

TRABAJO DIPLOMA

INCREMENTO DE LA PRODUCCION DE POSTURAS EN
CRUZAMIENTOS DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum spp.*) EN
FUNCION DEL MEJORAMIENTO DEL CULTIVO.



AUTOR: CARLOS LUIS LEDESMA FELIPE

Sancti Spíritus, 2016

Universidad de Sancti Spiritus

“Jose Martí Pérez”

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Departamento de Agronomía

TRABAJO DIPLOMA

INCREMENTO DE LA PRODUCCION DE POSTURAS EN
CRUZAMIENTOS DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum spp.*) EN
FUNCION DEL MEJORAMIENTO DEL CULTIVO.

Autor: Carlos Luis Ledesma Felipe

Tutores: Dr. C Víctor Manuel Caraballoso Torrecilla

Consultantes: Dr. Yamilka García Pérez

Dr. C. Servando Martínez Hernández

Pensamiento

Nadie alcanza la meta con un solo intento..., ni perfecciona la vida con una sola rectificación..., ni alcanza altura con un solo vuelo.... Nadie hace obras sin martillar sobre su edificio, ni cultiva amistad sin renunciar a sí mismo. Pero nadie deja de llegar cuando se tienen la claridad de un don, el crecimiento de la voluntad, la abundancia de la vida, el poder para realizarse y el impulso de sí mismo.... Nadie deja de llegar cuando de verdad se lo propone.

Anónimo

Dedicatoria

A mi madre, luz que ilumina mi vida y la razón de ser.

*A mi padre, el cual ve realizados sus sueños a través de
mi realización profesional.*

Agradecimientos

A la Revolución que nos dio esta maravillosa oportunidad.

A mis tutores por su dedicación, apoyo y paciencia.

A mi familia, en especial a mi mamá que me ayudó incondicionalmente en el día a día durante mis estudios.

A mis amigos por darme aliento en el momento preciso.

A mis compañeros de estudio, por compartir buenos momentos que siempre recordaré con mucho cariño.

A todos los profesores, que en el transcurso de estos cinco años nos impartieron sus conocimientos con dedicación y constancia.

Muchas Gracias.

INDICE

Contenido	Pág.
INTRODUCCION -----	
Capítulo 1 -----	
1- Fundamentación teórica-----	
1.1-Situación actual del cultivo de la caña de azúcar en Cuba-----	
1.2-Mejoramiento genético de la caña de azúcar-----	
1.3-Interacción genotipo por ambiente (gxe) -----	
1.3.1- Interacción gxe en la floración de la caña de azúcar-----	
1.3.2- La Interacción gxe sobre los procesos de hibridación de la caña de azúcar-----	
1.4-Principales factores que afectan la floración-----	
1.4.1- Fotoperiodismo-----	
1.4.2- Temperatura-----	
1.5- Hibridación-----	
1.6- Programas de mejoras del mundo-----	
1.7- Resultados alcanzados en el Centro de Hibridación de Cuba, en el manejo de cruzamientos-----	
1.8-Objetivos y líneas de mejoras en Cuba-----	
DESARROLLO -----	
Capítulo 2-----	
2- Materiales y Métodos-----	
2.1- Principales fuentes de interacción genotipo por ambiente-----	
2.2- Principales causas del ambiente que incidieron en la producción de posturas---	
2.3- Propuesta de soluciones para incrementar la producción de posturas-----	
Capítulo 3-----	
3- Resultados y discusión-----	

3.1- Principales fuentes de interacción genotipo por ambiente

3.2- Principales causas del ambiente que pudieran incidir en la producción de posturas.

3.2.1- Tipo de cruce-----

3.2.2- Progenitor femenino según procedencia de la flor-----

3.2.3- Progenitor masculino según procedencia de la flor-----

3.2.4- Combinación de localidades de procedencia de las flores para el cruce--

3.3- Propuesta de soluciones que contribuirán al incremento de la producción de posturas-----

CONCLUSIONES -----

RECOMENDACIONES -----

BLIBLEOGRAFIA -----

ANEXOS-----

SÍNTESIS:

Las condiciones cambiantes del ambiente provocan una baja producción de posturas donde se ejecutan los cruzamientos, por lo que se reduce la explotación de la variabilidad genética del cultivo y la probabilidad de obtener nuevas variedades. Por ello el objetivo del presente trabajo radica en incrementar la producción de posturas en cruzamientos de caña de azúcar, a partir del manejo eficiente de las condiciones ambientales en la casa de cruzamiento de la Estación Experimental de la caña de azúcar, a través de los cruzamientos y determinaron las principales fuentes de interacción genotipo por ambiente para la producción de posturas, mediante un diseño de bloques al azar. También se trató de definir las principales causas del ambiente que incidieron en la producción de posturas, con el análisis de los valores de producción de posturas por formas de manejos de las flores. Por último se proponen soluciones para el incremento de la producción de posturas en cruzamientos entre progenitores de caña de azúcar para las condiciones existentes en el centro. Como resultados se logró definir a la fuente de variación interacción cruce x ambiente como la que más influencia tuvo sobre la producción de posturas. También se conoció que la mayor producción de posturas se logra con el uso de combinaciones biparentales manejadas dentro de bolsos de cruzamientos.

SYNTHESIS:

The changing conditions of the atmosphere cause a low production of postures where the crossing is executed, for what decreases the exploitation of the genetic variability of the cultivation and the probability of obtaining new varieties. For it is objective of the present work to propose solutions to increase the production of postures in crossing of cane of sugar, starting from the efficient handling of the environmental conditions. For they were studied it the conditions where the crossing was executed to determine the main sources of interaction genotype for atmosphere for the production of postures, through a design of blocks at random. It was also to define the main causes of the atmosphere that impacted in the production of postures, with the analysis of the values of production of postures for forms of handlings of the flowers. Lastly they intend solutions for the increment of the production of postures in crossing among progenitors of cane of sugar for the existent conditions in the center. As results it was possible to define to the source of variation interaction x it crosses it sets as the one that more influence had on the production of postures. It was also known that the biggest production of postures is achieved with the use of combinations parental managed inside crossing handbags, expert's group detected like main cause of values first floor of production of postures the non-termination of the crossing house that causes high values of temperature and first floor of humidity

INTRODUCCIÓN:

La oscilación en los precios del azúcar en el mercado internacional y la subida del precio de algunas materias primas, como el petróleo, hacen cada vez más necesaria la búsqueda de la eficiencia y la calidad, del que ha sido el principal renglón exportador de Cuba por más de 100 años. En lo interno, el desaprovechamiento de la superficie agrícola y los bajos rendimientos agrícolas, unido a lo obsoleto de la mayor parte de la tecnología industrial indicaron la necesidad de reformular la agroindustria azucarera (Pérez *et al.*, 2004).

Un análisis reciente del mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba muestra que la complejidad del mismo ha ido en ascenso, determinado por la aparición de nuevas enfermedades y la limitada base genética de la colección activa de progenitores que ha venido caracterizando al mismo (Pérez *et al.*, 2007), esto hace que los programas de mejora están limitados a menos variedades, las cuales no siempre florecen.

Para los procesos de fitomejoramiento en caña de azúcar, el órgano que reviste mayor importancia es la flor, esta permite realizar nuevas combinaciones híbridas. La floración tiene efectos negativos en el rendimiento de azúcar de una variedad, esto ha sido determinado en algunos experimentos de campo, donde se ha encontrado que plantas que florecen en un 35% de sus tallos puede perder de 15% a 20% en sus rendimientos de azúcar por hectárea (Arrivillaga, 1988), lo que hace que la floración sea difícil y se produzca bajo las condiciones de cultivo, producto del efecto de selección negativa que se realiza sobre este carácter.

En la actualidad mucho se ha avanzado en el manejo de la floración, basado en la obtención de fotoperíodos artificiales (Nuss y Berding, 1999; Berding, 2005; Berding y *et al.*, 2007; LaBorde, 2007), pero dichas tecnologías son altamente costosas y no están al alcance de países de escasos recursos económicos, como es el caso de Cuba, lo que ha traído como consecuencia un estrechamiento de la base genética de los cultivares liberados.

Los primeros trabajos de mejora consistieron en la recopilación de panículas fecundadas libremente. Muy pronto se buscó un mejor control de los cruzamientos, en Java, comenzaron a emplearse como progenitores femeninos, variedades que producían poco o ningún grano de polen fértil,

situándolas en forma de tableros de ajedrez junto a variedades seleccionadas productoras de granos de polen con fertilidad. Posteriormente, comenzaron a controlarse los cruzamientos mediante linternas de cristal o bolsos de tela, para proteger los progenitores femeninos, mientras que diariamente se espolvoreaba el polen de los masculinos (Stevenson, 1965).

Ya en la década de 1920 se centraron las investigaciones en lograr conservar vivos los tallos cortados. Un éxito importante resultó que estos se podían mantener en perfecto estado en una solución diluida de ácido sulfuroso (Stevenson, 1965). A partir de aquí se inician los trabajos para perfeccionar la tecnología, que incluye casas de fotoperíodo, de cruzamientos e invernaderos. Dado el alto costo económico de la creación de las condiciones artificiales para la inducción de la floración, la mayoría de los países aprovechan las condiciones naturales, principalmente los países tropicales donde la caña de azúcar tiene buena floración. Los mejores resultados de floración se obtienen en Barbados, Brasil, Hawái, India, Mauricio, México y Cuba; mientras que los países de latitudes subtropicales, necesitan casas de fotoperíodo pues la floración es escasa.

Estas condiciones artificiales han sido desarrolladas en los Estados Unidos, Sudáfrica y Argentina. En otros países tropicales se emplean ambas condiciones (naturales y artificiales), por lo que el proceso es más eficiente, se destaca en este aspecto Australia, en los ubicados en el ecuador la floración es errática por que han optado por condiciones artificiales, entre ellos está Colombia y Ecuador.

Los trabajos de mejoramiento en Cuba se iniciaron, según Pérez et al. (2007), en 1905 por R.H. Grey en el jardín botánico de la universidad de Harvard en el antiguo Central Soledad de la provincia Cienfuegos, a estos le siguieron otros sitios de la geografía cubana hasta que a partir de 1964, estos se fusionaron en el Instituto de Investigación de la Caña de Azúcar (INICA) el que fue ampliando sus centros de cruzamientos hasta el año 1997, año en que se realizaba en cinco provincias del país, y se empleaban 10 localidades con características favorables para la floración donde efectuaban entre 1500 y 1800 cruces anualmente (Caraballosa *et al.*, 2000).

Como resultado de estudios en las diferentes localidades del país y de la necesidad de reducir los costos en el programa, en 1999 se creó el Centro

Nacional de Hibridación en la provincia Sancti Spíritus (Carabaloso *et al.*, 2003), y a partir del 2005, queda como única estación de cruzamientos en Cuba.

La brusca reducción de localidades hace que disminuya las posibilidades de explotación de la variabilidad genética con que cuenta el programa de mejora, el que para ejecutar un programa de selección en caña de azúcar, es muy importante la obtención de un número alto de plántulas, pues se conoce que mientras más numerosa sea la población heterocigota obtenida, mayor será la probabilidad de obtener individuos superiores.

Pero en la actualidad las condiciones del ambiente provocan una baja producción de posturas donde se ejecutan los cruzamientos, por lo que se reduce la explotación de la variabilidad genética del cultivo y la probabilidad de obtener nuevas variedades.

Problema científico: ¿Cómo incrementar la producción de posturas de caña de azúcar con fines de mejoramiento genético del cultivo?

Hipótesis: Si se logran identificar las mejores condiciones para la producción de posturas en los cruzamientos de caña de azúcar, permitirá establecer las mejores variantes para su implementación y lograr incrementar la explotación de la variabilidad genética en función del mejoramiento del cultivo.

Objetivo general: Incrementar la producción de posturas en cruzamientos de caña de azúcar, a partir del manejo eficiente de las condiciones ambientales.

Objetivos específicos:

1. Determinar las principales fuentes de interacción genotipo por ambiente para la producción de posturas en cruzamientos de esta gramínea.
2. Definir las principales causas del ambiente que incidieron en la producción de posturas.
3. Proponer soluciones que contribuyan al incremento de la producción de posturas en cruzamientos entre progenitores de caña de azúcar para las condiciones existentes en el centro.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1- Situación actual del cultivo de la caña de azúcar en Cuba

Actualmente el grupo AZCUBA (anteriormente MINAZ) acomete un proceso de reorganización que impone una nueva visión a la agricultura cañera, buscando la sostenibilidad sobre la base de un amplio programa de diversificación, con valores agregados a la producción de caña que faciliten la reducción de sus costos y el incremento de la productividad, para alcanzar los niveles de producción de azúcar que requiere el país.

