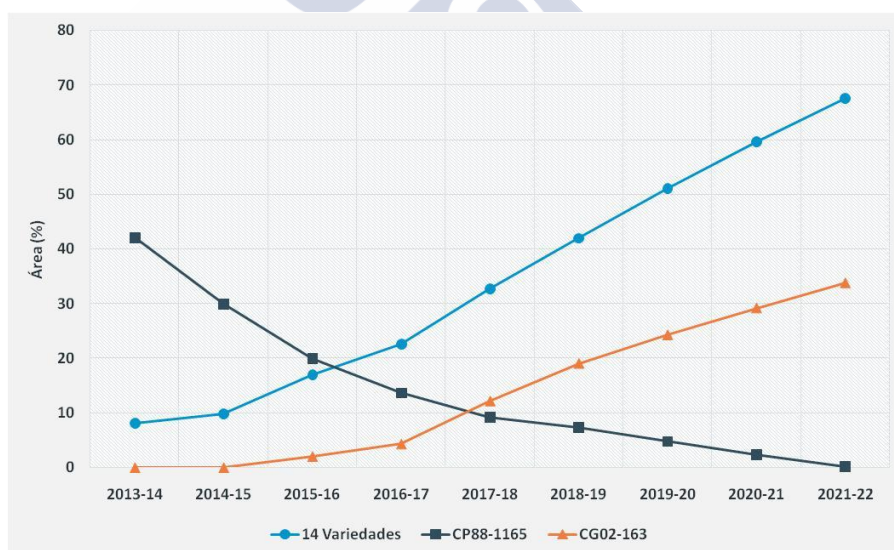


Figura 5. Tendencia de adopción de 14 variedades de caña de azúcar, disminución en área del cultivar CP88-1165 y adopción del cultivar CG02-163.

4.3 EL BALANCE DE LAS COMPOSICIONES VARIETALES EN LOS NUEVOS ESCENARIOS

En el estudio A9Z la caracterización de escenarios varietales resultó con diferencias en la composición varietal a lo largo de las nueve zafas estudiadas. La comparación entre las zafas 2013-14 y 2021-22 mostró una diferencia marcada en términos de número de variedades y área (ha) asignada para las variedades en el 97% del área de estudio.

En la zafa 2013-14, en esa proporción de área se cultivaron 16 variedades, mientras que para la zafa 2021-22 el número de variedades se reduce a 12 (Figura 6).

En otro cálculo se observó la composición varietal del primer escenario varietal con tres variedades (CP 88-1165, CP 72-2086 y CP 73-1547) ocupando el 78 % del área; mientras que en la zafa 2021-22 serán cinco variedades (CG02-163, CP72-2086, RB84-5210, CG98-78 y CG98-46) planificadas con un mejor balance en área de cultivo y en área similar. En esta última composición varietal, excepto para la variedad CP72-2086, las variedades tendrán su origen en el Programa de Variedades de CENGICANA.

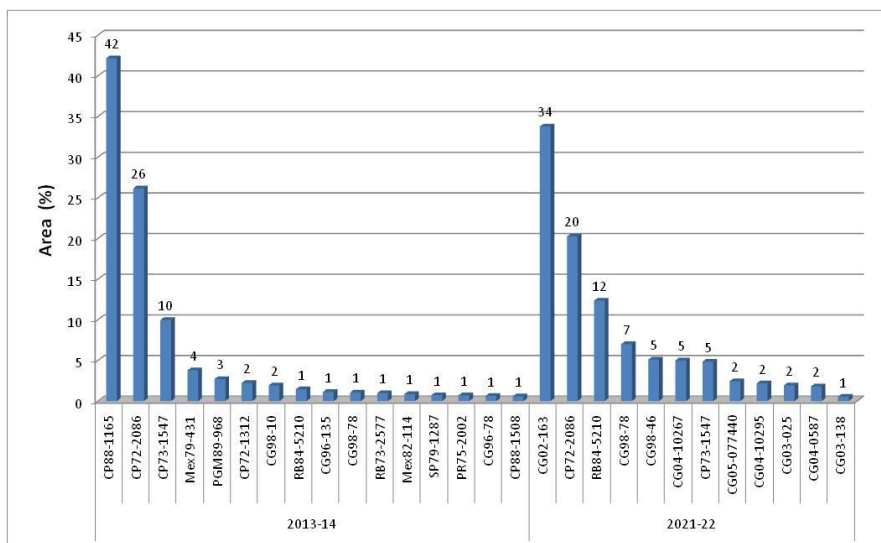


Figura 6. Diferentes escenarios de variedades de caña de azúcar debido a la adopción entre las zafras 2013-14 y 2021-22.

Durante el tiempo entre la primera y últimas zafras estudiadas se observaron cambios varietales en número y área cosechada de las variedades adoptadas (Figura 7). La dinámica varietal se caracterizó por la eliminación y adopción de variedades.

El cambio varietal más importante fue el de la variedad CP88-1165, la cual redujo su área del 42% en el inicio al 2% en 2020-21; y, como consecuencia de esta tendencia, se prevé su desaparición en 2021-22 (Figura 6). Esta variedad será reemplazada por las variedades RB84-5210, CG98-78 y CG02-163.

Otras variedades importantes, CP72-2086 y CP73-1547, permanecerán sin cambios mayores durante las nueve zafras estudiadas. El resto de variedades, incluyendo Mex79-431 y CP72-1312, desaparecerán en zafras intermedias, mientras que las variedades CG00-102, SP71-6161 y CG00-033, adoptadas solamente en algunas zafras, saldrán de las composiciones varietales de las últimas zafras.

