

UNIVERSIDAD DE SANCTI SPIRITUS

José Martí Pérez

Facultad de Agronomía

Carrera: Ingeniería Agrónoma

Filial Universitaria Municipal Cabaiguán



Trabajo de Diploma

Título: Propuesta de esquema para aumentar la sincronización de la floración entre progenitores de caña de azúcar (*Saccharum spp.*)

Autor: Orestes Blas Quintana Portal.

Tutor: Ing. Víctor Manuel Carballoso Torrecilla, Dr.

Curso 2013 – 2014

Resumen

Bajo las condiciones de Cuba se hace difícil la floración al no disponer de instalaciones para inducirla de forma artificial. La presente tesis tiene como objetivo proponer un esquema para la sincronización de la floración, bajo condiciones naturales de los progenitores de escasa manifestación del carácter. Para realizar esto se emplearon varios sitios ubicados a diferentes altitudes en áreas de las montañas del macizo de Guamuhaia, además se manejaron varias cepas, algunas de estas áreas son utilizadas por el Centro Nacional de Hibridación y otras fueron plantadas para cumplimentar los propósitos del presente trabajo, en estos puntos fueron plantados los mismos diez progenitores a los que se les determinó los días de salida de la flor. Con la información obtenida se ratificó la relación de los días de salida de la flor con la altitud, para los progenitores empleados y las diferencias que provoca la cepa, la que es más temprana en los retoños, todos estos resultados se utilizaron para conformar un esquema de máxima sincronización de los progenitores utilizados. La ecuación de regresión que caracteriza la relación fecha de floración-altitud, logró un buen ajuste, donde se puede asumir la necesidad de emplear, por encima de todo las altitudes entre 600 y 700m. El trabajo propone donde se pueden ubicar estas altitudes, que se encuentran en las alturas de Trinidad, todo ello permite incrementar la explotación de la variabilidad genética y las probabilidades de obtener nuevas variedades de uso comercial con una base más amplia genéticamente.

Abstrat

Under Cuba's conditions, it is very difficult to achieve the flowering because there are not the places for inducing it artificially. This research has as its objective to propose a scheme for the flowering's synchronization, under natural conditions of the descents of character scarce manifestation. In order to carry out this investigation, were used various places located in different altitudes in areas of Guamuha's mountains, beside were handled various stumps. Some of those areas are used by the Hybridation Nacional Center and other were planted in order to complementing the objective of this research. In those places were planted the same ten descents, in which were determined the days of flower's beginning days, and the altitude for the descents used, but also the differences caused by the sprouts. Those results were used to form a scheme of maximum synchronization of the descents used. The regression's equation that characterizes the relation: flowering's date - altitude, it attained a good adjustment, was assumed the need to use. The altitudes between 600 and 700 m. The research proposes where can locate it the altitudes located in Trinidad's Height. All that enable to increase the genetic variability exploitation and the probabilities to get new varieties of commercial use with an ample base, genetically.

Tabla de Contenido.

Introducción.....	1
Capítulo I. Fundamentación teórica.....	5
1.1. Base genética de la caña de azúcar	5
1.2. Floración de la caña de azúcar.	6
1.3. Sincronización de la floración.....	7
1.4. Interacción genotipo ambiente de la floración	8
1.5. Análisis histórico de la sincronización de la floración en Sancti Spíritus.	9
1.6. Sistemas de Información Geográfica	10
Capítulo II. Materiales y métodos	12
2.1. Principales fuentes de la interacción genotipo por ambiente.....	13
2.2. Influencia de la cepa y la altitud.	14
2.3. Propuesta de soluciones para el incremento de la sincronización de la floración...	14
Capítulo III. Resultados y discusión	18
3.1. Principales fuentes de la interacción genotipo por ambiente.....	18
3.2. Influencia de la cepa y la altitud.	19
3.3. Propuesta de soluciones para el incremento de la sincronización de la floración...	24
Conclusiones.....	27
Recomendaciones.....	28
Referencias bibliográficas	29

Introducción

En los momentos actuales; la industria azucarera cubana mantiene un peso importante en la economía, a pesar de la oscilación de los precios del azúcar en los mercados internacionales a causa de la crisis económica global que enfrenta el mundo. Ésta y otras razones han propiciado un profundo proceso de reestructuración dentro del Ministerio del Azúcar, que se inició desde el año 2002, cuyo objetivo central es la eficiencia económica, sobre la base de: elevación de los rendimientos de campo (igual o superior a 50,5 t caña.ha⁻¹) en el 2010, mejorar la calidad de la materia prima mediante una correcta política varietal y organización de la cosecha, así como la disminución de los costos para alcanzar una mayor rentabilidad ([Santana y col., 2007](#)).

Las metas propuestas, están sustentadas en la obtención de nuevos cultivares más eficientes y productivos a través de programas de mejoramiento genético, basados en las mejores experiencias del mundo cañero, sobre el precepto de que éstos pueden ser responsables de al menos un 50% de los incrementos de producción agrícola y de azúcar ([Bernal y col., 1997](#)). Para ello, se necesita hacer uso de una más amplia variabilidad genética, que en el banco de germoplasma de Cuba es suficiente, pero con un nivel de explotación muy bajo, principalmente de las formas originales y géneros afines (Pérez, 2009), para lo cual la ocurrencia y sincronización de la floración, resulta indispensable.

En la actualidad mucho se ha avanzado en el manejo de la floración, basado en la obtención de fotoperiodos artificiales (Nuss y Berding, 1999; Berding, 2005; Berding y col., 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, debido al uso excesivo de progenitores que florecen bajo las condiciones de explotación comercial del cultivo, por lo que la búsqueda de localidades que favorezcan la inducción de la floración, ha estado en el centro del programa de mejora cubano, como una alternativa viable

En Cuba, desde el período pre-revolucionario se empezaron a buscar alternativas en las zonas montañosas del oriente del país (Arceneaux, 1954). La creación del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar en 1964, con el objetivo principal de dotar a la producción cañera de los mejores cultivares, facilitó la continuidad de la búsqueda de soluciones para la ampliación de la base genética. No obstante los resultados hasta hoy alcanzados, el problema persiste en los cultivares liberados en los últimos años (Arencibia y col., 2006), por lo que continúa el desarrollo de investigaciones para aprovechar al máximo las condiciones naturales, mediante la definición de una red de localidades, donde pueda ser utilizado un alto porcentaje del germoplasma disponible.

Disponer entonces de varias localidades para el aprovechamiento de la inducción natural de la floración, requiere del conocimiento del fenómeno de la interacción genotipo x ambiente, ampliamente estudiado para el rendimiento y sus componentes (Marcano y col., 2003; García, 2004; Chavanne y col., 2007; Bastidas y col., 2009, Rodríguez, 2012) pero de muy pocos estudios para el carácter de la floración.

Al mismo tiempo adquiere gran relevancia el estudio del comportamiento de la floración en dicha red de los progenitores de mayor importancia, ya sea considerando las habilidades combinatorias general y específica, el conocido aporte a la selección en Cuba y otros países o teniendo en cuenta su diversidad genética.

En otros estudios realizados recientemente en el centro, se ha logrado incrementar los porcentaje de sincronización de la floración de un 5 a un 32% con el uso combinado de tres localidades (Guayos, Buenos Aires y Mayarí), pero estos resultados se ven limitados a los progenitores de alta floración, motivado a que son los que florecen en todas las condiciones, pero el problema se complica con los progenitores de floración media a baja, la que solo se logra en las zonas de montaña. En Buenos Aires la floración de estos progenitores es temprana y rápida y en Mayarí es demasiado tardía (Carabaloso, 2012).