Es por ello que en la visión actual de empresas y unidades productoras de caña se plantea: Producir caña con calidad, de forma creciente, cubriendo eficientemente la demanda planificada, con rendimientos agrícolas de 50 t/caña/ha o más y costos competitivos, protegiendo el medio ambiente, aprovechando las nuevas tecnologías y el conocimiento acumulado (Gómez *et al.*, 2008).

La industria azucarera se encuentra afectada por carencias de la materia prima, ineficiencia productiva, por los altos precios del petróleo y sobre todo por afectaciones climatológicas como la sequía que ha provocado los bajos rendimientos obtenidos actualmente (Carrobello, 2005).

Algunas de las tecnologías a las que se atribuye mayor potencial de incremento de los rendimientos son las relacionadas con la genética, biotecnologías e ingeniería genética, que se resumen en la creación y desarrollo de nuevas variedades con mayores potenciales de rendimiento. Un ejemplo clásico de esto es el aumento de los rendimientos en el cultivo del maíz en Estados Unidos que en un período de 60 años (1940-2000) multiplicó cinco veces sus rendimientos y la mayor parte de estos incrementos espectaculares es atribuida a los nuevos genotipos introducidos (Hallauer y Pandey, 2006).

En el caso de la agroindustria azucarera, hay diversos autores que consideran que más del 50 % del incremento de los rendimientos en azúcar por área se debe a la introducción de nuevas variedades (Edme *et al.*, 2005). En el estado de Florida en Estados Unidos, se reportaron ganancias que van de más del 1 % a más del 4 % anual en un período de tiempo que va desde 1968 hasta el año 2000 atribuible a las nuevas variedades (Edme *et al.*, 2005).

En Cuba también hay diversos autores que coinciden en la importancia de la creación de nuevos genotipos para el incremento de la producción de azúcar

por área (Jorge *et al*, 2001). Los resultados obtenidos en los últimos 40 años son notables debido a la introducción de nuevo germoplasma que de menos de 1000 genotipos llega a casi 4000; liberarse de la dependencia de variedades foráneas que fueron en una época muy importantes y ahora no ocupan más del 15% del área nacional y del establecimiento de programas especiales de resistencia a enfermedades y condiciones adversas, entre otros resultados notables del programa nacional que existe para estos fines (Jorge *et al.*, 2007). Sin embargo, debido al pobre incremento del rendimiento logrado en el período estudiado, es difícil estimar el aporte específico de los nuevos genotipos, aunque su potencial agrícola y de contenido azucarero es alto.

Es por ello que cada vez reviste mayor importancia la mejora genética del cultivo.

1.2- Mejoramiento genético de la caña de azúcar.

Hasta la década de 1880 se supone que la caña de azúcar era estéril, ya que los únicos clones cultivados en el hemisferio occidental, la “Criolla” y la “Borbón”, eran androestériles. El descubrimiento de su fertilidad se efectúa simultáneamente en Java y Barbados en 1888, lo cual permite que se emprendiera con rapidez la organización del trabajo de cruzamientos en ambos países con vista a contrarrestar la incidencia de enfermedades (Stevenson, 1965).

Los primeros trabajos de mejora consisten en la recopilación de panículas fecundadas libremente, pero muy pronto se tuvo en cuenta la necesidad de buscar un mejor control de los cruzamientos. En Java comenzaron a emplearse como variedades femeninas, clones que producían poco o ningún grano de polen, situadas en forma de tableros de ajedrez junto a otros seleccionados por la alta fertilidad del polen.

Posteriormente, comenzaron a controlarse los cruzamientos mediante linternas de cristal o bolsos de tela, para proteger las variedades femeninas del polen extraño y diariamente se espolvoreaba el polen del masculino (Stevenson, 1965).

En la década de 1920 las investigaciones se centraron en lograr conservar vivos los tallos cortados. Un éxito importante se logró al mantenerlos en perfecto estado en una solución diluida de ácido sulfuroso (Stevenson, 1965); a partir de aquí se inician los trabajos para perfeccionar la tecnología de

cruzamientos, que incluyó casas de fotoperiodo, de cruzamientos e invernaderos.

Los trabajos de mejoramiento en Cuba se iniciaron en 1905 por el señor R.H. Grey en el jardín botánico de la actual provincia Cienfuegos, perteneciente, en aquel entonces a la Universidad Harvard, en el antiguo Central Soledad. A estos le siguieron en 1943 los desarrollados por la Estación Experimental Agronómica de Santiago de las Vegas, actual Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT) y a partir de 1947 pasaron para la Estación Experimental de Jovellanos (Pérez *et al.*, 1997).

Posteriormente y casi de manera paralela, se sumaron en 1948 el entonces central Jaronú, en Camagüey y en 1952 el antiguo Central "Preston" en Holguín, este último bajo la dirección de la *United Fruit Sugar Co.* Estos enfrentan la tarea de obtener nuevos cultivares adaptados a las zonas edafoclimáticas donde se localizaban las propiedades de las compañías azucareras que operaban en el nordeste de la región oriental de Cuba.

En 1964 se fusionaron todos los trabajos que hasta entonces se habían desarrollado en el país, a la vez se creaba el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), el que se amplió hasta finales de la década del 90, a partir de la cual inicia un proceso de perfeccionamiento, que incluye una reorientación de su trabajo.

A pesar de que el INICA mantiene entre sus objetivos principales la obtención y selección de nuevos cultivares de caña de azúcar, fue necesario reducir el número de colecciones de Germoplasma de cuatro (Habana, Matanzas, Camagüey y Holguín) a dos (Matanzas y Holguín) y el número de Centros de Hibridación, de cinco (Habana, Matanzas, Sancti Spíritus, Camagüey y Holguín) a uno (Sancti Spíritus).

En la actualidad este instituto tiene una red de estaciones provinciales que abarca todo el país y entre sus logros está que el 85 % de los cultivares que se explotan en Cuba han sido obtenidas a través del programa de mejora cubano (MINAZ-INICA, 2009), lo que ha permitido mantener un trabajo ininterrumpido y de esta forma evitar la incidencia de plagas, problema que ha causado grandes pérdidas agrícolas en determinadas épocas y países. Para realizar el mejoramiento genético del cultivo se necesita la flor (Tew, 2003).

1.3- Interacción genotipo por ambiente (gxe)

El término genotipo se refiere a un cultivar (material genéticamente homogéneo como puras líneas o copias, o heterogéneo, como las poblaciones abiertas) en lugar de la constitución genética de un individuo. El término ambiente relaciona al conjunto del clima, suelo, microorganismos (plagas) y las condiciones de manejo, en un ensayo individual llevado a cabo en una situación dada en un año (cosechas anuales) o durante varios años (plantas perennes). En particular, un ambiente identifica una situación localidad-año (cultivos anuales) o localidad-ciclo de cosecha (plantas perennes) (Annicchiarico, 2002).

Los estudios de la interacción genotipo-ambiente (gxe) y la estabilidad fenotípica resultan de especial interés en el mejoramiento genético de la caña de azúcar. La evaluación de variedades en diferentes localidades, a lo largo del tiempo, es una importante opción para estimar las respuestas genotípicas diferenciales a variadas condiciones ambientales, y de esta forma, estimar la interacción genotipo-ambiente. (Aucilino y et al., 2000).

Numerosos trabajos han reportado que en Cuba, la magnitud del componente ambiental y la interacción gxe es considerablemente superior a la variación debida a los genotipos (García, 2004; Delgado, 2008; Marín, 2009). La consecuencia práctica directa, es la necesidad de replicar espacial y temporalmente los estudios comparativos de nuevas variedades, abarcando un número de regiones y dentro de ellas, varias localidades con diferencias edafoclimáticas más o menos notables (Bernal y et al., 2007).

Dentro de los métodos propuesto para estudiar la estabilidad y adaptabilidad fenotípica, se encuentran los procedimientos basados en los estimados de la varianza de la I. gxe (Wricke, 1962; Shukla, 1972), la regresión lineal simple (Yates y Cochran, 1938; Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966; Bilbro y Ray, 1976), la regresión múltiple (Verma y et al., 1978; Silva y Barreto, 1986; Cruz y et al., 1989; Storck y Vencovsky, 1994).

Asimismo, se encuentran otros métodos multivariados como el análisis de componentes principales (Crossa, 1990), análisis de agrupamiento (Hanson, 1994), análisis de coordenadas principales (Westcott, 1987); y métodos que integran el análisis común de varianza (método univariado) con el análisis de componentes principales (método mulivariado) como es el caso del modelo AMMI sugerido por Gauch y Zobel (1988) y modelo GGE (Yan y et al., 2000).

Los modelos de Efectos Principales Aditivos e Interacciones Multiplicativas (AMMI) combinan el Análisis de Varianza regular (ANOVA), para los efectos principales aditivos, con la descomposición en valores y vectores o Análisis de Componentes Principales (ACP) para la estructura multiplicativa de la interacción (Gauch, 2007). Estos modelos tienen como objetivo explicar la interacción asociada a un ANOVA bifactorial, a partir de una representación *biplot* de filas (genotipos) y columnas (ambientes) y dan la posibilidad de estudiar el grado de estabilidad de los genotipos al ser probados en diferentes ambientes. (Varela y Castillo, 2005).

También, son efectivos para varios propósitos: (1) comprensión de la I. GXA, en los que se incluyen la clasificación de los ambientes, (2) mejoramiento de la precisión en el rendimiento estimado, lo cual incrementa la probabilidad de éxito de selección de genotipos con altos rendimientos, (3) estimar datos faltantes, (4) incremento de la flexibilidad y eficiencia de los diseños experimentales (Gauch y Zobel 1996).

En este contexto se considera la I. gxe un diseño bifactorial con Y_{ij} el rendimiento del genotipo i en el ambiente j .

Una propiedad interesante y la más importante del *biplot*, es que cada valor de la interacción genotipo-ambiente, puede ser estimado y visualizado por los marcadores de genotipos y ambientes que presenta el *biplot* (Yan, 2001). En dicha representación, proximidades entre genotipos y ambientes indica una interacción positiva, en caso contrario, es decir, genotipos y ambientes distantes es sinónimo de interacción negativa, y genotipos próximos al origen de coordenadas indica estabilidad (Varela y Castillo, 2005).

Este modelo ha demostrado ser más eficiente que otras técnicas tradicionales de análisis donde es imprescindible discernir en detalle sobre las características de la I. gxe (Zobel y et al., 1988; Nachit y et al., 1992; Yan, 1995).

1.3.1 Interacción gxe en la floración de la caña de azúcar

Para los procesos de fitomejoramiento en caña de azúcar, el órgano que reviste mayor importancia es la flor, ya que permite realizar nuevas combinaciones híbridas. Aunque es reconocido que la floración tiene efectos negativos sobre el rendimiento (Berding y Hurney, 2005). Se ha determinado en algunos experimentos de campo, que la planta que florece en un 35% de

sus tallos puede perder entre el 15% y el 20% de su rendimiento normal (en toneladas de azúcar por hectárea) (Arrivillaga, 1988).

Generalmente las plantas tienen distintas fases en su crecimiento y éstas se pueden dividir en dos etapas: a) vegetativa y b) reproductiva. En la etapa vegetativa la planta pasa por los estados de crecimiento y desarrollo hasta alcanzar cierta madurez fisiológica, la cual la lleva a la etapa reproductiva donde el vegetal pasa por dos estados: a) floración y b) fructificación, siendo estos dos estados distintos. El crecimiento vegetativo y el de fructificación dependen de la nutrición de la planta, mientras que el de floración está regido por hormonas específicas (Meyer y et al., 1970).

Cuando los tallos alcanzan cierto desarrollo y se dan las condiciones que estimulan un cambio en el ápice de un estado vegetativo (primordio foliar) a un estado reproductivo (primordio floral) se da origen a la inflorescencia (panícula o panoja). El proceso de la floración es producto de una larga cadena de procesos fisiológicos complejos que se producen dentro de un período de más de 120 días después de la siembra, incluyendo la maduración fisiológica, la inducción y organización floral, así como la posterior emergencia de la panícula y luego el paso a la etapa de formación de la semilla y maduración de la misma (Moore, 1974a).

La floración tiene gran influencia en dos aspectos: el primer aspecto se remite a la producción del azúcar, que se ve disminuida debido a que la planta utiliza gran parte de la energía (carbohidratos y sacarosa) presente en su tallo para la formación de la inflorescencia, disminuyendo su rendimiento, y el segundo aspecto es el mejoramiento genético, donde se utiliza la floración para la realización de cruzamientos (Arrivillaga, 1988), evento trascendental para los ensayos de nuevas combinaciones híbridas en programas de mejoramiento.

Para estos programas la floración es importante ya que da origen a los mecanismos para la producción de nuevas combinaciones híbridas, indispensables en los programas de mejoramiento genético a nivel mundial.

Por esto en muchos países donde las condiciones no favorecen a la floración en condiciones naturales, promueven y se experimentan con la inducción artificial de la floración persiguiendo la sincronización de las variedades de caña de azúcar a cruzar (Moore, 1974a).