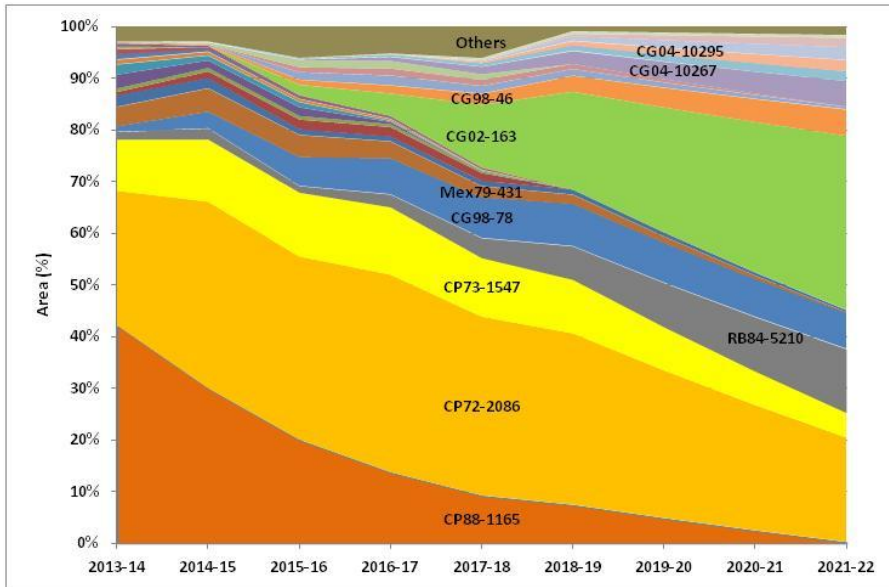
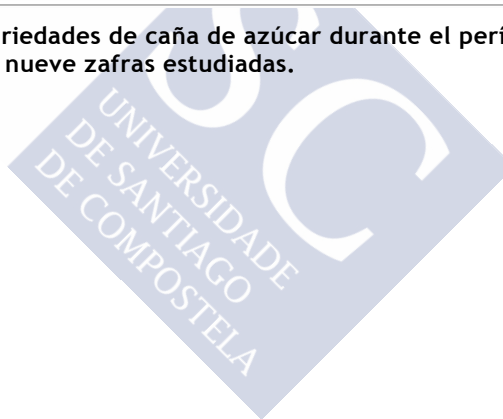


Figura 7. Dinámica de variedades de caña de azúcar durante el período de nueve zafas estudiadas.





5. DISCUSION



5. DISCUSION

5.1 ESTIMACIÓN DEL INCREMENTO DE TAH, TCH Y CS COMO IMPACTO DE LAS VARIETADES RECOMENDADAS EN EL MODELO

En el estudio de tres zafras y tres plantías (A3Z), el incremento estimado de 0,80 TAH, obtenido de 5 TCH y 3,5 kg de azúcar por t de caña resultantes del cálculo de la diferencia de T1 y T3, es importante debido a que los valores de esos tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas; por lo tanto, este valor de incremento representó el impacto total de las variedades liberadas recomendadas en el MGVCA.

Los resultados en CS sugieren que es necesario estudiar más el efecto económico, sobre la base del balance entre el TCH y la CS, con un índice económico que sea función de la distancia de los campos de producción al ingenio, considerando los costos de corte, alce, transporte y molienda.

En este sentido, se ha reportado que un incremento en CS tiene una repercusión económica elevada, debido a que los incrementos del contenido de sacarosa incrementan el azúcar producido por las fincas con un reducido incremento marginal en los costos (Jackson, 2005). El incremento de 0,3 TAH, resultante de 3 TCH y 0,6 kg de azúcar por t de caña de la comparación entre T1 y T2 (sin diferencias significativas), puede representar un efecto parcial, debido a que los valores provienen de tratamientos en donde la única diferencia fue el mes de cosecha.

Los incrementos de TAH, TCH y CS en el análisis A9Z se esperaban debido a las tasas de adopción observadas, las cuales

reflejan el potencial genético de este grupo de variedades en particular. El incremento anual de 0,08 TAH fue razonable y consistente con otros estudios, especialmente con los de largo plazo de Chapman (1996) y Edmé *et al.* (2005), a pesar de que el estudio abarca un periodo corto de nueve años. Esto sugiere la necesidad de tomar en consideración que, en un periodo de tiempo más largo, en el futuro cercano y con otras variedades mejoradas de alta productividad, probablemente los resultados serán comparables con los obtenidos en otros programas del mundo.

Esta comparación indica que el programa de variedades de CENGICAÑA ha hecho, y continúa haciendo, importantes contribuciones a la viabilidad y rentabilidad del área de estudio y en toda la AIA de Guatemala.

En este contexto, el valor de 0,78 TAH obtenido en la última zafra será apoyado principalmente por las variedades CG02-163, RB84-5210 y CG98-46, las cuales ocuparán las mayores áreas y aportarán el mayor valor de incremento en TAH. El resultado final cumplió el desafío del MGVCA, principalmente porque potenció los incrementos del TAH debido a las variedades liberadas mejoradas, ante el hecho de que la variedad CP88-1165 se volvió susceptible a la enfermedad de los tallos secos de la caña de azúcar. En este sentido, el MGVCA fue capaz de mantener el incremento sostenido del TAH en la AIA de Guatemala e incrementando el TAH y la sostenibilidad del cultivo.