En trabajo desarrollado por Carabaloso y col. (2003) pudieron constatar la alta influencia de la altitud en la fecha de salida de la flor y también encontró diferencias

en la fecha de plantación. En estudios más profundos de la altitud Carballoso (2012) y López (2012) lograron un acercamiento más preciso de esta influencia al estudiar durante veinte años tres altitudes (100, 400 y 800), lo que permitió obtener una ecuación de regresión que permitía hacer estimaciones e incluso se pudo mapificar con el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Pero la ampliación de los objetivos de mejora, por la aparición de nuevas plagas, la necesidad de adaptar el cultivo a condiciones adversas y la adopción de la diversificación, ha hecho más complejo el mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba ([Pérez y col., 2007](#)), lo que requiere necesariamente de una definición cada vez más precisa de las acciones a realizar, para ello se debe tener en cuenta una proyección que considere un incremento de la sincronización de la floración, la que se ve limitada en los progenitores de floración escasa.

Problema científico: ¿Cómo incrementar la sincronización de la floración de los progenitores de caña azúcar?

Hipótesis: Si se estudian otros ambientes ubicados en las mejores condiciones de altitud para la floración que influya en la fecha de salida de la flor, existe la posibilidad de incrementar la sincronización de la de la floración, elemento necesario para incrementar la explotación de la variabilidad genética en función del mejoramiento del cultivo.

Objetivo general: Determinar la mejor solución para incrementar la sincronización de la floración de progenitores, que contribuyan al incremento de la explotación de la variabilidad genética de la caña de azúcar.

Objetivos específicos:

1. Definir las principales fuentes de interacción genotipo por ambiente para la salida de la flor de progenitores de escasa manifestación del carácter.
2. Determinar cómo inciden la altitud y el tipo de cepa sobre la fecha de salida de la flor.

3. Proponer las mejores soluciones que integren el manejo combinado de las localidades estudiadas y otras que se incrementen, según los estudios realizados.

Capítulo I. Fundamentación teórica

1.1. Base genética de la caña de azúcar

El Banco de Germoplasma cubano está compuesto por formas originales del género *Saccharum* y otros afines, híbridos comerciales, incluidos aquellos procedentes de los primeros híbridos obtenidos en Java y la India, de los cuales han surgido los principales cultivares comerciales que se han cultivado y/o se cultivan en la actualidad a nivel mundial, y un número considerable de híbridos cubanos y extranjeros en diferentes estadíos de avance generacional. Su nivel de explotación es muy bajo, principalmente las formas originales y géneros afines, lo que imposibilita la ampliación de la base genética (Pérez, 2009).

La caña de azúcar tiene el genoma más complejo dentro de las plantas cultivadas, resultado de una limitada serie de cruces y retrocruces dentro de las diferentes especies de *Saccharum* (Grivet y Arruda, 2001; Manners y col., 2004). Es conocido que el uso y explotación que se ha llevado a cabo por parte de los mejoradores ha sido muy limitado, lo que ha traído como consecuencia un alto índice de parentesco entre los cultivares comerciales actuales; éstos tienen una base genética estrecha, lo cual ha sido reportado mediante estudios a nivel de ADN por Nair y col. (2002); Rodríguez y col. (2005); Srivastava y col. (2006b) y Arencibia y col. (2006), el que se refiere a los cultivares de reciente obtención en Cuba.

Para atenuar estos problemas, en el mundo se trabaja en diferentes frentes, primeramente con la caracterización del germoplasma, a través de marcadores moleculares, se destacan los trabajos publicados por: Coto y col. (2002); Tai y Miller (2002); Nair y col. (2002); Schenck y col. (2004); Arro (2005); Selvi y col. (2005); Rodríguez y col. (2005); Aitken y col. (2006); Arro y col. (2006); Cedeño y col. (2006); Delvadía y Patel (2006); Srivastava y col. (2006b); Arencibia y col. (2006). También se ha sugerido la creación de colecciones núcleo; Balakrishnan y col., 2000; Coto, 2001)

y el uso de la diversidad presente en los géneros *Saccharum*, *Miscanthus* y *Erianthus* que no han sido explotados con anterioridad (Rao y Martin, 2000; Tew, 2002; Tai y Miller, 2002; Schenck y col., 2004; Selvi y col., 2005; Miller y col., 2005; Alwala y col., 2006).

Como resultado del enfoque planteado anteriormente, Barbados ya ha reportado los primeros resultados en la obtención de cultivares con base genética amplia (BB) con el uso de *Saccharum officinarum* L., *Saccharum spontaneum* L., *Saccharum robustum* Brandes & Jesw, *Erianthus arundinaceus*, de los cuales se han logrado clones con variabilidad amplia (Rao y Martin, 2000).

También en Estados Unidos se reportan trabajos de ampliación de la base genética realizados por Tew (2002) en Louisiana (L) con la obtención de dos clones de interés comercial derivados de *Saccharum spontaneum* en la retrocruza cuatro (Back Crossing, BC₄); mientras que en Canal Point (CP), Miller y col. (2005) emplearon cruzamientos entre cultivares y representantes de los géneros *Saccharum*, *Miscanthus* y *Erianthus* y encontraron que cuando se emplea *S. robustum*, con la primera retrocruza (BC₁) se pueden hacer selecciones comerciales, pero para el resto de las combinaciones se necesitan al menos cuatro generaciones.

Trabajos más complejos se realizan con el empleo del “mapeo” de poblaciones derivadas de cruces entre cultivares de caña de azúcar, lo cual permitió un gran avance como complemento en el uso y manipulación de los genes (Hoarau y col., 2001, 2002; García y col., 2006).

La transgénesis es otra vía que se ha explotado y que ha logrado resultados importantes en otros cultivos, y en el caso de la caña de azúcar ya se muestran avances a nivel mundial en Australia, Brasil, Colombia, Estados Unidos, Mauricio y Sudáfrica, con las transformaciones más importantes en resistencia a herbicidas y plagas (Dookun y col., 2007; Maldonado y col., 2008). Sin embargo en espera que se logren resultados espectaculares con la manipulación de los genes, la vía fundamental para obtener cultivares mejorados de caña de azúcar es a través de métodos “convencionales” de hibridación y selección, para lo cual se necesita de la floración.

1.2. Floración de la caña de azúcar.

La floración en la caña de azúcar es producto de una cadena de procesos fisiológicos complejos, que se suceden dentro de un período de más de 120 días después de la plantación. El mismo incluye la maduración fisiológica, la inducción y organización floral, la posterior emergencia de la panícula, y luego el paso a la etapa de formación de la semilla y su maduración:(Polo, 2005).

La inflorescencia está formada por un eje principal o raquis, cilíndrico en su parte inferior y estriado en la superficie de la superior. Las espiguillas o flores hermafroditas están dispuestas en pares, una sésil y la otra pedunculada, cuyo perianto está reducido a una gluma externa y otra interna, seguida de una lemma estéril o tercera gluma, así como una cuarta lemma, que es fértil en el caso de *Saccharum spontaneum* (Polo, 2005).

1.3. Sincronización de la floración

Poder sincronizar la floración es crucial para el mejoramiento, pero ésta encuentra un grupo de obstáculos, debido a la existencia de diferencias en las fechas de floración entre clones o cultivares, motivado porque la caña de azúcar, por sí misma puede ser tanto una especie pura o un híbrido de dos o más especies. Por ejemplo los clones de *S. spontaneum* tienden a florecer más rápido que los clones de *S. robustum*, los cuales tienen un cambio más rápido que la *S. officinarum*, y los cultivares comerciales son intermedios (Coleman, 1969).

Los clones de *S. spontaneum* se han desarrollado en latitudes de 0-40° y se ha observado que cuando crecen en latitudes diferentes a las de su origen, la fecha de floración se altera o falta. Panje y Srinivasan (1960) comprobaron que los clones de *S. spontaneum*, al ser trasladados al sur de su latitud de origen, florecieron más temprano que los que se trasladaron al norte de su latitud de procedencia.

El proceso de floración de la caña de azúcar es complejo e incluye un número desconocido de pasos fisiológicos que ocurren en intervalos de varias semanas (Moore, 1987). Para eso el genetista debe comprender los factores ambientales que controlan el proceso de floración de las plantas y cuáles de ellos son más

importantes en su localidad, así como el costo de las modificaciones de esos factores de control para asegurar la sincronización (Moore y Nuss, 1987).