La floración en caña de azúcar está bajo control genético y ambiental, por lo que sobre ella influyen factores de ambos orígenes, entre los que destacan la posición geográfica (latitud y altitud), fotoperíodo, lluvia, temperatura, radiación y calidad de luz, tipo de suelo, humedad del suelo, fertilidad del suelo (especialmente estatus de nitrógeno), plagas y enfermedades, momento de la plantación, y biológicos como edad fisiológica, sensibilidad de la variedad para florecer, relación de auxina, interferencia con el crecimiento vegetativo, que influyen en la floración (Polo, 2005; LaBorde, 2007).

El fotoperíodo es el factor más importante que se considera para que se produzca la floración es la duración del día (fotoperíodo) (Castro, 1996). Además de esto el período de oscuridad desempeña una participación importante en la respuesta fotoperiódica, ya que una interrupción de la noche inhibe el florecimiento de las plantas de día corto y estimula el de plantas de día largo. Al parecer el fitocromo detecta la luz y su eficacia depende del tiempo de irradiación (Salisbury y Ross, 1994).

La temperatura tiene mayor cantidad de cambios de un año hacia otro que el fotoperíodo y se cree que éste es más importante en latitudes alejadas del Ecuador (Stevenson, 1965). La respuesta de todas las plantas en sus procesos metabólicos depende del rango de temperaturas que prevalezcan en el lugar donde ésta se desarrolle, si la temperatura sobrepasa el intervalo, las reacciones se pueden frenar debido a la desnaturalización de las sustancias de origen proteico que intervienen en todas estas reacciones (Salisbury y Ross, 1994).

La baja humedad reduce la extensión de la floración (Yeu, 1980). La relación cuantitativa entre la cantidad de irrigación aplicada y la extensión de la floración indican la sensibilidad floral a la sequía (Gosnell, 1973). Clements (1968) señaló que la caña de azúcar es muy sensible a la falta de agua y no florece si está bajo tensión. En República Dominicana (Röhring y et al., 1960) aumentaron la floración en la variedad POJ 2878 del 4.9 al 16.3% mediante el aumento del riego, de aplicaciones trisemanales a semanales. Un clima húmedo o tratamiento con agua son reportados como causantes de un mayor % de floración por Gosnell (1973).

La estación para la floración de la caña de azúcar muestra una correspondencia general con la latitud. En el hemisferio norte la emergencia de

la flor comienza en el ecuador cerca del otoño (sept 22). La floración progresa hacia el norte para alcanzar los 10 ° N en octubre, los 20 ° N en noviembre y los 30 ° N en diciembre (Brett, 1950).

En un estudio por Juang (1969) sobre la fecha de floración de 14 híbridos comerciales en cuatro latitudes se registraron como promedio de 31 días más temprano en Saigón (10.8° N) que en Wantan (22.6° N). Los 14 híbridos mostraron correlaciones positivas entre la latitud de plantación y la fecha de floración la que fluctuaba entre $r = + 0.84$ y $+ 0.97$.

La floración es estacional y su apareamiento va acorde con la latitud en que se encuentre ubicado. En el Ecuador y muy cercano a él, (3° a 5°) ocurre durante todo el año. Conforme se incrementa la latitud norte, la floración es estacional y comienza durante el equinoccio de otoño (alrededor del 21 de septiembre). Gradualmente progresa hacia el norte. Alrededor de los 10° N en octubre, los 20° N en noviembre y los 30° N para diciembre (Nuss, 1978).

La floración en la caña de azúcar acorde a su ciclo y determinada por la latitud del sitio en que está plantada presenta cierta variación en cuanto a su centro de origen y en cuanto a su ciclo de vida muestra algunos cambios con respecto al tiempo de iniciación en su centro de origen.

Variedades normalmente situadas lejos del ecuador tienden a florecer en menor tiempo que cuando crecen cerca de éste. Ésta fue la conclusión a que se llegó con un estudio realizado en Sabahieya, Egipto, en el cual se determinó que las condiciones latitudinales óptimas para el crecimiento de la caña de azúcar se encuentra desde los 5° a 30° latitud y para razones del estudio éstas fueron desplazadas a 31°12' Norte (Alejandría, Egipto), para poder conocer su comportamiento. Bajo las condiciones que se presentan en esta localidad, la floración comienza al final de diciembre y termina al final del mes de junio, presentando su temporada pico (respecto al inicio de la floración) en los meses de enero y febrero (Allam y et al., 1978).

Al ir aumentando la latitud, tanto al sur como hacia el norte los días van decreciendo más rápidamente, por lo que el fotoperíodo comienza a influir.

En algunos países se reporta influencia de la altitud sobre la floración destacándose los resultados en República Dominicana, donde se encontró mejor floración a 450 ms que a 60 ms de elevación (Van Breemen, 1964). En Barbados, Stevenson (1965) señala poca floración en los llanos costeros, y alta

a 800 ms de altitud. En Australia se lograron valores superiores de intensidad y floración temprana en Walkamin, situada a 580 ms (Pollock, 1981).

En México, Aguilar y Debernardi (2004) encontraron que el mayor porcentaje de floración se encontraba entre 292 y 846 msnm. Nayamuth y col. (2003) estudiaron 21 localidades en Mauricio con alturas entre 20 y 480 msnm y encontraron una correlación positiva débil de la floración y la altitud. Nair y Vigneswaran (2009) estudiaron y encontraron floración de géneros afines a la caña de azúcar a diferentes altitudes en la India. Para las condiciones de Guatemala se ha observado que a mayor altitud la incidencia de la floración es mayor (Polo, 2005).

Para el caso de Cuba se ha encontrado una mejor floración en las zonas de montaña en las diferentes regiones, Morales y García (1987) en el occidente, (Carabaloso y col., 2000) y (Morales y col., 1999) en el centro, mientras que (Cruz y col.; 2007) reportan algo similar para el Oriente del país.

A pesar de todo lo explicado hasta aquí se ha observado que en casos específicos existen localidades donde no se cumple la generalidad de lo señalado.

Para la floración la interacción genotipo por ambiente se ha reportado en varios países, como es el caso de dos sitios al sur de la isla de Hainan donde se encontró que aquel con mayor precipitación, mayor número de días de lluvia y alta humedad fue mejor para la floración de la mayoría de las variedades de caña de azúcar (Yeu, 1980).

En un estudio llevado a cabo en México por Aguilar y Debernardi (2004) empleando la variedad CP72-2086 plantada a diferentes altitudes encontraron que la fecha de inicio de la floración varió por efecto de la altitud de la siguiente forma: zona baja (292 - 477 msnm) del 5 al 10 de noviembre, zona media (662 - 846 msnm) del 10 al 17 de noviembre y en la zona alta, del 12 de noviembre al 15 de enero (915 - 1307 msnm).

1.3.2- La Interacción gxe sobre los procesos de hibridación de la caña de azúcar

La mayor parte de los países que cultivan la caña de azúcar en más de 50.000 ha poseen un programa de mejoramiento con la consiguiente obtención de

variedades por los métodos de la hibridación sexual y la selección (Heinz, 1987).

Sin embargo el mejoramiento convencional posee las limitaciones propias de usar el proceso sexual para obtener diversidad genética. La hibridación sexual produce progenies que contienen un complemento completo de genes de cada progenitor. Dependiendo de las especies estudiadas y los métodos analíticos utilizados, se estima que una planta expresa de 20.000 hasta 100.000 genes durante su ciclo de vida (Moore, 1990). El beneficio de la recombinación genética de este número de genes tan grande es que brinda la posibilidad de una combinación superior en una variedad mejorada.

El trabajo de hibridación en Cuba constituye la base de todo el Programa de Mejora y éste ha estado sometido a un continuo proceso de perfeccionamiento de acuerdo a las principales problemáticas que afectan la producción cañera. En la última campaña luego de un análisis cualitativo y cuantitativo se llevó a cabo una reducción en el número de progenitores a utilizar y se incrementó el uso de progenitores con resistencia a roya y carbón, que continúan siendo las principales causas de eliminación de las poblaciones en las etapas iniciales del esquema de selección (Jorge y Jorge, 2003).

La vasta mayoría de la literatura científica se ha focalizado en las interacciones gxe para los diseños de los programas de cruzamientos (Glaz y col., 1985; Milligan y col., 1990; Bull y col. 1992; Milligan 1994; Mirzawan , y col. 1994; Jackson y MacRae, 1998; Bissessur y col, 2000; Brown y Glaz, 2001; Kimbeng y col. 2002).

Para mejorar e incrementar las frecuencias de los materiales mejorados para suelos arenosos habría de requerirse de cruces específicos para ser hechos en ambientes de suelos arenosos y comenzar probando clones, en etapas tempranas, directamente en suelos arenosos (Edme, y col. 2005). Sin embargo, usualmente los programas de mejora tienen que hacer compromisos y establecer prioridades debido a los limitados recursos disponibles para cruzar en los diferentes ambientes (Brown y Glaz, 2001).

1.4- Principales factores que afectan la floración

La floración de la caña de azúcar es un proceso complejo, que se inicia con un estímulo fotoperiódico, pero para que se complete necesita determinadas

condiciones de la planta y del ambiente. Estos requerimientos han sido ampliamente debatido en un grupo de trabajos, entre los que se destacan por su importancia y actualidad los de: Coleman (1960); Clements y Awada (1964); Stevenson (1965); Arceneaux (1967); Coleman (1967); Coleman (1969); Alexander (1973); Clements (1975); Morales (1982); Moore (1987); Moore y Nuss (1987); Nuss y Berding (1999); Polo (2005); LaBorde (2007). Entre los factores del ambiente más relevantes están el fotoperíodo y temperatura.

1.4.1- Fotoperiodismo

El fotoperíodo puede ser definido como una respuesta de la planta a la variación estacional de la longitud del día (Ting, 1982). La floración fue la primera respuesta fotoperiódica que se describió (Devlin, 1982) y en la caña de azúcar uno de los primeros reportes fue realizado por Sartoris (1938), en estudios sobre el clon de *S. spontaneum* "28NG292".

Debido a que el fotoperíodo varía con la latitud y que su efecto está asociado a otros factores, se ha tratado de modelar artificialmente, lo que ocurre bajo condiciones naturales. Un grupo de trabajos se han realizado empleando un fotoperíodo constante, similar al del Ecuador (0 a 5°), donde el día dura de 12 a 12h 15 min. (Coleman, 1960; Stevenson, 1965; Brett y Harding, 1974; McRae, 1998). Pero los mejores resultados se han logrado imitando la zona reconocida como de mayor floración natural, ubicada de los 5 a los 15° de latitud, en ambos hemisferios, donde la luz va decreciendo alrededor de 30 segundos por día, lo cual se destaca en los trabajos de Coleman (1960); Coleman (1962).

1.4.2- Temperatura

Es probable que la temperatura sea el más importante de todos los factores cambiantes, una vez que la adecuada madurez y los requerimientos de la luz para la inducción del primordio han sido satisfechos (Alexander, 1973). En una región geográfica cualquiera, el fotoperíodo natural es aproximadamente constante año tras año, mientras que la floración varía, lo cual está asociado a los cambios que se producen, principalmente en la temperatura y la humedad, cuyas variaciones están estrechamente relacionadas (Moore y Nuss, 1987). La temperatura en muchos progenitores no sólo influye en la iniciación, sino también en la tasa y grado de brote de los güines y debe verse unida a las

etapas de desarrollo de la flor. Después de lograda la flor se hace necesario su cruzamiento para obtener una nueva variedad (Stevenson, 1965).

1.5- Hibridación.

El mejoramiento convencional posee las limitaciones propias de usar el proceso sexual para obtener diversidad genética. La hibridación sexual produce progenies que contienen un complemento completo de genes de cada progenitor. En dependencia de las especies estudiadas y los métodos analíticos utilizados, se estima que una planta expresa de 20.000 hasta 100.000 genes durante su ciclo de vida (Moore, 1990). El beneficio de la recombinación genética de este número de genes tan grande es que brinda la posibilidad de una combinación superior en una variedad mejorada.

Heinz (1987) indica que las dos mayores limitaciones del mejoramiento convencional son:

- La fuente de genes accesible al mejorador es limitada a aquellas especies que puedan ser sexualmente cruzadas.
- Lo extremadamente grande que es la población en la cual existe una muy baja frecuencia de plantas deseadas.

El trabajo de hibridación en Cuba constituye la base de todo el Programa de Mejora y éste ha estado sometido a un continuo proceso de perfeccionamiento de acuerdo a las principales problemáticas que afectan la producción cañera. En los cruces del 2002 luego de un análisis cualitativo y cuantitativo se llevó a cabo una reducción en el número de progenitores a utilizar y se incrementó el uso de progenitores con resistencia a roya y carbón, es una de las principales causas de eliminación de las poblaciones en las etapas iniciales del esquema de selección. Para lograr una nueva variedad es importante que se produzca la fecundación y que la semilla híbrida germine (Jorge y Jorge, 2003).