Además, el MGVCA y su proyección del escenario varietal para la zafra 2021-22 sugirió que será más rentable, y con cinco variedades (CG02-163, CP72-2086, RB84-5210, CG98-78 y CG98-46) cultivadas en un área del 78% en el área de estudio.

En el estudio A9Z, el análisis de la contribución por variedad en el incremento anual de TAH, TCH y CS mostró la importancia de adoptar comercialmente varias variedades para identificar las de más alta productividad de azúcar. Por lo tanto, para identificar las

variedades CG02-163, RB84-5210 y CG98-46 como importantes en las contribuciones más altas en las TAA fue necesario adoptar las 14 variedades liberadas bajo las condiciones comerciales en el área de estudio. También es importante considerar en la gestión de adopción de las variedades el balance en el TCH y la CS, debido a que la mejora en CS tiene un alto valor económico en función del azúcar producido de las fincas y del ingenio, con poco incremento en los costos marginales en cosecha, transporte y molienda (Jackson, 2005; Wei *et al.*, 2006).

El impacto de las variedades mejoradas y el uso del MGVCA en el incremento sostenido de la AIA de Guatemala se estimó sobre la base de los resultados de los análisis A3Z y A9Z y la tendencia de incremento del TAH en los últimos 58 años (CENGICAÑA, 2017).

En el A3Z, el incremento de 0,80 TAH, bajo la condición de variedades y mes de cosecha adoptado, se refleja en el A9Z cuando se estima en 0,78 TAH el incremento en nueve zafas equivalente a un incremento anual de 0,08 TAH, bajo la condición del 68% de adopción de las variedades recomendadas. Por lo tanto, se puede considerar el valor de 0,78 TAH como la contribución de las variedades mejoradas en este estudio para mantener el incremento sostenido de la AIA de Guatemala observado entre la zafra 1959-60 y 2016-17 (CENGICAÑA, 2017) en la zafra 2021-22.

El incremento anual estimado de 0,08 TAH es muy similar a 0,09 TAH que representa el incremento anual de la AIA Guatemala en 58 años (CENGICAÑA, 2017). El valor 0,08 TAH puede incrementarse en la medida que la adopción supere el 68%.

En este sentido, al relacionar el 68% de adopción y el 0,78 TAH resultó que por cada 1% de adopción existió un aumento de 0,01147 TAH (114,5 kg de azúcar); por lo tanto, tomando en consideración el supuesto “Si la adopción de las variedades liberadas fuera de un 100%, el incremento del TAH será la diferencia con respecto al histórico del área”; y bajo el escenario de un 90% de adopción de las

variedades liberadas, la AIA de Guatemala estaría incrementando su TAH en 1,03 (0,01147 TAH x 9 zafas) para la zafra 2021-22.

5.2 ADOPCIÓN DE LAS VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR RECOMENDADAS

La adopción del conjunto de las 12 variedades recomendadas en el estudio A3Z, representado por la suma de T1 y T2 (Tabla 7), se esperaba debido a que las variedades en el modelo fueron implementadas basándose en el supuesto que “El grupo gestor del modelo del ingenio tiene suficiente conocimiento para recomendar la variedad ideal para cada lote y el poder de implementar los cambios varietales” y se consideró aceptable principalmente por tres razones: i) abarcó, en promedio, cerca de tres cuartos (76.6%) del área de estudio; ii) aunque en escala pequeña, los valores de ID mostraron incrementos con tendencia hacia la meta sugerida en el 100%; y iii) es mayor a la adopción de las variedades de caña de azúcar en otros países tal el caso de Co86032 y Co265 en Mararashtra, el estado de mayor producción de India, las cuales fueron adoptadas en un rango de 17.24 a 66.67% (Deokate *et al.*, 2015).

En el estudio A3Z, los patrones de adopción por variedad fueron diferentes cuando se analizaron las variedades categorizadas por niveles de adopción. En éste sentido, el resultado de las variedades CP88-1165, CP73-1547, Mex79-431 y CP 72-2086, clasificadas como altamente adoptadas, fue razonable debido al hecho de que han sido comerciales por mucho tiempo (Orozco y Buc, 2017) y, por lo tanto, han cumplido con los principales atributos como la resistencia a enfermedades, la productividad de azúcar y la adaptabilidad de las variedades comerciales adoptadas (Mordocco *et al.*, 2005, 2007).

El resultado también es el reflejo del cumplimiento del supuesto “El grupo gestor del modelo del ingenio tiene suficiente conocimiento para recomendar la variedad ideal para cada lote y el poder de implementar los cambios varietales”.

La clasificación de CG00-033, SP79-1287 y CG98-78 en la categoría de adopción moderada, sin diferencias estadísticamente significativas con respecto a la categoría de altamente adoptadas, se pudo explicar por el hecho de que estas tres variedades aceleraron su adopción en la última zafra estudiada, resultando con un promedio ponderado de ID de 87%, similar al promedio ponderado de ID de la categoría de altamente adoptadas con 88%.

Los resultados de adopción de variedades categorizadas en este estudio son similares a los encontrados en Australia por Mordocco *et al.* (2005) quienes, utilizando una base de datos de 23 años (1980-2003), encontraron cuatro diferentes grupos de variedades categorizadas por su nivel de adopción.