Para casos que existan grandes diferencias en las fechas de floración se recomienda disponer de una base de datos con las características de la floración del germoplasma (James, 1980) y emplear alguno de los tres métodos recomendados por Rodríguez y col.(2006): siembra escalonada, detenimiento o aceleración de la floración y conservación del polen.

Cuando se dispone de suficientes facilidades fotoperiódicas y calóricas es más fácil hacer coincidir la floración entre las variedades, que si sólo se depende de las condiciones naturales; en ambos casos se han logrado resultados, los cuales se discuten a continuación.

1.4. Interacción genotipo ambiente de la floración

El cultivo de la caña de azúcar, presenta en la mayoría de los caracteres cuantitativos de importancia, una elevada interacción genotipo ambiente (I. GxA) (Yan y Hunt, 2002; Queme y col., 2005b; Delvadia y Patel, 2006; Jackson y col., 2006; Queme y col., 2007), que se expresa en el manejo de los cultivares.

La interacción genotipo ambiente en la floración, en la mayoría de los casos está relacionada a diferencias climáticas, muchas de ellas asociadas con la altitud. Los primeros en hacer uso de la altitud para el manejo de la floración fueron los holandeses, en Pasuruan, Java, según han referido Ellis y col. (1967), donde se trabajaron al menos cuatro puntos: Blambangan (360 m); Garun (270 m); Lebrakoto (360 m) y Waterbeloeng (630 m). En el Caribe, los primeros reportes pertenecen a Arceneaux (1954), que utilizó Guamuta (150 m) como localidad principal y a Cayo Verde y Pinares (700 m) como regiones suplementarias, en trabajos de compañías norteamericanas establecidas en Cuba en aquel entonces.

En Puerto Rico, González (1960) reporta floración más temprana por encima de 150 m que en altitudes por debajo, con diferencias que pueden llegar a ser de 1-2 semanas. Para Mauricio, Stevenson (1965) indicó mejor floración en las montañas de Reduit, que en los llanos de Pamplémousses, aunque en estudios más recientes de Nayamuth y col. (2003) encontraron la localidad Deux Bras 4099 ubicada en alturas

intermedias del sur de la isla, como la de mejor floración, dentro de 21 sitios con altitudes entre 20 y 480 metros sobre el nivel del mar.

En Barbados se halla una mejor floración por encima de 200 m que en las zonas costeras, por lo cual se utiliza Groves, ubicada a 240m de altitud, como centro de cruzamientos (Stevenson, 1965). Allí se produce semilla, no solo para Barbados, sino para otros países como Belice, Jamaica, República Dominicana, Trinidad y Tobago, Guyana y Pakistán (Rossi, 2001).

En China, Yeu (1980) trabaja con dos localidades durante diez años y encuentra mejor floración en Chungshen ubicada a 335m de altitud que en Suinan.

En Australia, Pollock (1981) estudia seis localidades y descubre mejor y más temprana floración en Walkamin, ubicada a 580 m, por lo que recomienda explotar la interacción progenitor por localidad para un mejor aprovechamiento de la diversidad genética.

En México, Aguilar y Devernardi (2004) emplean el cultivar "CP72-2086" para estudiar la floración en altitudes de 200 a 1400 m de la zona cañera de Veracruz, llegaron a la conclusión que valores altos y tempranos de la floración se producen de 292 a 477 m.

En Guatemala, Polo (2005) estudió 306 variedades en dos localidades ubicadas a 280 y 760m de altitud, donde se encuentra mayor cantidad de variedades florecidas en Los Tarros (zona alta), pero mayor intensidad y número de variedades con floración temprana en Camantulul (zona media).

Para el caso de Cuba, la mayor cantidad de estudios se han realizados en las montañas de la zona norte del oriente de la isla, donde según González (1999) se plantaron varias colecciones en las Sierras de Nipe y Cristal en la década del 1950: Guamuta en 1952 (150 m), Pinares de Mayarí en 1954 (731 m), Cayo Verde en 1955 (540 m), Bull Swith en 1956 (250 m) y Cayo Cristo en 1957 (609 m), respectivamente. De los resultados obtenidos se decide trabajar de conjunto las localidades de Pinares de Mayarí y Guamuta, pero por la baja fertilidad del polen, producto de la altura, se complementaron con las zonas de Guaro, Mella, Paquito Rosales, Banes y Frank País (localidades más bajas y con mayor viabilidad del

polen). Algunas de estas localidades han sido comparadas en trabajos de Cruz y col. (2007), quienes reportan a Pinares de Mayarí como la de mayor floración.

A partir de 1987 se estudian otras zonas montañosas de Cuba, donde se vuelve a destacar Pinares de Mayarí en la Sierra de Nipe, la Sierra del Rosario dentro de la Sierra de los órganos y otras del macizo de Guamuhaya; Carballoso y col., 2000; González, 2005).

Las diferencias de floración con el uso de la altitud se le atribuyen principalmente a las temperaturas más frescas y la mayor humedad, las que en muchos casos afectan la fertilidad del polen; esto limita su uso para algunas o todas las variedades masculinas en otras zonas más bajas.

1.5. Análisis histórico de la sincronización de la floración en Sancti Spíritus.

Los trabajos de hibridación se inician en Sancti Spíritus en 1985, en la localidad de Buenos Aires, en las alturas de Sancti Spíritus pertenecientes al macizo de Guamuhaya, a partir de 1990 se incorpora Guayos como complemento para el empleo de variedades de fácil floración, en todos los casos los cruzamientos se realizaban de acuerdo al nivel de fertilidad del grano del polen y del posible interés que tenía el cruce, en aquel momento solo se manejaban los documentos "Registro de Floración", pasado algunos años se comenzaron a acumular experiencias en el uso del progenitor, en el año 1992 se incorpora la información del banco de germoplasma que permitió mejorar la calidad de los cruces pero crecía la complejidad del proceso.

En 1994 se inicia el trabajo con programas de cruzamientos, con el empleo de los datos de floración, resistencia y otras características de rendimiento agroindustrial de la variedad, pero estos primeros programas de mejora tenían bajo cumplimiento debido a la sincronización de la floración, principalmente por la poca cantidad de área por variedad. Estos programas se perfeccionaron y las variedades fueron plantadas teniendo en cuenta: la importancia en el programa, el sexo y la floración del mismo. Por tanto el área por progenitor cambió, el más importante ocupó el mayor espacio, los masculinos más que los femeninos y se redujo el número de

variedades plantadas en la montaña a aquellos que no florecían en la localidad de Guayos.

En 1998 se decide que en Sancti Spíritus se cree el Centro Nacional de Hibridación y se le incorpora la localidad de Mayarí, en las alturas de Trinidad, también del macizo de Guamuhaya; esto hace que aumente en importancia y responsabilidad el trabajo de hibridación y aumente el número de variedades, al incorporarse los utilizados por la región oriental y hacerse más complejo su uso y combinación.

A partir de 1999 se comienzan a explotar las tres localidades (Guayos, Buenos Aires y Mayarí), pero solo se realizaba un grupo reducido de cruces que combinaba a Guayos con Mayarí.

A partir de 2005 solo queda Sancti Spíritus como centro de cruzamientos y se inician algunas combinaciones de las tres localidades, pero con poca estabilidad, hasta que según resultados de Carabaloso (2012) y López (2012), siguieren la necesidad de emplear de forma combinada las tres localidades y la posibilidad de incorporar otras dos.

En la campaña 2012/2013 se logró incrementar a 35% la sincronización, que solo había llegado a 25% en el mejor año.

1.6. Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés [Geographic Information System]) permiten resolver problemas complejos de planificación y gestión, auxiliado por los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y facilita la permanente actualización catastral (Benítez y col., 2008).

El objetivo principal de un SIG es obtener resultados confiables para la toma de decisiones, a través del análisis e interpretación de gran cantidad de datos biofísicos, socioeconómicos y estadísticos, en forma espacial y temporal, necesarios para generar de una forma flexible, versátil e integrada productos de información tales como tablas y mapas (Fernández y Sumano, 1992).