1.6- Programas de mejoras del mundo

Resulta interesante efectuar algunas comparaciones con otros centros mundiales de producción de semilla botánica de caña de azúcar, con el objeto de dimensionar el nivel de eficiencia y de calidad alcanzado. Romero y col. (2000) establecen una comparación crítica de los resultados alcanzados por la

Estación Experimental Agrícola de Obispo Colomares (EEAOC) en Tucumán, Argentina, en la campaña 1999 / 2000 los que fueron similares a los del período 1992 a 1997 del Centro Universitario Estatal Agrícola de Luisiana en Estados Unidos (LSUAC, por sus siglas en Inglés).

Cabe destacar que LSUAC es un centro de investigación de caña de azúcar ampliamente reconocido a nivel mundial; que se encuentra ubicado a 30° de latitud norte y maneja principalmente materiales de tipo comerciales, por lo tanto un punto de referencia válido para la comparación. El análisis comparativo muestra en primer lugar que en la EEAOC pudo tratarse un mayor número de tallos (1568). Las dimensiones de estos últimos son similares en ambas Instituciones, habiéndose por lo tanto logrado en la EEAOC un aprovechamiento más eficiente del espacio disponible. Este trabajo requirió de una serie de pruebas para ajustar convenientemente el volumen de los recipientes y las mezclas de suelo en equilibrio con el número de tallos.

El porcentaje de floración obtenido por la EEAOC fue muy bueno, al tener cuenta que en su plantel de progenitores hay una considerable proporción de progenitores "nuevos", con respuesta desconocida a la floración. En este sentido cabe agregar que LSUAC caracteriza esta respuesta en materiales nuevos en forma previa a su incorporación al programa de cruces, disponiéndose de una amplia infraestructura de invernaderos.

Otro punto de referencia es el Programa de floración de la Estación Experimental de la Asociación Sudafricana de Azúcar (SASEX, por sus siglas en inglés), situada a 30° de latitud sur, cuyo resultado promedio entre 1983 y 1997 fue de 60 % de floración en materiales sometidos a tratamientos fotoinductivos.

El mayor número de cruzamientos biparentales logrado por la EEAOC, no significa un mayor espacio disponible en términos comparativos. Por el contrario la realización de 336 cruces por año requiere de un intenso esfuerzo, especialmente en la época "pico" de floración. Si bien el resultado logrado en cruzamientos se aumentó con más "imaginación" que dinero, estas instalaciones deben mejorarse, sobre todo para controlar más eficientemente la temperatura y la humedad relativa.

En el caso de LSUAC las cámaras fotoperiódicas se encuentran calefaccionadas (además de los invernaderos de tratamientos y de cruces),

pudiéndose controlar más eficientemente la fertilidad del polen floral. En el caso de SASEX el valor promedio entre 1983 y 1997 es de 58 posturas/g con valores extremos de 26 y 103. Por lo indicado la temperatura juega un rol importante en la producción de posturas (Cuenya, 1997).

Los primeros reportes de la influencia de la temperatura en la producción de posturas a partir de cruzamientos de caña de azúcar se verificaron en estudios desarrollados en Sudáfrica por Brett (1950), quién encontró un incremento de 10 veces la cantidad de posturas obtenidas en cruces controlados, respecto de los que se realizaron en las temperaturas bajas predominantes en las condiciones del invierno, resultados similares se lograron en Luisiana al utilizar invernaderos (Paliatseas, 1963). En trabajos realizados en la zona oriental de Cuba, los análisis históricos indican una relación estrecha de producción de posturas, humedad y temperatura (Cruz y col., 2007).

1.7- Resultados alcanzados en el Centro de Hibridación de Cuba, en el manejo de cruzamientos.

Varios trabajos han servido de base para la conformación de la tecnología que existe actualmente en el Centro Nacional de Hibridación, en las conclusiones de ellos destacan:

González (2012) encontró que:

- La producción de posturas está influenciada, en el Centro Nacional de Hibridación por la localidad del cruce, los progenitores, las técnica de manejo y las interacciones localidad x técnica de manejo y progenitores x técnica de manejo.
- La mayor cantidad de posturas en una campaña se puede lograr con el uso de la solución + margullo.
- Se logró aumentar la producción de posturas con el manejo del tallo sin hojas, con un cuarto del tallo, en la fase de hembra montada 48 horas después de su corte.

Quintanilla (2012) demostró que:

- La solución nutritiva manejada en Australia resultó mejor que la usada en Cuba, al aumentar la producción de posturas, en cruces montados en solución.

- La nueva tecnología de solución, al ser modificada con el uso de un margullo, logró resultados superiores a la empleada anteriormente.
- Con las nuevas variantes utilizadas, para cruces de baja producción de posturas, se logró que con los cambios en la solución nutritiva, la frecuencia de mantenimiento y el riego al margullo se incrementara la cantidad de posturas.

Rodríguez (2012) plantea que:

- El momento óptima para efectuar la cosecha de los cruces es alrededor de los 32 días después de montados; los mismos según su importancia y destino, serán colectados en panícula individual o unidas.
- En la prueba de germinación se deben mantener los parámetros indicados en las normas metodológicas, con la incorporación de luz artificial durante el proceso.
- La conservación de la semilla botánica a corto plazo se debe realizar en congelación o en locales con aire acondicionado y para largo plazo en condiciones de congelación.

Por su parte Díaz (2012) afirma que:

- La temperatura máxima tuvo una marcada influencia sobre la producción de posturas, la que pudo ser validada con buenos resultados a través de la ecuación obtenida.
- Se encontró diferencia de temperatura en las áreas de cruzamientos estudiadas, con valores más marcados a la 1:00 PM, los que fueron óptimos entre 26 y 27°C para la producción de posturas.
- El sol, el techado, los árboles de alto porte y otras variables del clima provocan diferencias de temperaturas entre posiciones de las áreas de cruzamientos, las que pueden ser aprovechadas y manejadas en función del incremento de la producción de posturas.

Según Díaz (2013):

- En la región central de Cuba se pudieron identificar tres regiones bien diferenciadas para la producción de posturas, en lo que tuvo alta influencia la altitud y las variables del clima asociadas a ella.

- El estudio de la estabilidad en la producción de posturas de las combinaciones y el alto efecto de las combinaciones dentro de las fuentes de variación indica la necesidad de hacer otros estudios genéticos y fisiológicos para definir las causas de los valores bajos y tomar otras medidas para incrementar las posturas.
- Quedó definida una estrategia, basada en el uso de Guayos como localidad principal de cruzamientos, apoyada en el resto de las localidades para el suministro de flores y el pronóstico temprano de la producción de posturas, en función de la temperatura.
- El incremento de la producción de posturas, factible con el empleo de la estrategia, aquí propuesta, facilita un mayor aprovechamiento de los recursos filogenéticos, al aumentar la variabilidad genética, producto de una mayor sincronización de la floración, lo que debe contribuir a la ampliación de la base genética en los nuevos cultivares a liberarse.

1.8- Objetivos y líneas de mejoras en Cuba

Según Jorge *et al.* (2011), el programa de cruzamientos actualmente empleado en Cuba está encaminado a lograr los objetivos fundamentales siguientes:

- ✓ Obtener variedades con un porcentaje de pol y rendimientos en t pol/ha igual o superior al testigo C86-12 y un porcentaje de fibra entre 12.5 a 14.5.
- ✓ Ser resistente o tolerante a las enfermedades:
 - ✓ VMCA
 - ✓ Roya
 - ✓ Carbón
 - ✓ Escaldadura foliar
 - ✓ Otras de importancia económica que surjan
- ✓ Dar respuesta a los diferentes ciclos de plantación- cosecha con edades promedios superiores a 15 meses.
- ✓ Dar respuesta a condiciones específicas como la salinidad, sequía y deficiente drenaje interno.

El trabajo se desarrolla a través de Programas de Cruzamientos que se elaboran sobre la base del potencial genético de la Colección de Germoplasma, la información acumulada sobre los progenitores, estudios de

las progenies y la experiencia de los investigadores, definidos para líneas de mejora más importantes que actualmente son:

- ✓ Obtención de genotipos de caña de azúcar, resistentes a las principales enfermedades del cultivo (roya, carbón, VMCA y escaldadura foliar).
- ✓ Ampliación y explotación de los Recursos Fitogenéticos de la caña de azúcar.
- ✓ Programa Comercial de Obtención de nuevas variedades de caña de azúcar adaptadas a las principales regiones agroclimáticas del país.
- ✓ Obtención de nuevas variedades de caña de azúcar tolerantes a condiciones de estrés ambiental (deficiente drenaje interno y tolerancia a la sequía).
- ✓ Obtención de variedades de caña de azúcar de alto contenido azucarero y maduración temprana.
- ✓ Convenio con la República Islámica de Irán para el Mejoramiento Genético de los principales tipos de estrés ambiental presentes en Khuzestán, Irán.

La programación de los cruzamientos con fines comerciales se fundamenta en la información acumulada, que incluye las características de los progenitores, los resultados de la evaluación de sus progenies, los principales parámetros genéticos determinados, así como el porcentaje de selección registrado en cada etapa del esquema, los que en dependencia de su comportamiento se dividen en exploratorios y comprobados (Jorge *et al.*, 2011).

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en la Casa de Cruzamientos, lugar donde se efectúan los cruces entre progenitores que realiza el Centro Nacional de Hibridación de la caña de azúcar, perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), ubicado en el Km 1½ de la carretera a Tres Palmas, Guayos, provincia de Sancti Spíritus (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de la localidad del estudio.

Los datos del trabajo se obtuvieron de la información de producción de posturas de los cruzamientos que se realizaron en la temporada 2015-2016, según programa establecido para los principales objetivos de mejora de Cuba y de algunos cruces específicos para los objetivos de esta tesis.

La metodología empleada aparece en Jorge *et al.* (2010) y otras modificaciones propuestas por Caraballoso (2012), algunos se explican en cada acápite para su mejor comprensión.

Los cruzamientos se realizaron a partir de la incorporación de tallos florecidos procedentes de diferentes localidades (Escambray, La Vega, Guayos y Cienfuegos) los que fueron colocados en la casa de cruzamiento, en dependencia del sexo (femeninas y masculinos), clasificados a partir de una muestra del polen a la que se le realizó una prueba de su fertilidad mediante el método de Lugol.

Con los datos obtenidos del sexo (femeninas por debajo del 10% de fertilidad y las masculinas por encima de 20%), se combinaron los progenitores según un programa de cruzamientos ya establecido.

Para hacer el montaje del cruce, a los tallos identificados como femeninos se le puso un margullo, compuesto por una proporción de dos partes de suelo por una de materia orgánica o cachaza, se humedece con agua y una solución del fito estimulante Fitomas-E (empleado para mejorar el enraizamiento y el estado general de la planta) y se traslada al área de cruces.

En el área de cruzamientos, estos tallos se introdujeron dentro de un recipiente con una solución nutritiva a base de ácido nítrico (38 ppm), sulfúrico (38 ppm) y fosfórico (78 ppm) combinado con SO_2 (150 ppm) con una capacidad de (5 y 8 litros). Posteriormente se colocaron, dentro del mismo recipiente los tallos definidos como masculinos, de forma tal que quedaran por encima de los identificados como femeninos.

A los cruces se les realizaron un grupo de labores de mantenimiento (lunes, miércoles y viernes), donde se controlaron que los valores de las soluciones se mantuvieran en su nivel. Estas labores se realizaron durante 15 días hasta que la flor femenina abrió todas sus florecitas, entonces se retiraron y eliminaron los tallos que se emplearon como masculinos, mientras que los femeninos se llevaron a un área de maduración, para completar su ciclo de llenado de semilla y completar la maduración del fruto.

La maduración o final de proceso, se completa cuando pasaron alrededor de 30 días a partir del montaje del cruce, transcurrido este tiempo se recolectó la flor femenina y se llevó al laboratorio.

En el laboratorio cada una de las flores maduras se despilla, para eliminar los restos que no son semilla, después se pesó y se sacó una muestra de un gramo de cada cruce, los que se pusieron a germinar en bandejas las que son colocadas dentro de una incubadora, a 37° Celsius, durante 7 u 8 días aproximadamente (mínimo 5 días). En este momento se procede a contar el número de plántulas o posturas germinadas, valor que se empleó a lo largo del trabajo como variable dependiente.

2.1- Principales fuentes de interacción genotipo por ambiente

Para conocer las diferencias dentro de las fuentes de variación (cruces, ambientes y su interacción), se ejecutaron un grupo de cruces (con la misma combinación de progenitores, seleccionados al azar) en la Casa de cruzamientos, ejecutados en fechas diferentes, inicio, mediados y final de etapa

de cruces (ambiente). Aquí se empleó un diseño de bloques al azar con cinco réplicas.