Las variedades altamente adoptadas en la primera categoría fueron Q124, Q96 y Q117. La variedad H56-752 se reportó en la categoría dos, mientras que en la categoría tres se reportaron las variedades Q108, Q110 y Q122. Por último, en el grupo cuatro se reportaron varias variedades adoptadas en pequeñas áreas.

Las diferencias observadas en planeamiento de área (ha) en las tres categorías de variedades sugiere la presencia de una dinámica varietal considerada crucial, debido a que las variedades comerciales clasificadas como altamente adoptadas, y cultivadas en las áreas más importantes (Tabla 7), en el futuro cercano ocuparán áreas de menor importancia, y viceversa con la categoría de las variedades pobremente adoptadas. En este sentido, es importante estudiar las causas del decaimiento de las variedades.

El estudio A9Z aportó más información en el tema de adopción, al considerar nueve zafras con algunas variedades diferentes al del estudio A3Z.

En el A9Z el comportamiento de la adopción de las variedades recomendadas fue afectado positivamente por la variedad CP88-1165 liberada conjuntamente por USDA-ARS, CENGICANA y la

Universidad de la Florida para uso comercial en Guatemala (Juárez *et al.*, 2008), la cual empezó a eliminarse cuando se inició este estudio.

Bajo esta circunstancia, el incremento de la adopción del 8 al 68% en nueve zafras, y con un incremento anual del 6,55%, puede ser considerado acelerado y responde al objetivo del MGVCA.

La adopción acelerada de variedades nuevas también se ha evidenciado en Australia, Brasil y Sur de África (Burnquist *et al.*, 2010).

En contraste, las variedades recientemente liberadas (CG98-46, CG00-102, RB84-5210, SP71-6161 y CG02-163) fueron categorizadas con las más bajas tasas de adopción, lo que se explica debido a su limitada información (Muhammad *et al.*, 2001; Ahmad *et al.*, 2007) y/o a la no disponibilidad de semilla (Mordocco *et al.*, 2005; Ahmad *et al.*, 2007) en los eventos de planeamiento varietal.

En el comportamiento del nivel y tasa de adopción entre variedades destacó la variedad CG02-163 debido a su resistencia a enfermedades, alta productividad de azúcar y adaptabilidad que son los requisitos apropiados de una variedad comercial de alto impacto (Mordocco *et al.*, 2005, 2007). Esta variedad ha estado sustituyendo a la CP88-1165 por su buena adaptabilidad a suelos franco-arenosos por su abundante sistema radicular y tolerancia al paso de las cosechadoras mecánicas. Estas características aseguran que la variedad CG02-163 alcanzará un nivel de adopción del 34% del área en la zafra 2020-21 (datos de seis zafras) y, por lo tanto, con una tasa de adopción anual del 5,66%. Este nivel de adopción es alto y la tasa de adopción anual es acelerada sobre la base de comparaciones con otras variedades locales y variedades australianas.

Localmente han destacado dos variedades; CP72-2086 con el nivel de adopción más alto, 75,1% del área después de 15 años de su introducción a Guatemala, y una tasa de adopción anual de 5,00%; y la CP88-1165, adoptada en el 37,9% en 10 años (3,39% anual) (Orozco *et*

al., 2017). En Australia, dentro de la categoría de variedades aceleradamente adoptadas se reportó la variedad Q124, la cual ocupó el 42% del área, 14 años después de haber sido liberada (3% anual).

Los posibles factores externos que han favorecido la adopción acelerada de la variedad CG02-163 fueron la presencia de enfermedades en dos de las variedades más importantes, CP88-1165 y CP72-2086. La variedad CP88-1165 se reportó susceptible a *Fusarium sacchari* (Gams) = *Cephalosporium sacchari* (Butl.), el agente causal de la enfermedad tallos secos de la caña de azúcar (Ovalle y Catalán, 2013); mientras que en el año 2008 se reportó por primera vez en Guatemala la enfermedad roya naranja, afectando a la variedad CP72-2086 (Ovalle *et al.*, 2008, 2010).

La presencia de enfermedades en estas variedades contribuyó a la necesidad de buscar otras opciones varietales (Quemé *et al.*, 2014), coincidiendo con lo reportado en Australia, en donde la sucesión de variedades se produjo porque la variedad Q124 se volvió susceptible a roya naranja, por lo que fue sustituida por otras nuevas con resistencia genética a la enfermedad (Mordocco *et al.*, 2007).

Un segundo factor en la adopción acelerada fue el adoptar las variedades liberadas por la razón de su nivel más alto de TAH; y, en este caso, se cumplió la premisa “Las variedades liberadas tienen el potencial de producir mayor productividad de azúcar comparado con el de las variedades comerciales actuales por lo tanto adoptarlas es un factor crucial”.

Basada en esta explicación, la hipótesis podría ser que las variedades que corresponden a las categorías moderada y de pobre adopción tendrán un rol comercial importante en el futuro cercano y, por lo tanto, serán las variedades altamente adoptadas.

El riesgo por pérdidas en TAH debido a la adopción de las variedades liberadas es bajo, si se toma en consideración el hecho de que CENGICANA contempla en su programa de selección ensayos de

campo replicados en varias localidades, en diferentes estados de selección y durante varios ciclos de cultivo, con una duración cercana a 12 años, como se reporta en la mayoría de programas de mejora genética de la caña de azúcar (Berding *et al.*, 2004; Bischoff y Gravois, 2004; Cox *et al.*, 2000).