Dentro de los estudios agroclimáticos y agroecológicos se tienen diferentes tipos de análisis como la interpolación espacial (Bogaert, 1995). El método de interpolación espacial más usado en este tipo de estudios, es el de Kriging (Universal 1), debido a que asocia al término de Mejor Predictor Lineal Insesgado (MPLI) y es el más adecuado, en el sentido de que minimiza la varianza del error en la predicción. Además, el método se apoya en la geoestadística para modelar datos espaciotemporales, con la finalidad de estimar la dependencia geográfica que existe entre los valores a interpolar (valor Z; Nozica y col., 1997). Este método permite conocer el valor en un punto dado, donde no se tiene información, lo cual se logra por la autocorrelación espacial de la variable a interpolar. El análisis de la autocorrelación en este método se basa en el "variograma" como instrumento de representación esquemática de la variabilidad espacial (Bosque, 2000).

La tecnología de los SIG en la agricultura cañera se han empleado en varios países desde hace algunas décadas, tal es el caso de Australia (McKenzie, 1990), Sudáfrica (Platford, 1990), Colombia (Guzmán, 1995), Brasil (Rocha, 1995), Costa Rica (Agüero y Corella, 2003), Tailandia (Saravanan y col., 2005), así como en Cuba: Segrera y col., 2003; China y col., 2007; Becerra y col., 2008), quienes reportan la manipulación de información agrícola de Complejos Agroindustriales por medio de un SIG.

A partir de las ventajas que presentan los SIG, se ha incrementado su uso en la zonificación de los cultivos. La Zonificación Agroecológica (ZAE) se refiere a la división de la superficie de la tierra en unidades más pequeñas, que tienen características similares relacionadas con su aptitud, con la producción potencial y con el impacto ambiental (FAO, 1997). Algunos autores han empleado la ZAE en el cultivo de la caña de azúcar, se destacan los trabajos realizados en Sudáfrica (Bezuidenhout y col., 2007); Colombia (Carbonell y col., 2001; Carbonell y col., 2009) y México (Parra, 1989; Díaz y col., 2000; Jiménez y col., 2004).

Para la floración de la caña de azúcar se ha trabajado en Cuba por Carabaloso (2012), López (2012),

Capítulo II. Materiales y métodos

Los estudios que aquí se presentan son una continuidad de otros desarrollados con anterioridad por Carballoso (2012) y López (2012) los que se ejecutaron en áreas experimentales del Centro Nacional de Hibridación de la Caña de Azúcar de Cuba, ubicado en las provincias Sancti Spíritus y Cienfuegos, región central del país (Figura 1).

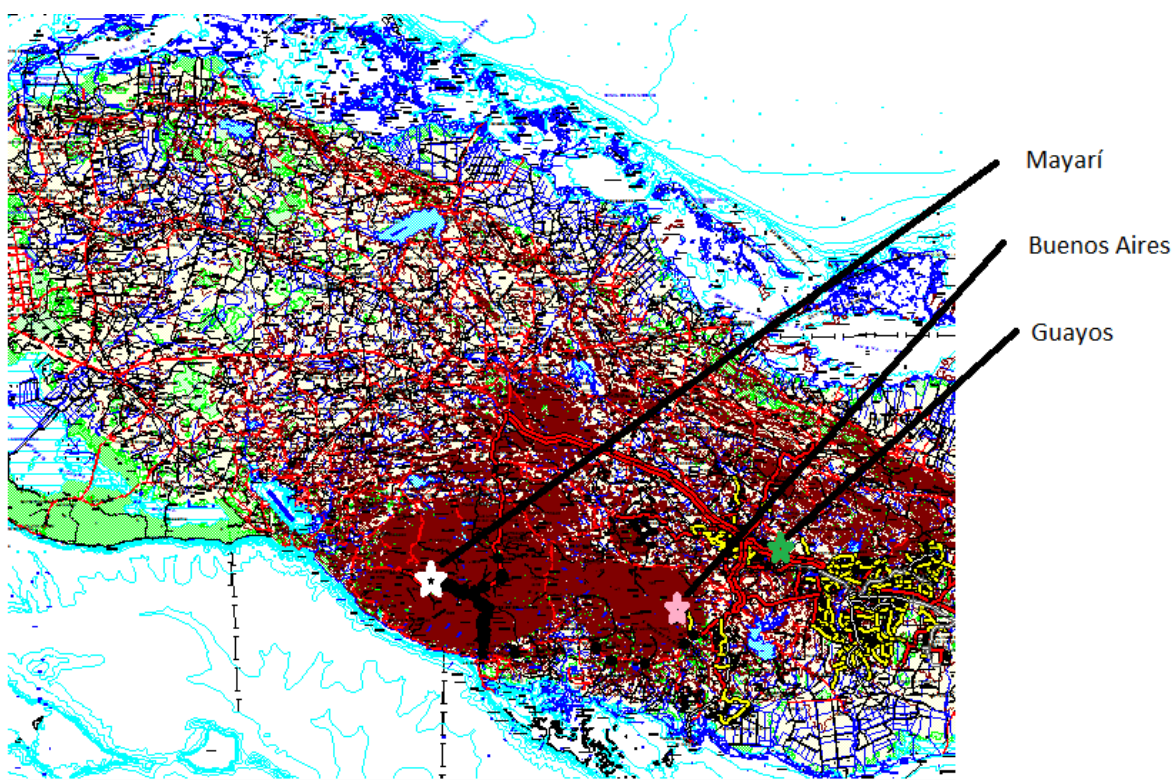


Figura 1. Áreas de floración estudiadas por Carballoso (2012) y López (2012).

Para conocer las diferencias en la floración, la variable empleada fue la fecha de salida de la flor, la que se contó a partir de la salida de forma visible de la primera flor del progenitor (Jorge y col, 2011). Para su análisis, este día de salida de la flor fue transformado en días a floración, a partir de considerar, de forma arbitraria el 1 de noviembre como el día 1.

2.1. Principales fuentes de la interacción genotipo por ambiente.

Para este estudio se emplearon cuatro áreas (Tabla 1), ubicados en dos zonas de montaña (Buenos Aires y Mayarí), donde se plantaron igual cantidad de experimentos.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las áreas donde se plantaron los experimentos.

Nombre del área	Ubicación geográfica		
	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud
Lote 1 BA	21.901°	79.573°	350
Lote 4 BA	21.899°	79.573°	350
Lote 5 BA	21.898	79.567°	250
Lote 2 My	21.969	80.136	800

BA; My: Buenos Aires, alturas de Sancti Spiritus; Mayarí, alturas de Trinidad

En estas áreas se plantaron los mismos 10 progenitores (Tabla 2) todos de floración intermedia a baja.

Tabla 2. Progenitores utilizados en el estudio.

B51410	C86-12
C120-78	C86-456
C1616-70	C90-317
C266-70	Ja64-11
C323-68	Ja64-20

Fuente: Elaboración propia

La variable dependiente empleada para la evaluación fue la fecha de floración, la que fue transformada a días de la floración, partiendo, de forma arbitraria, el 1 de noviembre como el día 1.

Con el registro de los días a floración se realizó un análisis de varianza factorial, cuyas fuentes de variación fueron los progenitores, las localidades y su interacción.

2.2. Influencia de la cepa y la altitud.

Para conocer las causas de las diferencias de las áreas, de forma simultánea a los experimentos anteriores y empleando los mismos 10 progenitores se plantaron cuatro experimentos a diferentes altitudes (250, 350, 400 y 800m snm) y dentro de la altitud de 350 se estudiaron tres cepas (planta, primer y segundo retoño).

En todos los experimentos, incluyendo el caso anterior, el diseño utilizado fue el de bloques al azar con tres repeticiones, el área de cada parcela era de 48 m² (recomendado por Jorge y col., 2011). La comparación de las diferencias estadística se realizaron a través de un análisis de varianza factorial y la prueba de Tukey para detectar las diferencias entre las medias, en ambos casos se consideró diferencias significativas cuando $p \leq 0.05$ y el programa estadístico empleado fue el STATISTICA 8 (StatSoft, 2007).