Los cruces que se montaron fueron:

1. B6368 x C120-78
2. C86-251 x CP52-43
3. CP72-2086 x Ja64-19
4. My5514 x PC
5. NCo310 x C187-68

Los cruces fueron montados, conducidos y cosechados según normas metodológicas establecidas por el programa (Jorge *et al.*, 2010), la semilla que se obtuvo fue manipulada en el laboratorio, según las normas ya mencionadas anteriormente.

Con la información generada de las posturas germinadas de cada cruce (variable dependiente), se conformó una base de datos que incluyó, como variables independientes los cruces, los ambientes y su interacción, empleando (como se mencionó) el número de posturas germinadas como variable dependiente. Con estos datos se realizó un análisis de varianza factorial y una comparación de medias donde se utilizó la prueba de Tukey, en ambos casos se consideró significativo cuando $p \leq 0.05$, en los cálculos se empleó el software STATISTICA v 8.0 (StatSoft, 2007).

2.2- Principales causas del ambiente que incidieron en la producción de posturas.

Para conocer las posibles causas del ambiente que pudieron incidir en la producción de posturas durante toda la etapa de cruzamientos de la temporada 2015-2016, se conformó una base de datos con los cruzamientos realizados en este período, donde se analizaron las diferencias de producción de posturas teniendo en cuenta los siguientes indicadores:

1. Tipo de cruce: Depende del número de progenitores en el cruce, este trabajo se emplearon tres tipos:
 - Biparental: Cuando se emplearon dos progenitores, uno femenino y otro masculino.
 - Jerárquico: Cuando se usaron varios progenitores femeninos (que no tuvieron fertilidad en el grano de polen, para que no se polinicen

entre ellas) con un progenitor masculino único de alta fertilidad del polen.

- Policruce: Cuando se cruzaron varios progenitores femeninos con varios masculinos.

2. Localidad de origen de las flores femeninas: Se emplearon cuatro localidades (Guayos, Escambray, La Vega y Cienfuegos). Estas localidades aparecen en la figura 2.



Figura 2. Áreas de floración del Centro Nacional de Hibridación.

3. Localidad de origen de las flores masculinas (Guayos, Escambray y La Vega). Aparecen en la figura anterior
4. Combinación de localidades de procedencia de las flores para el cruce. Las posibles combinaciones fueron:
 - Guayos x Guayos (G x G)
 - Guayos x Escambray (G x E)
 - Guayos x La Vega (G x LV)
 - Escambray x Guayos (E x G)
 - Escambray x La Vega (E x LV)
 - Escambray x Escambray (E x E)

- La Vega x Guayos (LV x G)
- La Vega x Escambray (LV x E)
- La Vega x La Vega (LV x LV)
- Cienfuegos x Guayos (C x G)
- Cienfuegos x La Vega (C x LV)
- Cienfuegos x Escambray (C x E)

Para cada una de estas variantes se empleó la información de la producción de posturas de los cruzamientos ejecutados en el periodo que se analiza, los valores fueron registrados en tablas y figuras donde se muestra la relación ambiente x manejo.

2.3- Propuesta de soluciones para incrementar la producción de posturas.

Teniendo en cuenta los resultados logrados en los acápite anteriores y con la colaboración de un grupo de expertos en los cruzamientos, los que fueron encuestados (ver anexo 1), la observación de las condiciones de cruzamientos en el momento del estudio y la información de manejo que existen en otros países, se propusieron soluciones para lograr incrementos sostenidos de la producción de posturas bajo las condiciones de los cruzamientos.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1- Principales fuentes de interacción genotipo por ambiente

Del resultado de los experimentos conducidos se encontró la alta influencia de la interacción cruces x ambiente sobre la producción de posturas, pero con diferencias altamente significativas para todas las fuentes de variación (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de varianza para cinco cruces en tres ambientes

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Valor F	p
Cruce	1785.086	4	446.272	64.069	0.00
Ambiente	1048.972	2	524.486	75.298	0.00
Cruce x ambiente	6880.769	8	860.096	123.481	0.00
Error	208.963	30	6.965		
Total	9923.79	44			

GL, p= grados de libertad, probabilidad de error. Diferencia estadísticas cuando $p \leq 0.05$

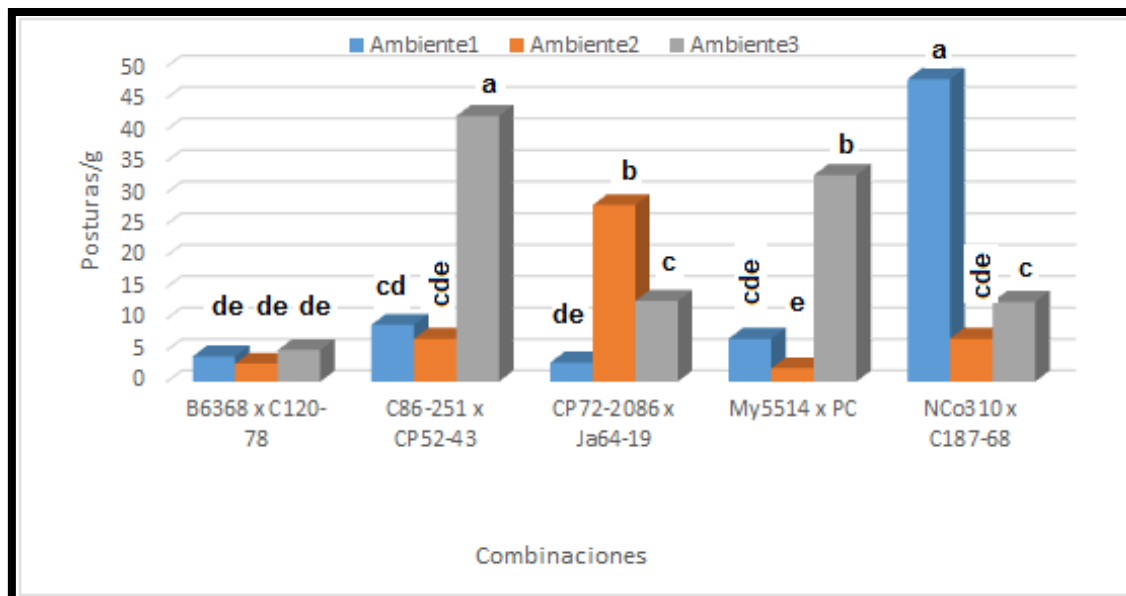
La existencia de interacción cruce x ambiente demostró que los cruces responden de forma diferente a los ambientes, esto es una dificultad para establecer la mejor condición para la producción de posturas, pero se pueden establecer algunas consideraciones y generalizaciones.

La influencia de la combinación de progenitores en la producción de posturas se conoce desde que comenzaron los cruzamientos (Stevenson, 1965) y ha sido demostrado en otros trabajos más recientes realizados en el mismo lugar de este estudio (Díaz, 2012, Blanco, 2013), en todos los casos se han reiterado dificultades de lograr posturas en algunas combinaciones, en muchos casos por la existencia de una componente genética importante (Quintanilla, 2012 y González, 2012).

Los ambientes (fecha de montaje del cruce) mostraron diferencias, esto estuvo asociado a los cambios que se fueron produciendo para mejorar las condiciones de la casa de cruzamientos. Destaca una tendencia de incremento

de posturas en la última etapa (Figura 2), donde mostraron mejores valores los cruces C86-251 x CP52-43 y My5514 x PC.

Figura 2. Valores medios de la interacción cruce x ambiente



El cruce de B6368 x C120-78, mostró poca respuesta a los ambientes, esto demuestra que genéticamente produce valores bajos de posturas, independiente del ambiente. El cruce CP72-2086 x Ja64-19 respondió mejor al ambiente 2 y el cruce NCo310 x C187-68 al ambiente 1.

Díaz (2013) recomendó tener siempre presente la alta influencia que tiene el efecto de la combinación sobre la producción de posturas, por tanto aquellos progenitores y combinaciones más sensibles deben ser vigilados con mayor rigor, evitando valores fuera de los óptimos para una buena fecundación de las flores.

Se concuerda con Caraballos, Rábaga y Domínguez (2015) que es insuficiente el conocimiento de la producción de posturas en el mejoramiento genético de la caña de azúcar, es muy importante la obtención de un número alto de plántulas, a partir del cual se inicia un proceso de selección, mientras más numerosa sea la población híbrida inicial, mayor será la probabilidad de obtener individuos superiores a los cultivados, pero este está influenciado por el factor clima, introduciendo inestabilidad en la producción de posturas, lo que tiene como consecuencias en la baja explotación de variabilidad genética y de recomendación de nuevas variedades.

3.2- Principales causas del ambiente que pudieran incidir en la producción de posturas.

A partir de la existencia de diferencias en los ambientes se trató de definir las principales causas que estaban influyendo en la producción de posturas.

3.2.1- Tipo de cruce

Los valores más altos de producción de posturas se lograron en los cruces biparentales (Figura 3), las posibles causas pudieran estar asociadas con la presencia de bolsos de aislamientos, que amortiguaron las temperaturas altas, prevalecientes con el cambio de cubierta que provocó un aumento de la temperatura.

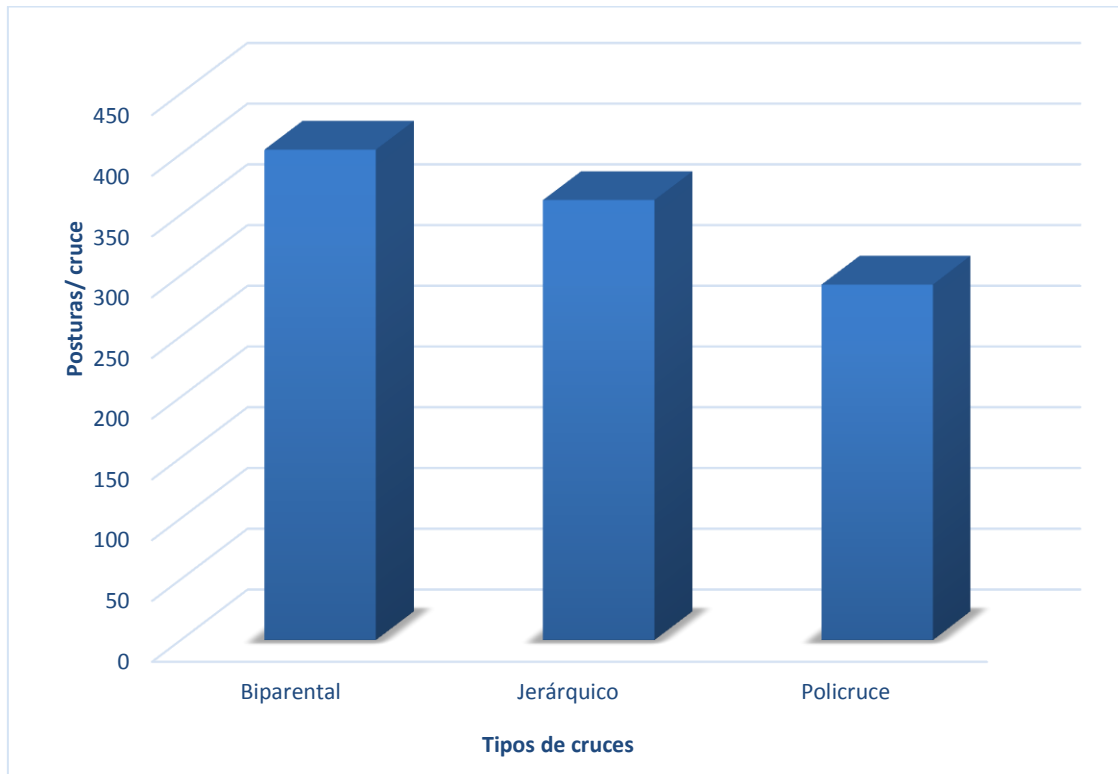


Figura 3. Producción de posturas por tipo de cruce

Contrario al anterior, el cruce jerárquico y el policruce estaba desprotegido y con paredes de tejas traslúcidas, favoreciendo el aumento de temperatura, que unido a la falta de un sistema de riego provocó desecamiento de los tallos y por tanto pérdidas de vitalidad.

En condiciones similares Álvarez (2014) encontró los mayores valores de producción de posturas en cruces poliparentales (jerárquico y policruce),

contrario a lo obtenido en este trabajo, estas diferencias se pudieron producir debido a que en el momento del estudio las temperaturas eran menos altas o porque las condiciones de la casa de cruzamiento no eran las mismas.

3.2.2- Progenitor femenino según procedencia de la flor

Cuando la flor femenina se mueve desde otras localidades hacia Guayos, debe mantener su vitalidad, pues va a mantenerse en el cruce durante 30 días, hasta que el fruto madure, para dar origen a una planta.

En el traslado muchas flores se dañan, aquí se muestra como las afectaciones son diferentes y dependen de la interacción progenitor-localidad.