Sobre esta base las variedades liberadas en este programa y recomendadas en el modelo superaron, con diferencias estadísticamente significativas, a las variedades comerciales usadas como testigos CP72-2086, CP73-1547 y CP88-1165 en los ensayos de campo correspondientes al estado V de selección (Orozco *et al.*, 2011, 2012b; 2013, 2014a, 2015, 2016 y 2017).

5.3 EL BALANCE DE LAS COMPOSICIONES VARIETALES EN LOS NUEVOS ESCENARIOS

Los cambios observados en los escenarios varietales estudiados respondieron a la necesidad de la AIA de Guatemala por mantener el incremento del TAH, pero particularmente de forma sostenida, mediante la adopción de un número cada vez más adecuado de variedades liberadas de alto TAH y resistentes a las plagas y enfermedades tratando de alcanzar lo obtenido por otras agroindustrias azucareras como el caso de Florida, USA y Australia (Quemé *et al.*, 2014).

Derivado de lo anterior se esperan nuevos escenarios varietales en el futuro cercano en el área de este estudio, pero también en toda la AIA de Guatemala.

En este contexto, el MGVCA ayudará en la innovación varietal y, por lo tanto, a disponer de una composición varietal más diversa, mediante el uso de variedades de adaptabilidad específica a los ambientes de producción y a los meses de cosecha. Un modelo similar se desarrolla en Brasil (Scarpari *et al.*, 2008), donde se pretende determinar la combinación óptima de distintas variedades entre las

disponibles, facilitando la planificación agrícola del cultivo y dificultando la proliferación de agentes patógenos.

El resultado de la comparación entre el primero (2012-13) y último escenario varietal (2021-22) ilustró que la AIA de Guatemala se volverá menos vulnerable, en la medida que las variedades se planifican de una manera más estratégica. Por lo tanto, los escenarios varietales sostenibles serán aquellos con un mayor número de variedades de alta productividad de azúcar y, por lo tanto, en áreas mejor distribuidas.







6. CONCLUSIONES



6. CONCLUSIONES

Las variedades mejoradas (CG e introducidas) y liberadas por CENGICAÑA, así como el uso del MGVCA (Modelo de Gestión de Variedades de Caña de Azúcar) en tres zafras y tres ciclos de cultivo plantía, impactaron en un incremento de 0,80 t de azúcar por ha, obtenido del incremento de 5,0 t de caña por ha y 3,5 kg de azúcar por t de caña. Este resultado se confirmó con el estudio de nueve zafras y todos los ciclos de cultivo, con un incremento de 0,78 t de azúcar por ha que corresponde a un incremento anual de 0,08 t de azúcar por ha, lo que asegura un crecimiento sostenido de la productividad de azúcar en la Agroindustria Azucarera Guatemalteca a corto plazo (2021-22) gracias a la combinación del programa de mejora genética de CENGICAÑA y del MGVCA.

El incremento sostenido de la productividad se debió, por una parte, al impacto positivo de las variedades mejoradas recomendadas en el MGVCA; y, por otra, a la aplicación del MGVCA, el cual permitió la adopción acelerada de variedades mejoradas, cuantificada en una tasa de adopción anual del 6,55% y alcanzando el 68% al final del estudio, en la zafra 2021-22.

La variación determinada en el número y proporción del área ocupada de las variedades en las nueve zafras, estudiadas comparativamente con el escenario varietal inicial en la zafra 2013-14, reflejaron el potencial genético del grupo de variedades propuesto. En la zafra 2013-14, las tres variedades comerciales CP88-1165, CP72-2086 y CP73-1547 ocuparon el 78,2% del área total, con el 42,1, 26,1 y 10,0%, respectivamente; mientras que, en el escenario varietal proyectado, el área similar descrita será ocupada por las cuatro variedades CG02-163, CP72-2086, RB84-5210 y CG98-78. Estas variedades mostraron que el programa de mejora de CENGICAÑA ha

sido exitoso en su contribución a la viabilidad y rentabilidad del área de estudio y en toda la AIA de Guatemala. Por estas razones será necesario mantener el soporte económico al Programa de Variedades de CENGICAÑA para la obtención de las variedades nuevas del futuro cercano e intermedio.





7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AHMAD, M., AKRAM, M., RAUF, R., KHAN, I.A. (2007). Adoption of and constraints in use of high yielding varieties: a case study of four villages of district Peshawar and Charsada. *Sarhad J. Agric*, 23(3), 803–806.
- ASAZGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala). (2017). Azúcar de Guatemala. In: Carpeta informativa.
- BANCO DE GUATEMALA. (2016). Superintendencia de Bancos 70 años (1946-2016). Sector Azucarero. Departamento de Análisis Macroprudencial y Estándares de Supervisión.
- BERDING, N., HOGARTH, N., COX, M. (2004). Plant Improvement of Sugarcane. In: *Sugarcane*. Blackwell Science Ltd. Oxford. 20 pp.
- BISCHOFF, K.P., GRAVOIS, K.A. (2004). The development of new sugarcane varieties at the LSU Agcenter. *Journal American Society Sugar Cane Technologists*, Vol. 24, 2004.
- BURNQUIST, W.L. (2013). Sugarcane research and development: A view from the private sector. In: *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, Vol. 28, 2013.
- BURNQUIST, W.L., REDSHAW, K., GILMOUR, R.F. (2010). Evaluating sugarcane R&D performance: Evaluation of three breeding programs. In: *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, 27.
- CARDOZO, NP, SENTELHAS, PC. (2013). Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. *Scientia Agricola*. 70(6):449-456.