Para el caso específico de encontrarse diferencias entre altitudes, se procedió a realizar un análisis de regresión y utilizar su ecuación para estimar otras altitudes que pudieran ser necesarias plantar para lograr incrementos en la amplitud de la floración de los diferentes progenitores.

2.3. Propuesta de soluciones para el incremento de la sincronización de la floración.

Se parte de la sincronización que existió en el año 2012-2013, la se logró en el momento de esta tesis (2013-2014) y la estimada para el siguiente año donde se incorpora una nueva localidad a 450m de altitud. Para obtener las sincronización de la floración se empleó el programa Hihrid v3.0.

Teniendo en cuenta que las distancia de Guayos (centro de los cruzamientos) a las localidades donde se producen las flores son:

1. Guayos: Buenos Aires: 35 Km.
2. Guayos: Mayarí, existen tres vías de acceso

- Guayos -Sancti Spíritus-Trinidad-Topes de Collantes-Mayarí: 120 Km.
- Guayos-Autopista-Manicaragua-Mayarí: 130 Km.
- Guayos-Sancti Spíritus-Trinidad-Circuito Sur-La Sierrita-Mayarí: 160 Km.

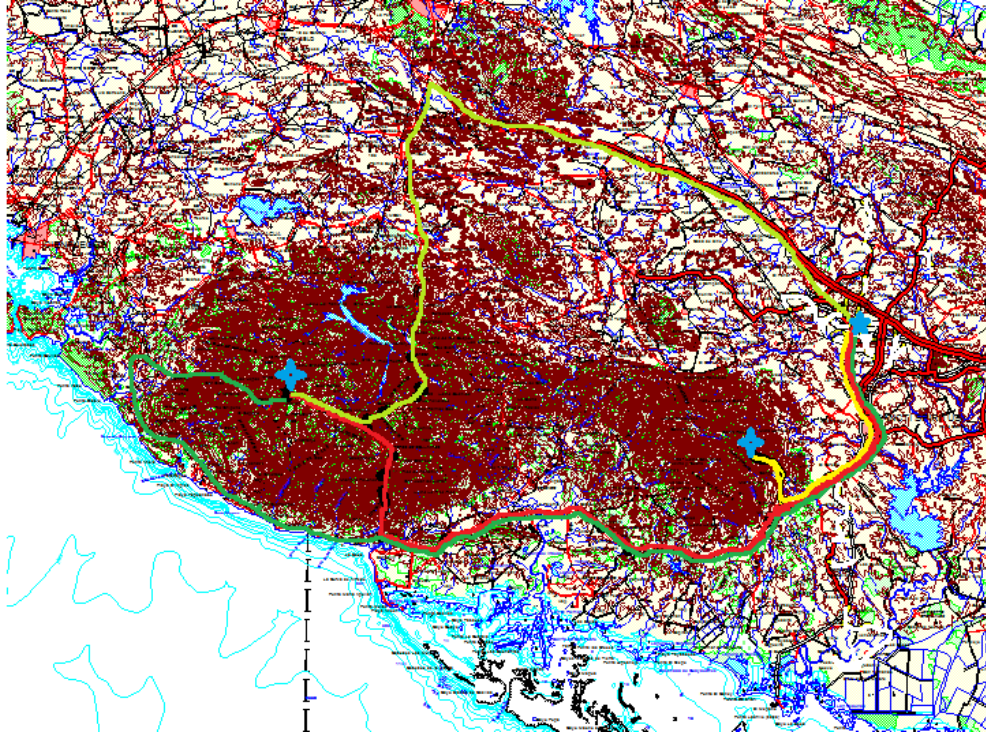


Figura 2. Accesos a las áreas de floración.

También se tuvo en cuenta que el uso estas áreas son imprescindible, es por ello que se realizó una prospección por todas estas vías de acceso con la posibilidad de ubicar nuevas áreas de ser necesario una complementación para incrementar la duración y por tanto la sincronización de las flores.

Sobre la base de los resultados logrados en los acápite anteriores y con el antecedente de que quedan otras altitudes que existen en la región central por explotar, se procedió a recorrer los accesos a las montañas por los cuatro puntos indicados en los accesos a las localidades antes señaladas. También se tuvo en cuenta otra posibilidad en el acceso a las montañas a través de Fomento, es decir:

Guayos- Cabaiguán-Fomento-El Pedrero-Gavilanes, para completar cinco variantes (Figura 3).

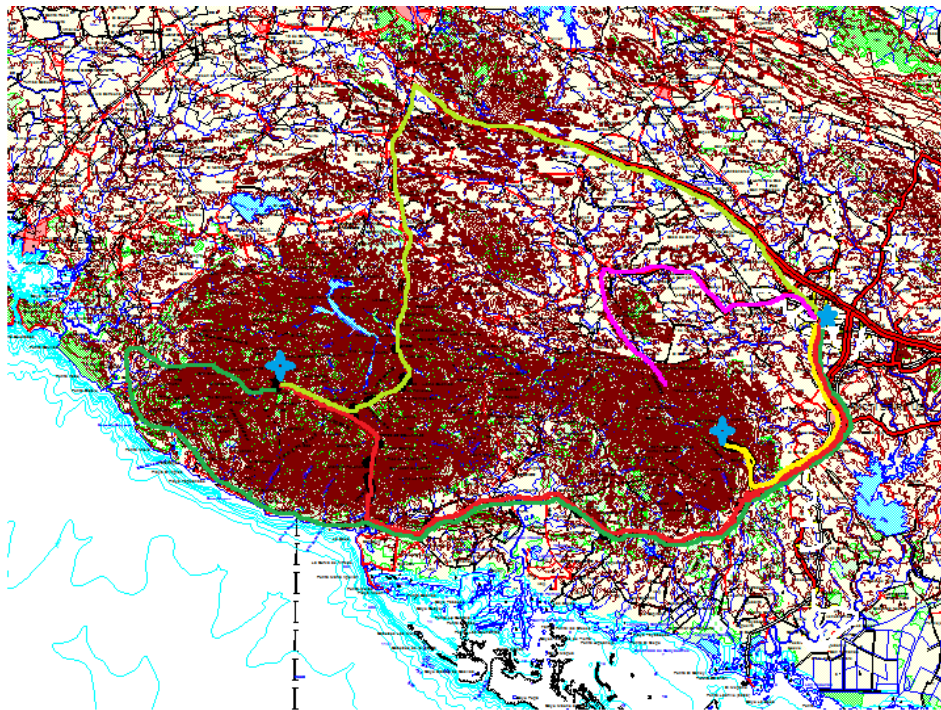


Figura 3. Accesos a las áreas de floración.

En estas zonas se localizaron áreas, teniendo en cuenta que se pueda cultivar la caña y que al menos posea una hectárea, estos puntos fueron identificados y ubicadas sus posiciones geográficas (latitud, longitud y altitud) empleando un GPS. Las altitudes a seleccionar están en dependencia de los resultados obtenidos en el acápite anterior.

Posteriormente se realizó un estudio de posibilidades reales teniendo en cuenta: poseedor de la tierra, posibilidades de sus atenciones y cuidado desde la plantación hasta la salida de la flor sin que sufra daños.

Teniendo en cuenta las coordenadas de los puntos, estos fueron ubicados en un mapa, para ello se utilizó el programa MapInfo v 9.0, empleado como sistema de información geográfica (SIG).

Por último se hacen otras propuestas, para en su conjunto establecer un programa general de manejo de la floración bajo condiciones de montaña.