Los progenitores femeninos fueron traídos de los cuatro lugares donde se extraen las flores, teniendo como resultado que las flores procedentes del Escambray, en ambos progenitores, tuvo mayor producción de posturas (Tabla 2).

Tabla 2. Producción de posturas en dos progenitores femeninos procedentes de las cuatro localidades de floración

Progenitor Femenino	Cienfuegos	Escambray	Guayos	La Vega
B6368	46	239	16	231
C88-523	30	225	30	86

En general el progenitor B6368 produjo más posturas, respecto a la C88-523, procedente de los mismos lugares, excepto en Guayos, con iguales condiciones ambientales y de transporte.

La localidad de Escambray, tuvo más prevalencia en los cruces, pero en muchos de ellos produjo menos posturas (Figura 4).

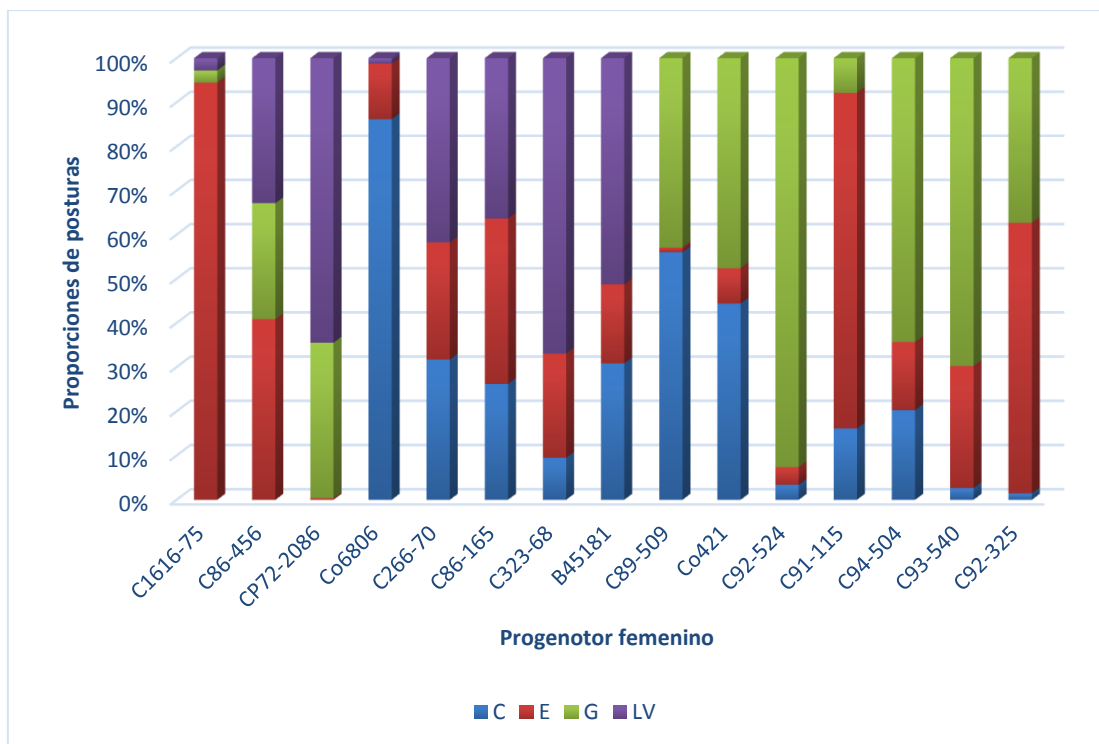


Figura 4. Producción de posturas en progenitores femeninos procedentes de las cuatro localidades de floración, pero que coinciden en tres de ellos.

Destaca la alta producción de posturas de las C1616-75, C91-115 y C92-325 en Escambray, en la localidad de La Vega las variedades que más se destacan son: C323-68, CP72-2086 y B45181, en Cienfuegos tiene mayor proporción de posturas Co6806, C89-509 y C266-70, y en Guayos el comportamiento de estos progenitores estuvo comandado por C92-524, C93-540 y C94-504.

En la figura 4 se muestra que la localidad de menor presencia fue La Vega, la que logró superar la producción de posturas, respecto a la localidad de Escambray, excepto en el progenitor Ja60-5.

Al comparar estos resultados, se hace visible la influencia de la relación componente ambiental y la relación genotipo ambiente, demostrado en García, 2004; Delgado, 2008; Marín, 2009, entre otros para quienes las variables de humedad lluvia y temperatura son responsables de las oscilaciones en la producción de posturas, particularmente Mesa y col. (2004) y Cruz y col. 2007 lo demuestran en localidades de la Habana y Holguín respectivamente. De esta manera las condiciones edafoclimáticas son factores a tener en cuenta en la producción de posturas en el proceso de extensión agrícola.

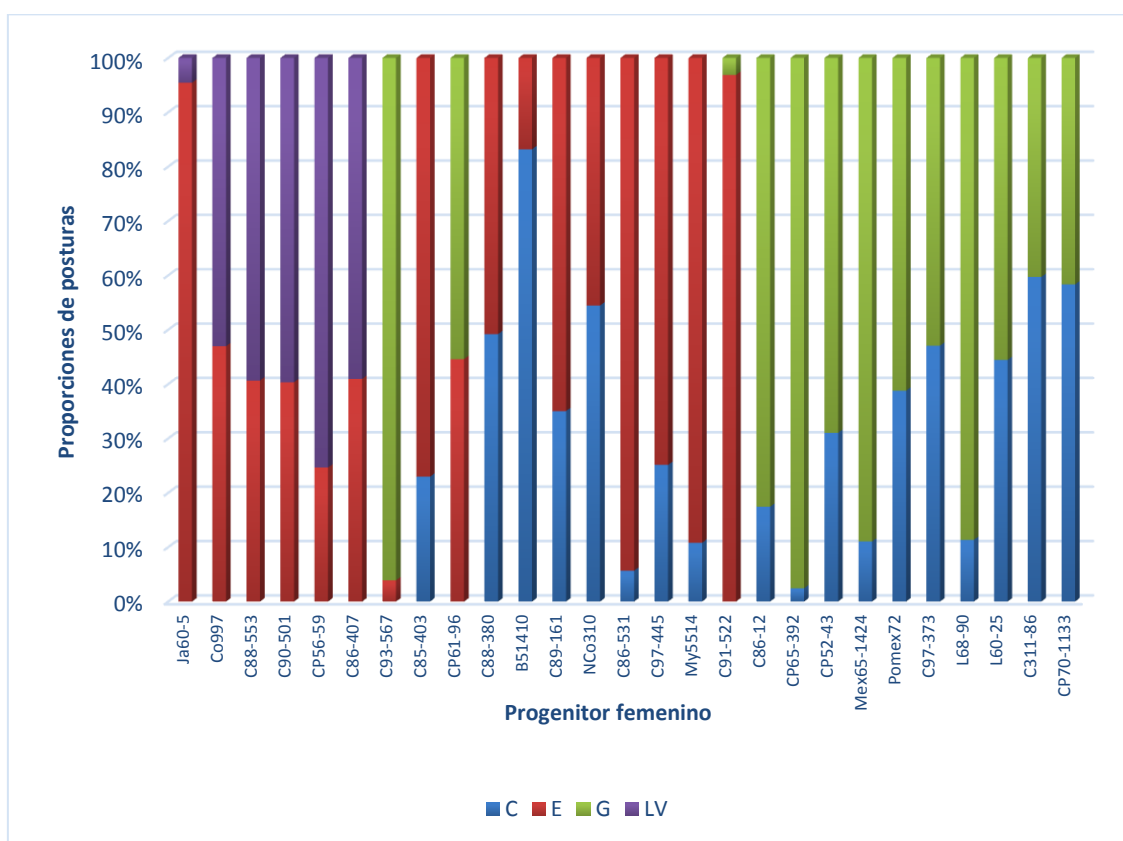


Figura 5. Producción de posturas en progenitores femeninos procedentes de las cuatro localidades de floración, pero que coinciden en dos de ellos.

Destacan producciones de posturas superiores cuando las flores proceden de Guayos y Escambray, respecto a Cienfuegos, excepto para B51410 frente a Escambray y C311-86 y CP70-1133 frente a Guayos.

3.2.3- Progenitor masculino según procedencia de la flor

El progenitor masculino solo se emplea durante quince días, por tanto necesita menos cuidados, pero siempre se producen afectaciones en el traslado.

Tres de los progenitores masculinos evaluados tuvieron comportamientos significativos en la localidad de Guayos donde sus valores oscilaron entre 694-1688 (Tabla 3).

Tabla 3. Producción de posturas de progenitores masculinos procedentes de tres localidades de floración.

Progenitor	Escambray	Guayos	La Vega
B45181	262	694	282
C227-59	342	326	458

C90-317	1008	1688	835
CP72-2086	194	853	116

Guayos domino en producción posturas y la variedad C222-59 produjo más posturas cuando fue movida desde la localidad de La Vega. En el Escambray las producciones no tuvieron malos resultados pero su umbral estuvo por debajo de las demás localidades. La variedad que tuvo mayor producción en las diferentes localidades fue la C90-317.

En este grupo de variedades representadas en la figura 6, Guayos tuvo poca representación en los cruces, con relación a las otras localidades.

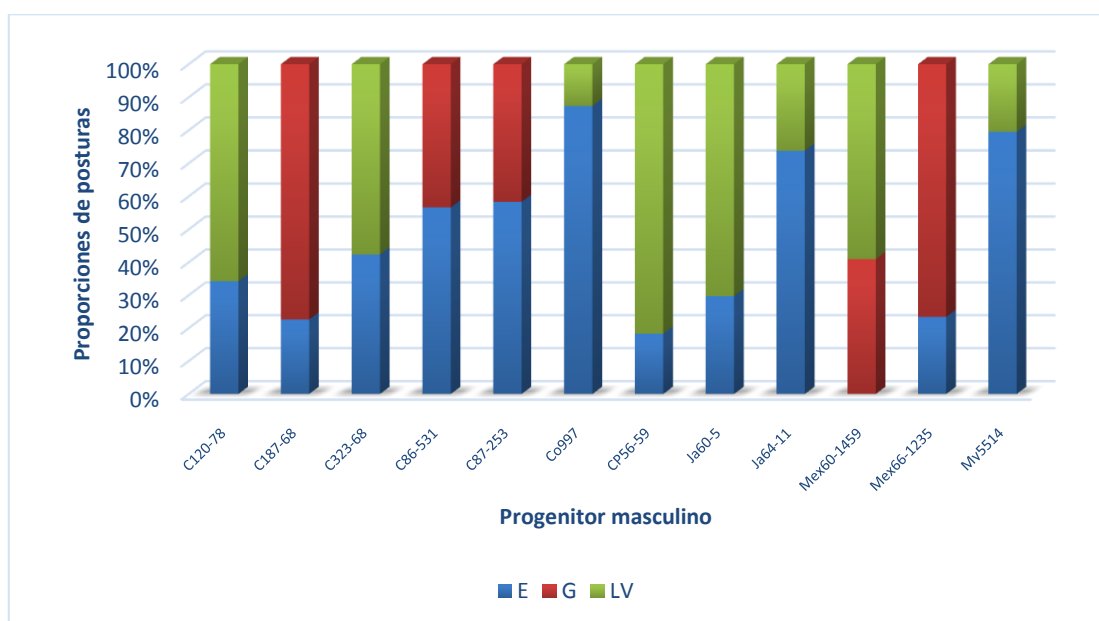


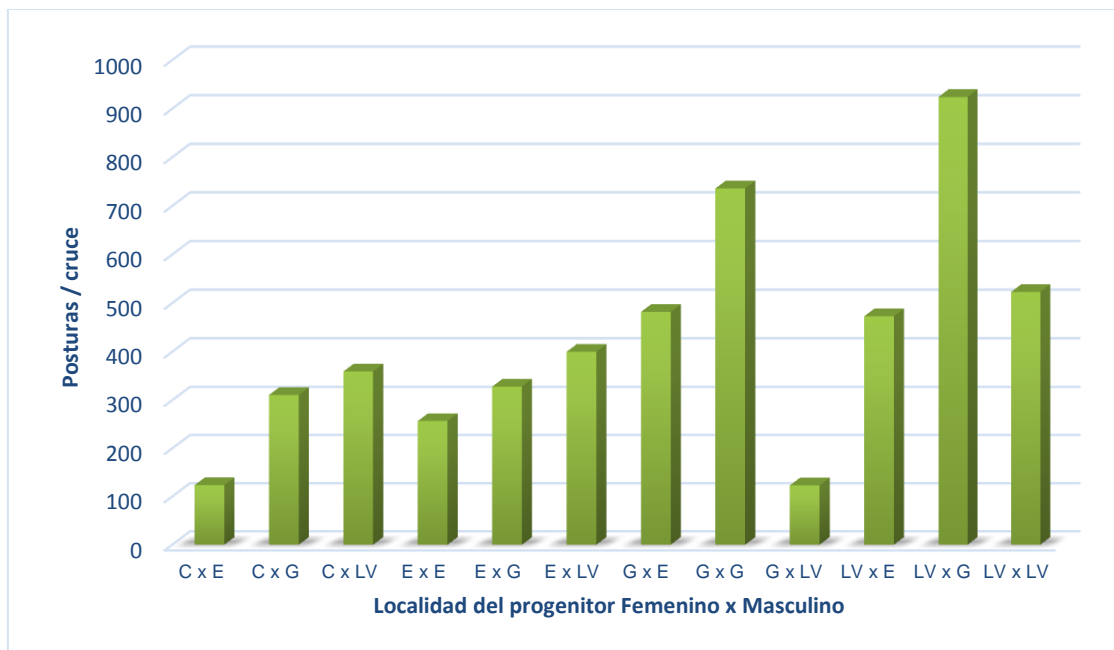
Figura 6. Producción de posturas en progenitores masculinos procedentes de las tres localidades de floración, pero que coinciden en dos de ellos.