CASTRO, O., MONTERROSO, H. (2014). Análisis de causas y efectos que contribuyen al incremento o baja concentración de azúcar en la zona cañera guatemalteca. Punto de vista agrometeorológico. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp. 299-310). Guatemala: Zafra 2013-14. CENGICAÑA.

CENGICAÑA (CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR). (2011-2017). Base de datos de productividad de la agroindustria azucarera guatemalteca. Guatemala. Consultado el 18 de Mayo de 2017. Disponible con restricciones en <https://cengicana.org/usodeingenios>.

CENGICAÑA (CENTRO GUATEMALTECO DE INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR). (2017). Series históricas de producción, exportación y consumo de azúcar en Guatemala. In: Boletín Estadístico Año 18, No. 1. CENGICAÑA.

CENICAÑA (CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA). (2017). Cenicaña propone estrategia de adopción de variedades. In: Carta informativa. Año 5. No. 1.

CHAPMAN. LS. (1996). Increase in sugar yield from plant breeding from 1946 to 1994. In: Sugarcane. Research towards efficient and sustainable production. Wilson J. R. Hogarth D. M. Campbell J. A. y Garside A. I. (Eds). CSIRO. Division of Tropical and Pastures. Brisbane, Australia.

CHEN, R., ZHAONIAN, Y. (2010). Sugarcane production and research in China. In: Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 27.

- COX, M.C., STRINGER, J.K. (2007). Benchmarking genetic gains from new cultivars in Queensland using productivity data. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, 27, 124–132. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, Vol. 26.
- COX, M.C., HOGARTH, M., SMITH, G. (2000). Cane breeding and improvement. In: *Manual of cane growing*.
- COX, M.C., STRINGER, J.K., CERVELLIN, R.J. (2005). Productivity increases from new varieties in the Queensland sugar industry. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, 27, 124–132.
- DEOKATE T.B., GAVALI, A.V., MALI, B.K. (2015). Adoption dynamics of recommended sugarcane technologies in western Maharashtra. In: *International Journal of Agricultural Sciences*. ISSN: 0975-3710 & E-ISSN: 0975-9107, Volume 7, Issue 11, 2015, pp.-762-766.
- DI RIENZO J.A., CASANOVES, F., BALZARINI, M.G., GONZALEZ, L., TABLADA, M., ROBLEDO, C.W. (2016). *InfoStat versión 2016*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- EDMÉ, S.J., MILLER, J.D., GLAZ, B., TAI, P.Y.T., COMSTOCK, J.C. (2005). Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. *Crop Sci.*, 45, 92–97.
- FUGLIE, K.O. (2012). Productivity growth and technology capital in the global agricultural economy. In: CAB International. *Productivity growth in agriculture. An international perspective*. Ed: K. O. Fuglie, V. E. Ball y S. L. Wang. 336p.
- GOES T., MARRA, R., ARAÚJO, M.D., ALVES, E., SOUZA, M.O.D. (2011). Sugarcane in Brazil. Current technologic stage and perspectives. In: *Revista de política agrícola*. Ano XX – No

- 1– Jan./Fev./Mar. 2011. Documento en línea. Consultado 8/06/2018.
<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/48>
- ISAACS, C.H., CASTILLO, S.V., CARRILLO, V.E., MOSQUERA, L.A., FRANCO, A. (2010). Technology transfer groups and their impact on technology innovation in the sugar agroindustry in the Cauca Valley, Colombia. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 27, 2010.
- JUÁREZ, J.L., MILLER, J.D., OROZCO, H., SOLARES, E., TAI, P.Y.P., COMSTOCK, J.C., GLAZ, B., QUEMÉ DE LEÓN, J.L., OVALLE, W., EDMÉ, S.J., GLYNN, N.C., DEREN, C.W. (2008). Registration of ‘CP 88-1165’ Sugarcane. Journal of Plant Registrations, Vol. 2, No. 2, May 2008.
- JACKSON, P.A. (2005). Breeding for improved sugar content in sugarcane. Field Crops Res., 92, 277–290.
- JAMES G.L. (2004). An Introduction to Sugarcane. In: Sugarcane. Segunda edición por G. James. Blackwell Science. p 1-19.
- KPMG. (2017). Business Roadmap Transformation Opportunities. In: Advisory Service: The Indian Sugar Industry Sector Roadmap 2017. KPMG in India. Documento en línea. Consultado 7/06/2018.
- MAHER G.W. (2014). Developing a strong research-extension-grower linkage to ensure adoption of new sugarcane technology in South Africa. In: Proc. S. Afr. Sug. Technol. Ass. 87: 362 – 371.
- MALES W.P., CLIVE, P.R. (2010). Maintaining the international competitiveness of the Australian sugar industry. In: Sugarcane: Research towards efficient and sustainable production. Sugar 2000 symposium towards a sweeter future. Editores: JR Wilson,

DM Hogarth, JA Campbell, AL Garside. Copyright © 1996. CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures. ISBN 0 643 05941.

MELGAR, M. (2012). Desarrollo Tecnológico de la Agroindustria Azucarera y Perspectivas. En: El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R. Eds. Guatemala, CENGICANA. Artemis Edinter. P. 1-31.