Capítulo III. Resultados y discusión

3.1. Principales fuentes de la interacción genotipo por ambiente.

La localidad fue la fuente de variación que más influencia tuvo sobre la fecha de floración con el 81% de la VFT (variación fenotípica total), pero todas las fuentes de variación mostraron diferencias significativas (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza para la fecha de floración

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F	Prob.	%VFT
Progenitor (P)	3128	9	348	81	0.001	10
Localidad (L)	25703	3	8568	2000	0.001	81
P x L	2421	27	90	21	0.001	8
Error	343	80	4.3			1
Total	31595	119				

%VFT = Porcentaje de la variación fenotípica total, $prob \leq 0.05$ diferencias significativas.

El que la localidad sea la fuente de mayor variabilidad, abre una buena posibilidad de poder encontrar zonas con diferencias de la floración, dentro de los progenitores, lo que se hace más significativo si los progenitores empleados en el estudio son de escasa floración y ser bajo las condiciones naturales del macizo montañoso, localidad que se caracteriza por alta floración y según Nayamuth *et al.* (2003).

La floración más temprana se produce en el progenitor C1616-75 y C86-12 del lote 4 y la más tardía en la C323-68 y C266-70 en el lote de Mayarí (Tabla 4)

Tabla 4. Valores promedios de los progenitores por cada localidad para los días a floración.

Variedad	Lote 1	Lote 4	Lote 5	Mayarí	Promedio general	Diferencias (máx.-mín.)
B51410	21	13	25	37	24	24

C120-78	26	26	33	63	37	37
C1616-70	20	12	21	59	28	47
C266-70	22	21	22	66	33	45
C323-68	28	27	35	67	39	40
C86-12	17	12	21	46	24	34
C86-456	23	19	34	64	35	45
C90-317	28	13	32	64	34	51
Ja64-11	23	14	23	47	27	33
Ja64-20	25	14	32	41	28	27
Promedio general	23	17	28	55	31	38

De la tabla anterior se aprecian diferencias dentro de un mismo progenitor de entre 24 para la B51410 y 51 día en la C90-317, algo muy favorable, pues alarga el tiempo de cruzamientos y las posibilidades de sincronización. .En Guatemala, Polo (2005), encontró diferencia de floración en dos localidades.

3.2. Influencia de la cepa y la altitud.

Para poder definir las causas de las diferencias entre las localidades, se tomaron experimentos ubicadas en una misma zona, pero pertenecientes a diferentes cepas e iguales cepas plantadas a diferentes altitudes.

Para las cepas tuvo tanta influencia la cepa como el progenitor utilizado, pero en ambos casos con diferencias en las fuentes de variación utilizada (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados del análisis de varianza para los días a inicio de floración con el uso de diferentes cepas.

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F	Prob.	%VFT
Progenitor (P)	1562.90	9	173.66	46.10	0.001	38
Cepas (C)	1791.27	2	895.63	237.78	0.001	43

P x C	584.73	18	32.49	8.62	0.001	14
Error	226.00	60	3.77			5
Total	4164.90					

%VFT = Porcentaje de la variación fenotípica total, $prob \leq 0.05$ diferencias significativas.

Desde tiempos de inicio de los trabajos de mejora, algunos trabajos detectaron diferencias entre zonas de un mismo campo y cepas de una misma variedad (Stevenson, 1965).

En el caso de este trabajo la cepa de retoño resultó, como promedio, seis días más temprana en la salida de la floración, respecto a la soca y 11 días con la cepa de planta (Tabla 6).

Tabla 6. Valores promedios de los progenitores por cada cepa para los días a floración.

Variedad	Cepa			Promedio general	Diferencia (máx.-mín.)
	Planta	Soca	Retoño		
B51410	25	21	13	20	12
C120-78	33	26	26	28	7
C1616-70	21	20	12	18	9
C266-70	22	22	21	21	1
C323-68	35	28	27	30	8
C86-12	21	17	12	17	9
C86-456	34	23	19	25	15
C90-317	32	28	13	24	19
Ja64-11	23	23	14	20	9
Ja64-20	32	25	14	24	18
Promedio general	28	23	17	23	11

Las diferencias en un progenitor van desde un día para la C266-70, hasta 19 días para la C90-317, por tanto este último progenitor se repite como muy sensible a los

cambios del ambiente pues en el acápite anterior tuvo respuesta diferencial a las localidades.

La altitud provoca un alto cambio en la fecha de floración, en este caso representa el 81% de la variación total de los datos (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados del análisis de varianza para los días a inicio de floración con el uso de diferentes altitudes

Fuentes de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor F	Prob.	%VFT
Progenitor (P)	3240.3	9	360.0	89.51	0.001	11
Altitud (A)	23463.4	2	11731.7	2916.72	0.001	81
P x A	1967.3	18	109.3	27.17	0.001	7
Error	241.3	60	4.0			1
Total	28912.3					

%VFT = Porcentaje de la variación fenotípica total, $\text{prob} \leq 0.05$ diferencias significativas.

La influencia de la altitud ha sido enunciada hace varios años donde destacan Ellis et al. (1967); González (1960); Nayamuth et al. (2003)

En Cuba los primeros trabajos se realizaron en la zona montañosa de Oriente (Arceneaux, 1954), continuado por Cruz et al. (2007), los más recientes corresponde a los desarrollados por Carballoso (2012) y López (2012), en la zona central.

De las alturas estudiadas corresponde a los 350m la floración más temprana y la más tardía a los 800m sobre el nivel de mar (Tabla 8).

Tabla 8. Valores promedios de los progenitores por cada cepa para los días a floración.

Variedad	Altitudes			Promedio general	Diferencia (máx.-mín.)
	250	350	800		
B51410	25	13	37	25	24
C120-78	33	26	63	40	37

C1616-70	21	12	59	31	47
C266-70	22	21	66	36	45
C323-68	35	27	67	43	40
C86-12	21	12	46	26	34
C86-456	34	19	64	39	45
C90-317	32	13	64	36	51
Ja64-11	23	14	47	28	33
Ja64-20	32	14	41	29	27
Promedio general	28	17	55	33	38

En México, empleando el cultivar “CP72-2086”, Aguilar y Devernardi (2004) y altitudes de 200 a 1400 m en la zona cañera de Veracruz, determinaron que la floración más temprana se registraba en las alturas intermedias (292 a 477 m) y la más tardía a medida que se alcanzaban alturas próximas a los 1000m, donde casi no se produce la floración.

Algo similar ocurrió en este trabajo, donde la floración más temprana se registra entre 300 y 500m,

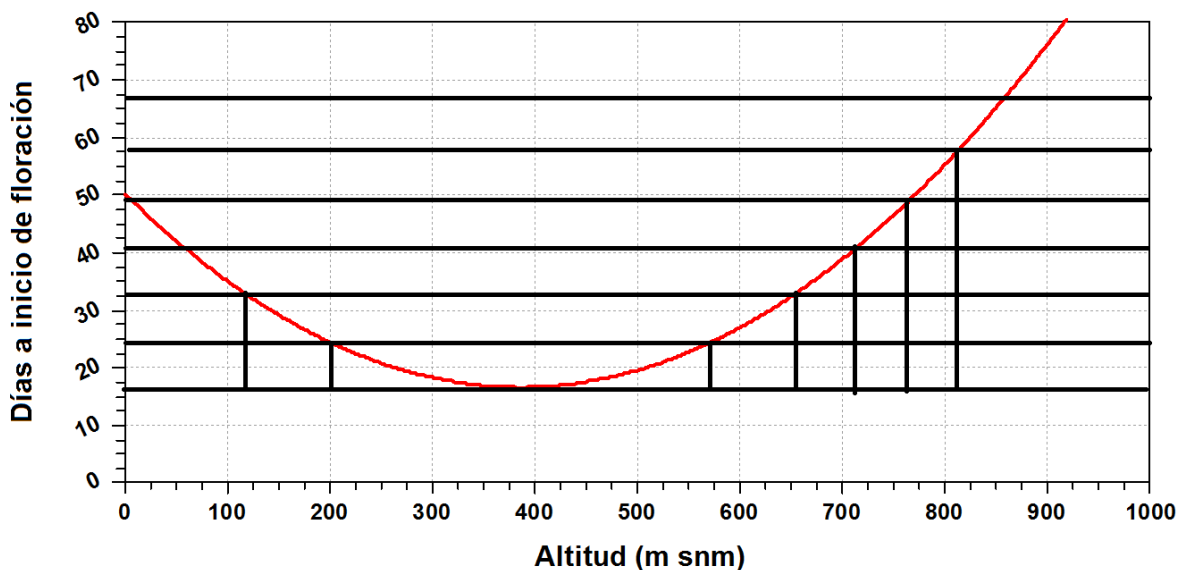


Figura 4. Curva que caracteriza la relación altitud – días a inicio de floración.