La interacción de progenitores y localidades que más se destacaron fueron Co997 en Escambray, CP56-59 en La Vega y C187-68 en Guayos.

Álvarez (2014) no encontró diferencias en la procedencia de las flores masculinas, quizás por el uso progenitores de similar producción de posturas o simplemente porque los progenitores utilizados no fueron los mismos.

3.2.4- Combinación de localidades de procedencia de las flores para el cruce.

Cuando las flores se mueven hacia la casa de cruzamientos (ubicada en Guayos) desde las diferentes localidades de floración existen diferencias marcadas, los mejores valores fueron para los cruces con flores femeninas de La Vega con masculinos de Guayos y Guayos x Guayos (Figura 7).



Leyenda: LV: Las Vegas, C: Cienfuegos, E: Escambray, G: Guayos

Figura 7. Producción de posturas según la combinación de localidades de procedencia de las flores para el cruce.

Destacan valores bajos cuando se utilizan flores masculinas procedentes de Escambray, esto se pudiera deber a que el traslado desde el Escambray hacia Guayos de los tallos florecidos provoca varios estreses de la flor, entre ellos Álvarez (2014) destaca como los más significativos:

1. Cambio hacia una localidad de ambientes diferentes (temperatura más alta y humedad más baja).
2. Tiempo de traslado del campo hacia la localidad del cruce (aproximadamente 4 horas), donde incluye movimiento en una rastra alada por bueyes.
3. Tiempo en el área de espera para el montaje del cruce (17 a 25 horas).

Tal situación es sostenible desde los estudios de Carabaloso y otros (2015) quienes al respecto presentan como resultados, que la temperatura es una variable climática que influye en la producción de posturas, determinando al

mes de diciembre como el de mejor comportamiento anual para la estación experimental de Guayos.

En este experimento el material genético procedente de otras condiciones climáticas, como las del Escambray y a lo que se suma su traslado, hace que muestren inestabilidad en el resultado de la producción de postura y de nuevas variedades.

Al respecto Díaz (2013) propuso hacer los cruces en las localidades con sus flores, pero esto trae problemas con las temperaturas bajas de las zonas de montaña. Por tanto propuso que se valorara la posibilidad de crear condiciones que permitan incrementar las temperaturas en las zonas de montaña, una variante sería el uso de cobertores similares a los utilizados en cultivos protegidos de hortalizas, donde se pueda aumentar la temperatura nocturna, en lo fundamental de los meses de noviembre a diciembre, los principales modelos de instalaciones y manejos climáticos son descritos por Casanova y col. (2007), donde las variantes que producen efecto invernadero pudieran ser las más favorables.

El decrecimiento de la producción de posturas con el aumento de la altitud puede estar asociado al decrecimiento de la temperatura, él que en las zonas montañosas se produce porque la radiación solar incidente y las horas de brillo solar alcanzan el mínimo nacional, en estas condiciones las temperaturas del aire disminuyen notablemente con la altura, a razón de unos 0.6° Celsius cada 100 m, de manera que esta resulta la zona más fría del país (Lecha y col., 1994).

La temperatura es un factor considerado importante en estudios realizados en cruzamientos de caña de azúcar, en lo fundamental en países subtropicales. En el caso de Luisiana las cámaras fotoperiódicas se encuentran con calefacción (además de los invernaderos de tratamientos y de cruces), pudiéndose controlar más eficientemente la fertilidad del polen floral y el desarrollo de la flor (Romero y col., 2000).

3.3- Propuesta de soluciones que contribuirán al incremento de la producción de posturas.

Sobre la base de los resultados que se lograron en los dos primeros acápités y con el resultado de las encuestas realizadas al grupo de experto se determinó que las principales causas que afectan la producción de posturas fueron:

1. Dificultades para mantener un estado óptimo de las flores, debido al desecamiento que se produce, en lo fundamental por baja humedad del ambiente y altas temperaturas, los que unido al uso de sustancia químicas volátiles y agresivas (Sulfuro de hidrógeno), inducen quemaduras en el follaje que impiden completar un desarrollo óptimo del fruto. Coincidieron en ello el 83,3% de los encuestados.
2. Mala calidad de la materia orgánica empleada. Coincidieron en ello el 66.6% de los encuestados.
3. Mala ambientación y falta de barreras en los alrededores de la casa de cruzamiento que provoca daños por el viento. Coincidieron en ello el 50% de los encuestados.
4. Dificultades con la dispersión del polen, motivado por problemas de manejo de los cruces realizados. Coincidieron en ello el 33.3% de los encuestados.

Como resultado de la encuesta realizada al grupo de expertos se proponen las siguientes soluciones:

1. Incrementar los niveles de humedad a través del empleo de un sistema de riego que también baje la temperatura para evitar la pérdida de humedad en la planta. Coincidieron en ello el 100% de los encuestados.
2. Mejorar la calidad de la materia orgánica a utilizar (humus de lombriz o compost, también buenos enraizadores como tripa de palma, aserrín, etc.). Coincidieron en ello el 66.6% de los encuestados.
3. Crear un mejor ambiente en los alrededores de la casa de cruzamientos con la plantación de árboles y otras plantas que simule las condiciones naturales. Coincidieron en ello el 50% de los encuestados.
4. Tomar medidas para la dispersión del polen, como pudiera ser dar toques al progenitor masculino en horas de alta polinización (8 a 10 A.M), para que el polen se esparza sobre el progenitor femenino. Coincidieron en ello el 33.3% de los encuestados.

En trabajos similares realizados por Díaz (2012), encontró que las diferencias en temperatura y humedad, estaban asociadas a:

- Incidencia del sol.
- Las diferencias en el techado.
- La presencia de algunos árboles que rodean las áreas de cruzamientos

- La dirección del viento

La temperatura es un factor considerado importante en estudios realizados en cruzamientos de caña de azúcar, en lo fundamental en países subtropicales. En el caso de Luisiana las cámaras fotoperiódicas se encuentran con calefacción (además de los invernaderos de tratamientos y de cruces), pudiéndose controlar más eficientemente la fertilidad del polen floral y el desarrollo de la flor (Romero y col., 2000).

En trabajo realizado por Blanco (2013) recomendó que como apoyo a los valores de temperatura se pueden utilizar métodos empleados en Jovellanos, bajo condiciones de germinación de la semilla de caña de azúcar, que incluye subir temperatura con el uso de carbón vegetal en las noches y bajar la temperatura con el uso del riego en los horarios del medio día, utilizando riego con microaspersores, teniendo en cuenta la relación inversa entre humedad y temperatura.

Blanco (2013) propuso la siguiente metodología para incrementar la producción de posturas:

- Hacer el movimiento de los tallos florecidos en el menor tiempo posible y bajo condiciones que no sean estresantes para las flores.
- Crear un área de recepción que evite la acción directa de los rayos del sol sobre los tallos florecidos en la espera de ser utilizados como progenitores para montar los cruces.
- En esta área de recepción, crear condiciones de humedad relativa alta, lo cual se puede lograr con riego localizado y ubicando los tallos de forma horizontal dentro de un recipiente con agua.
- En el montaje de los cruces, usar recipientes de 5L en los gorros verdes y los de 8L en los gorros blancos.
- Tratar de mantener todos los días una temperatura máxima, que en el área de montaje de los cruces oscile entre 26,5 y 28,5°C, valor óptimo para la producción de posturas, con mayor énfasis en los progenitores de baja producción de posturas.

- Comenzar a montar los cruces por las áreas C y E, llevando a estas a los progenitores que han presentan una menor producción de posturas.

Díaz (2013) indicó que los valores extremos afectan la producción de posturas, indicando valores entre 26.3 y 28.6° C, como óptimos para esta variable. Estudios realizados bajo condiciones controladas en Australia por Berding (2005) y Berding y col. (2007), reportan que para lograr valores altos de posturas se necesitan temperaturas por debajo de 32° C.

Para lograr incrementos en la producción de posturas se debe tener presente la sensibilidad de la flor al ambiente, pues como se conoce que para alcanzar altas producciones de posturas se necesitan valores altos de humedad, según estudios desarrollados durante nueve años por Mesa y col., 2004 en la localidad Madruga y que existe una relación alta y negativa entre la temperatura y la humedad (Díaz, 2012), hace necesario que ambas variables sean manejadas de forma simultánea. Una posible opción sería que cuando se incrementa la temperatura (debe bajar la humedad) subir la humedad con el uso de riego con microaspersores

Cruz y col. (2007) indicaron la influencia estos factores en el mes diciembre sobre la producción de posturas, en las localidades Mayarí y Guaro. Según estudios realizados en Tucumán, Argentina por Cuenya y col. (2000), para que exista una alta producción de posturas, además de las temperaturas óptimas, se necesita que la humedad relativa del aire se encuentre por encima de 80%, para lo cual se deben crear condiciones de suministros constantes de humedad, en lo fundamental en las horas más calientes del día.

Los meses de noviembre y diciembre se caracterizan por la afectación de frentes fríos, lo que influye en el establecimiento de condiciones invernales, además suelen predominar las condiciones de días fríos, que alterna con períodos frescos. En Sancti Spíritus, las temperaturas medias del mes de noviembre oscilan entre los 23 y 23.5°C y en diciembre entre los 21 y 22.0°C, concentrándose los menores valores hacia la parte norte por la cercanía a las alturas de Bamburanao y los menores valores se concentran hacia la parte sur (fuera de las montañas), que es donde llueve menos y donde hay mayor insolación (Anónimo, 2006).

CONCLUSIONES

1. La fuente de variación que más influencia tuvo sobre la producción de posturas fue la interacción cruce x ambiente, aunque existieron diferencias entre ambientes y cruces.
2. La mayor producción de posturas se logra con el uso de combinaciones biparentales manejadas dentro de bolsos de cruzamientos, pero prevaleció la interacción localidad de procedencia de la flor femenina y masculina.
3. El grupo de experto detectó como causa principal de valores bajos de producción de posturas los niveles de humedad por la falta de empleo de un sistema de riego que también baje la temperatura para evitar la pérdida de humedad en la planta.

RECOMENDACIONES

1. Crear todas las condiciones ambientales para incrementar la producción de posturas que incluya riegos diarios, control de la temperatura, ambientación.
2. Continuar los estudios en otros años con el empleo de equipos e instrumentos que permitan monitorear las condiciones del ambiente.
3. Presentar la propuesta de modificaciones a partir de los resultados de la investigación, a la dirección del centro, con el objetivo de buscar apoyo en la implementación de los cambios a realizar.

BIBLIOGRAFÍAS

1. ÁLVAREZ, A 2014, Incremento de la producción de posturas con el manejo del ambiente en cruzamientos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en el Centro Nacional de Hibridación, Trabajo de Diploma, Universidad Sancti Spíritus. 65 pp
2. ANNICCHIARICO, P. 2002. Genotype x environment interactions. Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO PLANT PRODUCTION AND PROTECTION PAPER. 174. p.2-4.
3. ARRIVILLAGA, J. Floración de la caña de azúcar: floración de la caña de azúcar. *Revista ATAGUA*, enero 1988, nº 5, pp. 8-9.
4. AUCILINO Mónica, F. Laos, M.J. Arturi, A. Suárez Orozco y C. Greco. 2000. Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento forrajero en cebadilla criolla. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* Vol. 15 (3)
5. BERDING, N. *Optimization of day-length decrement and commencement of initiation for synchronization of tropical sugarcane flowering*. 8. Ecuador: 8th ISSCT breeding and germplasm workshop, 1999.
6. BERDING, N. 2005. Poor and variable flowering in tropical sugarcane improvement program: Diagnosis and resolution of major breeding impediment. *Proc. ISSCT CONGRESS*. 25: 493-503.
7. BERDING, N., R.S. Pendrigh and V. Dunne. 2007. Can flowering in sugarcane be optimized by use of differential declinations for the initiation and development phases? *Proc. ISSCT CONGRESS*. 26: 699-711.
8. BERNAL N. L. 2007. Evaluación participativa de Variedades de Caña de Azúcar en condiciones de estrés por sequía. Pruebas de Fuego. Proyecto de Investigación. INICA. MINAZ.19p.
9. BLANCO, A. Propuesta de modificaciones en la Tecnología de Cruzamientos en el Centro Nacional de Hibridación Tesis de ingeniero en procesos agroindustriales. *Trabajo de Diploma*. Universidad Sancti Spíritus: Universidad Sancti Spíritus, 2013.
10. BRETT, P. *Flowering and pollen fertility in relation to sugarcane breeding in Natal* [disco flexible]. Florida, 21 marzo 1950.
11. CARABALLOSO, V.; MORALES, F.; CRUZ, R.; GONZÁLEZY, F. y VALLINA, J. *Programa de Fitomejoramiento, impacto en la producción azucarera cubana*. Ciudad de La Habana: Publinica, 2003. pp. 28-37.