MENESES A., GALIEGO, M. (2015). Comparación de productividad de las principales agroindustrias azucareras de Latinoamérica periodo 1979/1980 a 2014/2015. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp.381-395). Guatemala: Zafra 2014-15. CENGICANA.

MING, R., MOORE, P.H., WU, K.K., D'HONT, A., GLASZMANN, J.C., TEW, T.L., MIRKOV, T.E., DA SILVA, J., JIFON, J., RAI, M., SCHNELL, R.J., BRUMBLEY, S.M., LAKSHMANAN, P., COMSTOCK, J.C., PATERSON, A.H. (2006). Sugarcane Improvement through Breeding and Biotechnology. *In* (J Janick ed.). Plant Breeding Reviews 27: 15-118.

MORDOCCO, A. STRINGER, J.K, COX, M.C. (2007). Analysis of district adoption patterns of commercial sugarcane varieties to determine the drivers of varietal adoption in the Australian sugar industry. In: Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 29.

MORDOCCO, A., COX, M C., STRINGER, J.K., LAKSHMANAN, P., GILMOUR, R., ALLSOPP, P.G. (2005). Patterns of adoption of commercial sugarcane varieties to increase economic returns to the Australian sugar industry. Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., 27, 182–188.

MSIRI (Mauritius Sugarcane Industry Research Institute). Mauritius

- Cane Industry. (2016). RFA 1: Enhanced variety improvement through plant breeding and biotechnology for new cane varieties with high cane yield and sucrose content. In: Research and Development Plan 2016-2020 for a resilient Mauritian cane industry. Consultado 20/01/2018. http://www.msiri.mu/UserFiles/File/R_D/MSIRI_R_&_D_Plan_2016-2020.pdf. Consultado en línea 8/06/2018.
- MUHAMMAD S., GARFORTH, C., MALIK, N.H. (2001). Factors affecting the adoption of recommended sugarcane technologies by farmers. Pak. J. Agri. Sci. Vol. 38(1-2), 2001.
- OROZCO H., BUC, R. (2017). Censo de variedades de caña de azúcar de la zona cañera de Guatemala para la zafra 2017-18. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp. 1-12). Guatemala: Zafra 2016-17. CENGICAÑA.
- OROZCO VÁSQUEZ, H., OVALLE SÁENZ, W. (2012). Experiencias en el planeamiento y seguimiento al desarrollo comercial de variedades nuevas en la agroindustria azucarera guatemalteca. In Memoria de Presentación Resultados de Investigación (pp. 16–24). Guatemala: Zafra 2011–12. CENGICAÑA
- OROZCO, H., OVALLE, W., JUÁREZ, J. (2004). Germoplasma de caña de azúcar introducido al programa de variedades de CENGICAÑA de 1992 al año 2004. Guatemala, CENGICAÑA. 48 p.
- OROZCO H., OVALLE, W., CASTRO, O., QUEME, J.L., LOPEZ, A., ACAN, J., AZAÑON, V., GOMEZ, J.V. (2011). Tercera Prueba Semicomercial de variedades promisorias de caña de azúcar en plantía, primera y segunda soca. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp. 14-26). Guatemala: Zafra 2010-11. CENGICAÑA.

- OROZCO, H., QUEMÉ, J.L., OVALLE, W., LONGO, F.R. (2012a). Sugarcane breeding and selection. In M. Melgar, A. Meneses, H. Orozco, O. Pérez, & R. Espinosa (Eds.). Sugarcane cultivation in Guatemala (pp. 46–47). Guatemala: CENGICAÑA.
- OROZCO H., OVALLE, W., CASTRO, O., QUEME, J.L., AZAÑÓN, V., GOMEZ, J.V. (2012b). Cuarta Prueba Semicomercial de variedades promisorias de caña de azúcar en plantía, primera y segunda soca. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp. 25-36). Guatemala: Zafra 2011-12. CENGICAÑA.
- OROZCO H., CASTRO, O., OVALLE, W., GOMEZ, J.V., AZAÑÓN, V., PAZ, V. (2013). Cuarta Prueba Semicomercial de variedades promisorias de caña de azúcar en plantía, primera y segunda soca. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp. 49-61). Guatemala: Zafra 2012-13. CENGICAÑA.
- OROZCO H., CASTRO, O., OVALLE, W., GOMEZ, J.V., AZAÑÓN, V., PAZ, V. AMPUDIA, L. (2014a). Selección de variedades de la Quinta Prueba Semicomercial para la Agroindustria Azucarera Guatemalteca. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp. 66-83). Guatemala: Zafra 2013-14. CENGICAÑA.
- OROZCO, H., OVALLE, W., VILLATORO, B., PAZ, V., BARNEOND, F., VELÁSQUEZ S., DÍAZ, F. (2014b). Aplicación de un modelo de gestión varietal en caña de azúcar (*Saccharum spp.*) y determinación de índices de adopción de variedades para la zafra 2014-15 en Guatemala. In: IX Congreso de Técnicos Azucareros de Latino América y el Caribe-ATALAC. Costa Rica.
- OROZCO H., CASTRO, O., OVALLE, W., QUEME, J., PAZ, V., GOMEZ, J.V., AZAÑÓN, V. (2015). Selección de variedades