La ecuación que caracteriza la relación altitud con los días a inicio de floración es la siguiente:

$$y = 50,2 - 0.174x + 0.00023x^2; R^2 = 0.82$$

Donde:

y= Días a inicio de floración (1 = 1 de noviembre)

x= altitud (m snm= metros sobre el nivel del mar)

El buen ajuste de la ecuación de regresión es de mucha utilidad para pronosticar, este método fue empleado por Carballoso (2012) y López (2012), en todos los casos el mejor ajuste se logra con el modelo cuadrático de segundo orden.

Según la figura y la ecuación, para lograr diferencias semanales de la floración se debe disponer de puntos para hacer florecer los progenitores en las altitudes de 135, 550, 620, 680 y 725 (Tabla 9).

Tabla 9. Situación de las altitudes estimadas y las existentes para lograr floraciones semanales en los progenitores.

Altitud	Días a inicio de floración	Situación actual
80	+21	Existe uno a 100
135	+14	Falta
200	+7	Existe uno a 250
350-400	0	Existen varios a 350
550	+7	Falta
620	+14	Falta
680	+21	Falta
725	+28	Falta
770	+35	Existe uno a 800

Los retrasos en la floración son más pronunciados a partir de los 680m donde llega a ser de 21 días, respecto a la altitud de floración más temprana (350-400m) y a partir de aquí cada 45m de altitud, la floración emerge siete días más tarde.

Trabajo similar al realizado en esta zona central fue el empleado en la década del 50 por una compañía norteamericana en la zona de Oriente donde plantaron varias colecciones en las Sierras de Nipe y Cristal en las localidades de: Guamuta (150 m), Bull Swith (250 m), Cayo Verde (540 m), Cayo Cristo (609 m) y Pinares de Mayarí (731 m), las que funcionarían de manera combinada, lo que fue interrumpido con el triunfo de la revolución (Stevenson, 1965; González, 1999).

3.3. Propuesta de soluciones para el incremento de la sincronización de la floración.

Según los resultados de los cruzamientos realizados en el año 2013-2014, con las localidades aquí estudiadas se logró una sincronización del 50%, superior al año anterior y se estima que con la inclusión de la altitud de 450 se logre el 70% (Tabla 10).

Tabla 10. Sincronización lograda en tres años con el empleo de localidades ubicadas a diferentes altitudes.

Año	Altitudes	Sincronización (%)
2012-2013	100, 350 y 800	32
2013-2014	100, 250, 350 y 800	50
2014-2015*	100, 250, 350, 450 y 800	70

* Estimada

Este resultado indica que se puede lograr más, a medida que se incrementen las localidades en las alturas estimadas, es importante una localidad entre 100 y 250, la que reforzaría la floración de los progenitores masculinos, según los análisis de prospección esta localidad se puede encontrar en los accesos a las alturas de Sancti Spíritus (Figura 5), tanto por la carretera que va a Fomento como la que llega a las localidades de Buenos Aires, la primera tiene la ventaja que existen plantaciones cañeras, pertenecientes a la UPC (Unidad de producción cooperativa) de Quemaditos y Delicias de la UEB (Unidad Empresarial de Base) Melanio Hernández, la segunda tiene como ventaja que está en el acceso a la localidad de Buenos Aires, donde se ahorra combustible, pero como desventaja no existe seguridad de que esté bien cuidada, pues la propiedad de la tierra es de la empresa forestal o de campesinos y los pobladores de estas áreas pueden emplearla para otros usos y sería necesario hacer gastos adicionales para su cuidado, por tanto recomendamos el uso del área ubicada en la carretera a Fomento.

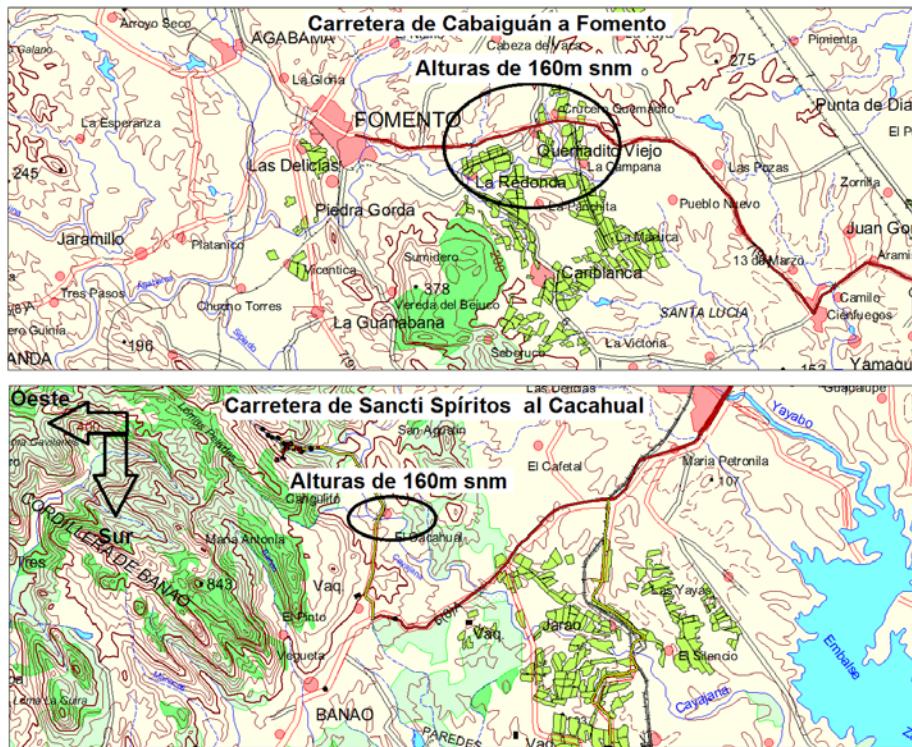


Figura 5. Acceso a las altitudes de 160m (arriba carretera Cabaiguán a Fomento y abajo Sancti Spiritos a Cacahual).

Los círculos marcados en la parte superior de la figura corresponden al cruce de Quemadito ($22,10^\circ$ de latitud norte y $79,66^\circ$ de longitud oeste) y en la parte inferior al Cacahual ($21,88^\circ$ de latitud norte y $79,54^\circ$ de longitud oeste).

Las otras altitudes que faltan (500 a 700m, aproximadamente) solo pueden ser ubicadas en las alturas de Trinidad, por cualesquiera de las rutas de acceso a este macizo montañoso, es decir por Trinidad, Cienfuegos o Manicaragua (Figura 6).