12. CARABALLOSO, V.; RÁBAGO, R.; GONZÁLEZ, F.; BERNAL, N. y TOMEU, A. *Fundamentación de la creación del Centro Nacional de Hibridación de la caña de azúcar en la provincia Sancti Spíritus*. Sancti Spíritus: Cuba & Caña, 2000. pp. 7-14.

13. CARABALLOSO, V.; H. Jorge; H. Garcia; A. González; N. Bernal; A. Céspedes; R. Rodríguez; Y. Puchades y A. Arencibia. 2012. Manejement Flowering Ability to Increase Efficiency in the Sugarcane Breeding Program. Sugar Tech, SSN 0972-1525.

14. CARABALLOSO, V.; RÁBAGO, R. y DOMÍNGUEZ, N. Influencia de la temperatura sobre la producción de posturas en cruces de caña de azúcar en el Centro Nacional de Hibridación. Revista INFOCIENCIA, Vol. 19, No 3 (2015). Recuperado de <http://infociencia.idict.cu/index.php/infociencia/article/view/506/477>

15.

16. CARROBELLO, C. Diversificación: tierras ex cañeras. *Bohemia*, septiembre 2005, nº 19, pp. 28-35.

17. CROSSA, J. 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Adv. Agron.* 44: 55-85.

18. CRUZ, R.; CÉSPEDES, A. y GONZÁLEZ, F. *Comportamiento de la fertilidad del polen y la producción de posturas de caña de azúcar en las localidades de Guaro y Pinares de Mayarí. Proc. 55 Aniversario Estación de Investigaciones de la caña de azúcar de Holguín*. La Habana: Tierras ex cañeras, 2007.

19. CRUZ, R., F. GONZÁLEZ, A. CÉSPEDES & J. RODRÍGUEZ. (2007). Efecto de algunos factores del clima sobre la floración de la caña de azúcar. Proc. 55 Aniversario EPICA Holguín, Libro de resúmenes.

20. CASANOVA, A., O. Gómez, F. Pupo, M. Hernández, M. Chailloux, T. Depestre, J. Hernández y otros 24 autores. 2007. Manual para la producción protegida de hortalizas. INIA, Venezuela, 138 pp.

21. DELGADO, I. 2008. Manejo sostenible de variedades de caña de azúcar en Cuba. Tesis presentada en opción al título académico de master en agricultura sostenible. UCLV 84 pp.

22. Díaz, E. 2012. Manejo de las áreas de cruzamientos del Centro Nacional de Hibridación de la caña de azúcar en función de la temperatura. Tesis

Ingeniería en procesos Agroindustriales. Universidad Sancti Spíritus. 70p.

23. DÍAZ, E. Propuesta de manejo de las áreas de cruzamientos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) del Centro Nacional de Hibridación para incrementar la producción de posturas en función de la temperatura. *Trabajo de Diploma*. Universidad Sancti Spíritus: Universidad Sancti Spíritus, 2012. h. 40.

24. DÍAZ, L. 2013. Estrategia para incrementar la producción de posturas en cruzamientos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). Tesis de ingeniería Agrónoma. Universidad Sancti Spíritus. 55 pp.

25. EBERHART, S.A. and Russell, W.A. 1966 Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6(1): 36-40.

26. EDME, S.J., Miller, J.D., Graz, B., Tai, P.Y.P., Comstock, J.C. 2005. Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. *Crop Sci.*, 45, 92-97.

27. FINLAY, K.W. and Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a Plant-Breeding Programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14(5): 742-754.

28. GONZÁLEZ, E. 2012. Procedimientos para el manejo eficiente de cruzamientos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) que permita perfeccionar el programa de mejoramiento genético del cultivo. Tesis Ingeniería en procesos Agroindustriales. Universidad Sancti Spíritus. 70p.

29. GÓMEZ, S.; FERNÁNDEZ, C.; ROSSI, I. y PRIETO, J. *Tecnologías conservacionistas y sostenibles en el cultivo de la caña de azúcar*. La Habana: Diver, 2008.

30. GARCÍA, P. H. 2004. Optimización del proceso de obtención de variedades de caña de azúcar tolerantes al estrés por sequía y mal drenaje en la región central de Cuba. (Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas). MINAZ - INICA. Cuba. 122 pp.

31. GAUCH, H.G. 2007. MATMODEL Version 3.0: Open source software for AMMI and related analyses. *Crop and Soil Sciences*, Cornell University, Ithaca, NY 14853.

32. GAUCH, H.G., and Zobel, R.W. 1996. AMMI analysis of yield trials. In *Genotype by Environment Interaction*, editors M.S. Kang and H.G. Gauch, CRC Press, Boca Raton, Florida, 222: 85 p.

33. HALLAUER, A. R. y PANDEY, S. *Defining an Achieving Plant-Breeding*

Goals. Iowa State University and CIMMYT: CIMMYT, 2006. pp. 73-89.

34. JORGE, H. y JORGE, Í. *Programa de fitomejoramiento, impacto en la producción azucarera cubana*. La Habana: PUBLINICA, 2003. p. 99.

35. JORGE, H.; BERNAL, N. y JORGE, I. *Principios y conceptos básicos para el manejo de variedades y semilla de caña de azúcar en la agroindustria azucarera cubana*. La Habana: PUBLINICA, 2010. p. 99.

36. JORGE, H.; BERNAL, N.; JORGE, I. y GARCÍA, H. Taller mejoramiento genético "Programa de mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba, situación actual. *En 60 Aniversario EPICA Jovellanos* [CD-ROM]. 07 febrero 2007.

37. JORGE, H.; GARCÍA, H. y JORGE, Í. *Contribución al conocimiento y manejo de las variedades de caña de azúcar*". La Habana: R. M. González, 2001. pp. 23-34.

38. JORGE, H.; JORGE, I.; CASAS, M. A. y GONZÁLE, R. Normas y procedimientos del programa de mejora genética de la Caña de Azúcar en Cuba: boletín no. 1. *Revista Cuba & Caña*, febrero 2011, nº 3.

39. LABORDE, C. Sugarcane tasseling under artificial photoperiod condition as affected by nitrogen rate and temperature. *Trabajo de Diploma*. Ecuador: Thesis Philosophy, 2007.

40. LECHA, L.B.; Paz, L.R.; Lapinel, B. 1994. *El Clima de Cuba*. Ed. Academia, La Habana. 186 pp.

41. MARÍN, E. 2009. Nuevos enfoques para el manejo de las variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la UBPC Paredes. Tesis presentada en opción al título académico de master en agricultura sostenible. 71 p.

42. MESA, J. M. 2004. Algunas Estimaciones de Parámetros Genético-Estadísticos y Simulación de la Eficiencia de la Selección en Poblaciones de Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.). (Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas). MINAZ - INICA. Cuba. pp.

43. Mesa, J. M.; H. Jorge; N. Milanés; Ibis Jorge; V. Carabaloso & H. García. (2004). Optimización de la hibridación de la caña de azúcar en función del clima. Resúmenes Jornada Científica XL Aniversario Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Jovellanos, Cuba. p 27.

44. MEYER, B.S., D.B. Anderson y R.H. Bohring. 1970. Introducción a la

fisiología vegetal. 2 ed. Buenos Aires, Argentina, Editorial Universitaria. 520 pp.

45. MOORE, P. H. 1974a. Investigations on the flowering of *Saccharum*: II. Number of spindle leaves and date of induction. Proc. ISSCT CONGRESS., 15: 7-16.

46. MOORE, P.H. and K. J. Nuss. 1987. Flowering and flower synchronization. In: Heinz, D. J. (ed.) Sugarcane Improvement through breeding, Elsevier, Amsterdam: 273-311.

47. MOORE, P. *Prospects for strengthening the conventional breeding or sugarcane molecular-based approaches*. South Africa: BSES, 1990. p. 28.

48. NACHIT M., Ketata, H.; Gauch, G. y Zobel, R. 1992. Use of AMMI and linear regression models to analyse genotype-environment interaction in durum wheat. Theoretical and Applied Genetics. 83(5):597-601

49. NUSS, K.J. 1978. Synchronization of flowering to implement a proven cross breeding system in sugar cane. Proc. ISSCT CONGRESS 16: 111-119.

50. NUSS, K.J. and N. Berding. 1999. Planned recombination in sugarcane breeding: artificial initiation of flowering in sugarcane in subtropical and tropical conditions: 202-205

51. NUSS, K. *Long-term benefits accrued from photoperiod facilities for the breeding and selection programme at Mt. Edgecombe, South Africa*. Barbados: ISSCT, 2000.

52. PALIATSEAS, E. *Further studies on flowering of sugar cane in Louisiana*. Proc. Int. Soc: Sugar Cane Technol, 1963. pp. 11: 504-515.

53. PÉREZ, G.; CHINEA, A. y BERNAL, N. *Recursos Genéticos de la caña de azúcar*. Recursos Genéticos de la caña de azúcar: IMAGO, 1997. p. 249.

54. PÉREZ, G.; CHINEA, A.; CABRERA, L.; CARVAJAL, O.; ABRANTES, I. y VIDAL, S. *Base genética de la caña de azúcar en cuba y su influencia sobre la obtención de variedades resistentes a enfermedades* [CD-ROM]. S. Spiritus: Memorias 60 Aniversario EPICA Antonio Mesa, 17 mayo 2007.

55. PÉREZ, N. R.; Echevarría, D. L. y García M. A. 2004a. Reestructuración de la Industria azucarera: inicios de un debate. Universidad de la Habana. Disponible en: <http://www.uh.cu/infogral/areasuh/vri/archivos/CAR/seminario2004/PDF/PONENCIAS%20ORALES/Niurka.P%E9rez/Niurka.P%E9rez.pdf> [Consulta: en noviembre del 2009].

56. POLO, P. A. Caracterización de la floración en 306 variedades de caña

de azúcar (*Saccharum spp.*) con fines de mejoramiento para dos localidades de la zona cañera guatemalteca. *Tesis de Maestría*. La Habana: Universidad, 2005.

57. QUINTANILLA, M. 2012. Perfeccionamiento de la tecnología de solución para el manejo de cruzamientos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en el Centro Nacional de Hibridación. Tesis Ingeniería en procesos Agroindustriales. Universidad Sancti Spíritus. 75 pp.

58. RODRÍGUEZ, E. 2012. Perfeccionamiento de las técnicas de manejo de la semilla botánica de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en el Centro Nacional de Hibridación. Tesis Ingeniería en procesos Agroindustriales. Universidad Sancti Spíritus. 65 pp.

59. ROMERO, María I., Carolina Díaz Romero; Ernesto R. Chavenne. 2000. Incremento en cantidad y calidad en la producción de semillas botánica de caña de azúcar de la EEZOC

60. SHUKLA, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability heredity. *Crop Sci.* 29(2): 237-245

61. STEVENSON, G. *Genetic and Breeding of sugarcane*. London: Longmans, 1965.

62. TEW, T. 2003. World sugarcane variety census-Year 2000. *Sugar cane international*, March/April. 12-18

63. WESTCOTT, B. 1987. A method of assessing the yield stability of crop genotypes. *J. Agric. Sci.* 108: 267-274.

64. WRICKE, G. 1962. Ubereine methode zur erfassung der Okologischen streubreite in feldversuchen. *Zeitschrift fur Panzenz uchtung*, 47(1): 92-96.

65. YAN, S. 1995. Regression and AMMI analysis of genotype-environment interaction. An empirical comparison. *Agron. J.* 87:121-126

66. YAN, W., Hunt, L.A.; Sheng, Q. and Szlavnic. Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.

67. YAN, W., Hunt, L.A.; Sheng, Q. and Szlavnic. Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta realizada a los investigadores, técnicos y resto del personal que trabaja en los cruzamientos:

Preguntas:

1. ¿Cuáles son las principales causas que usted considera que afectan la producción de posturas?
2. ¿Cómo usted cree que se pueden resolver?