- de la Quinta Prueba Semicomercial para la Agroindustria Azucarera Guatemalteca. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp. 43-63). Guatemala: Zafra 2014-15. CENGICAÑA.
- OROZCO H., CASTRO, O., OVALLE, W., QUEME, J., PAZ, V., GOMEZ, J.V., AZAÑÓN, V. (2016). Selección de variedades de la Quinta Prueba Semicomercial para la Agroindustria Azucarera Guatemalteca. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp.47-76). Guatemala: Zafra 2015-16. CENGICAÑA.
- OROZCO H., BUC, R., OVALLE, W., QUEME, J., AZAÑÓN, V., GOMEZ, J.V. (2017). Selección de variedades CG04 para uso comercial en la Agroindustria Azucarera Guatemalteca. In: Memoria de Presentación de Resultados de Investigación (pp.1-20). Guatemala: Zafra 2015-16. CENGICAÑA.
- OVALLE W. (1997). Manual de identificación de enfermedades de la caña de azúcar. Guatemala, CENGICAÑA. 83 p.
- OVALLE, S.W., CATALÁN, M. (2013). El agente causal de la caña seca de la caña de azúcar en Guatemala. In: Mem. Pesent. Result de Investigación (pp. 130–135). Guatemala: Zafra 2012-13. CENGICAÑA.
- OVALLE, W., COMSTOCK, J., GLYNN, N., CASTLEBURY, L. (2008). First report of *Puccinia Kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane in Guatemala. Plant Dis. 92:973.
- OVALLE, W., OROZCO, H., FONG, E., GARCIA, S. (2010). The effect of orange rust (*Puccinia Kuehnii*) on sugar yield in six sugarcane varieties in Guatemala. In. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 27, 1–9.
- PARFITT, R.C. (2005). Release of sugarcane varieties in South

Africa. Proc. S. Afri. Sugar Technol. Ass, 79, 63.

- QUEMÉ, J., OROZCO, H., OVALLE, W., CATALÁN, M. (2010). Selección de variedades de caña de azúcar CG 08 en el Estado II de selección. En: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2009-2010. Guatemala, CENGICAÑA. pp. 92-100.
- QUEMÉ, J.L., OROZCO, H., ROSALES, F., MELGAR, M. (2014). Outstanding commercial varieties and their influence upon the adoption of new sugarcane varieties. Sugar J., 18–28.
- RAMBURAN, S. (2008). Comparing variety trial and commercial data: Trends and relationships for practical use in the South African Industry. Proc S Afr Sug Technol Ass (2008) 81:498-507.
- RUKAI. C., YUAN, Z. (2010). Sugarcane production and research in China.
- SRA (SUGAR RESEARCH AUSTRALIA). Annual Report 2015–16. 2016. 22p. Consultado en línea 8/06/2018. https://sugarresearch.com.au/wp-content/.../SRA_Annual_Report_2015_2016.pdf
- SRA (SUGAR RESEARCH AUSTRALIA). 2017a. National Sugarcane Industry RD&E Strategy. 34p. Consultado en línea 8/06/2018. <https://sugarresearch.com.au/wp-content/uploads/2017/09/National-Sugarcane-RDE-Strategy.pdf>.
- SRA (SUGAR RESEARCH AUSTRALIA). 2017b. SRA Strategic Plan 2017/18 – 2021/22. 35p.
- RUTKAUSKAS. J., PAULAVICIENE, E. (2005). Concept of Productivity in Service Sector. In: Influence of quality management of the country's economy. ISSN 1392-2785

ENGINEERING ECONOMICS. 2005. No 3 (43).

SCARPARI, M.S., ARAGONÉS, L.M.P., BEAUCLAIR, E.G.F. (2008). La optimización del cultivo de variedades de caña-de-azúcar. Brasil. Revista Investigación operacional, 29(1), 26–33.

SEECHAN, M., CHIMNARONG, V., VEERACHIT, V., JIRAPHATTHARASIRI, T., RETHINUM, S., PLIANSINCHAI, U. (2016). Historical ENSO-related impacts on sugarcane yields in northeastern Thailand. In: Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists, Vol. 29, 1557-1563.

STRINGER, J., CROFT, B., DI BELLA, L., SEFTON, M., NIELSON, R., LARSEN, P., DE LAI, R., DAVIES, I. (2016). Optimising productivity and variety recommendations through analysis of mill data. Proc Aust. Soc. Sugar Cane Technol, 38, 180–192.

USDA (United States Department of Agriculture) Foreign Agricultural Service. (2018). Sugar: World markets and trade.

VILLALOBOS F.J., MATEOS, L., ORGAZ, F., FERERES, E. (2009). Sistemas agrícolas y agricultura. In: Fitotecnia: Bases y tecnologías de la producción agrícola.

WACLAWOVSKY A.J., SATO, P.M., LEMBKE, C.G., MOORE, P.H., SOUZA, M.G. (2010). Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. In: Plant Biotechnology Journal (2010) 8, pp. 263–276. doi: 10.1111/j.1467-7652.2009.00491.x.

WEI, X., JACKSON, P., COX, M., STRINGER, J.O. (2006). Maximising economic benefits to the whole sugarcane industry from the BSES-CSIRO sugarcane improvement program. In: Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 28.

YINGGANG O., WEGENER, M., DANTONG, Y., QINTING, L.,
DINGE, Z., MEIMEI, W., HAOCHUN, L. (2013).
Mechanization technology: the key to sugarcane production in
China. Int. J. Agric & Biol. Eng., 6(1):1-27.