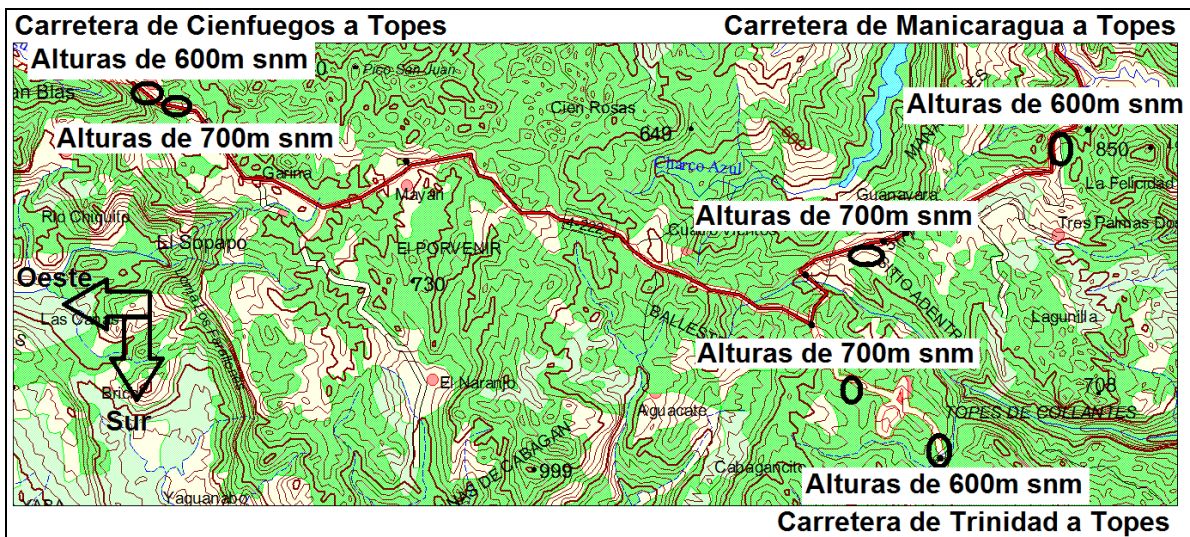


Figura 6. Lugares seleccionados para completar alturas de 600 y 700m de altitud, por los tres accesos disponibles.

Para seleccionar estas áreas se tuvo en cuenta que existiera área cultivable, en estas zonas si se debe ubicar algún personal para la protección de las plantaciones, destaca que estas son áreas más pequeñas donde solo se van a ubicar los progenitores que tienen problemas con la sincronización, algo a valorar por los especialistas de los cruzamientos del centro. Según la visita realizadas a las áreas el mejor punto se ubica en la carretera Cienfuegos a Topes, en un pequeño poblado llamado la Vega, por disponer de suelo de buenas características y un área llana.

Si se ubican todas estas áreas recomendadas y según estimados realizados se debe aproximar al 90% de sincronización, algo no logrado por ningún programa de mejora del mundo, para subir de este valor se necesita de al menos una casa de fotoperiodo.

Conclusiones

- Se encontró una alta influencia de la localidad en la fecha de salida de la flor con diferencias de 24 a 51 días dentro de un mismo progenitor.
- La altitud fue la variable independiente que más influencia tuvo sobre la variable dependiente fecha de salida de la flor, destaca el buen ajuste de la ecuación cuadrática, importante para una buena estimación, de puntos no evaluados.
- En el trabajo se hacen recomendaciones de los sitios donde se pueden ubicar áreas para lograr hasta un 90% de sincronización de la floración.

Recomendaciones

- Continuar explotando las localidades existentes en el centro, de forma combinada, pero incorporar las recomendadas por este trabajo.
- Emplear la ecuación cuadrática aquí calculada, cuando se quiera seleccione una localidad en otras condiciones de Cuba, previo conocimiento de la altitud y hacer los ajustes que sean necesarios para esas condiciones.
- Que este trabajo sirva para continuar mejorando el programa de mejora de la caña de azúcar y material de estudio para profesionales y estudiantes de esta temática en Cuba y el mundo.

Referencias bibliográficas

- AITKEN, K.; HENRY, R.; LEE, S.; BONNETT, G. y JACKSON, P. Can genomics revolutionise genetics and breeding in sugarcane. En: MANNERS, J.; CORDEIRO, G.; JACKSON, M.; MCINTYRE, L. y CASU, R. *Can genomics revolutionise genetics and breeding in sugarcane?*. 4th International Crops Science Congress: Sugar Cane Technol, 2004.
- ALWALA, S. J.; KIMBENG, C. A.; ARRO, A.; SUMAN, A. y VERENIS, J. C. *Target region amplification polymorphism (TRAP) for assessing genetic diversity in sugarcane germplasm collections*. Mexico: collections. Crop Sci, 2006. pp. 46: 448-455.
- ARCENEUX, G. *Sugarcane breeding at Preston Cuba. Report to U. C. W. and Improvement committee Jan*. Cuba: Agronomía Trop, 1954.
- ARRO, J. A.; BOTANGA, C.; VEREMIS, J. C. y KIMBENG, C. A. *Genetic diversity and relationships revealed by AFLP markers among Saccharum spontaneum and related species and genera*. Journal American Society of sugarcane Technologists: Agronomía Trop, 2006. pp. 26: 101-115.
- BALAKRISHNAN, R.; SCREENIVASAN, T. V. y NAIR, N. V. *A method for establishing a core collection of Saccharum officinarum L. germplasm based on quantitative-morphological data*. Genetic resources and crop evolution: Agronomía Trop, 2000. pp. 47: 1-9.
- BASTIDAS, L.; BRICEÑO, R.; DE, O.; REA, R. y HERNÁNDEZ, E. *Potencial azucarero y panelero de cinco cultivares de caña de azúcar en el Valle de Santa Cruz de Bucaral, estado Falcón, Venezuela*. Falcón, Venezuela: Agronomía Trop, 2009.
- BECERRA, E.; LUCIANO, M.; PINEDA, R. E. y MÁS, E. *Sistemas de información geográfica y diversificación de la producción agropecuaria del MINAZ en Villa Clara. Memorias Diversificación 2008*, septiembre 2008, nº 3, pp. 978-959-7165.
- BENÍTEZ, L.; VALDÉS, J.; NARANJO, I.; CUESTA, M.; OSORIO, N.; PINEDA, E.; VILLEGASY, R.; CHINEA, A.; PÉREZ, E.; VIÑAS, Y.; PÉREZ, M. y DE, M. *Ordenamiento territorial; herramienta organizativa para las empresas del MINAZ*. Cuba. *Cuba y Caña*, octubre 2008, nº 1, pp. 12-16.
- BERDING, N. *Poor and variable flowering in tropical sugarcane improvement program: Diagnosis and resolution of major breeding impediment*. Proc. ISSCT. South Africa: ISSCT, 2005.
- BERDING, N.; PENDRIGH, R. y DUNNE, V. *Can flowering in sugarcane be optimised by use of differential declinations for the initiation and development phases?*. Mexico: ISSCT, 2007. pp. 526-530.
- BOGAERT, P. *The spatial interpolation of agroclimatic data (Cokriging software an Source code)*. Roma: FAO, 1995.
- BOSQUE, S. J. *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid, España: Editorial Rialp, 2a ed, 2000.
- CARABALLOSO, V. *Propuesta de estrategia para incrementar la explotación de los recursos*

- fitogenéticos en el mejoramiento de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) mediante el manejo de la floración. *Tesis de Doctorado*. La Habana: Universidad Agraria de La Habana, 2012. h. 100 p.
- CARABALLOSO, V. y LÓPEZ, D. *Propuesta de esquema para aumentar la sincronización de la floración entre variedades de caña de azúcar (Saccharum spp.) mediante el manejo de la altitud*. Forum Municipal de Ciencia y técnica: Forum, 2012.
 - CARABALLOSO, V.; MORALES, F.; GONZÁLEZ, F.; CRUZ, R. y VALLINA, J. *Hibridación*. Ciudad de La Habana: Publinica, 2003. pp. 28-37. ISBN 959-7140.
 - CARABALLOSO, V.; TOMEU, A.; RÁBAGOS, R.; GONZÁLEZ, F. y BERNAL, N. Fundamentación de la creación del Centro Nacional de Hibridación de la caña de azúcar en la provincia Sancti Spiritus. *Cuba & Caña*, abril 2000, nº 7.
 - CARBONELL, J.; ISAACS, R.; QUINTERO, J.; TORRES, B.; AMAYA, J. y ORTIZ, A. *Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia: CICAC, 2001.
 - CARBONELL, J.; VICTORIA, J.; TORRES, S.; QUINTERO, R.; ISAACS, J. C. y OSORIO, C. A. *agroecológica del valle del río Cauca*. La Habana: CENICAÑA, 2009.
 - CEDEÑO, K. E.; SILVA, G. y CASTILLO, R. O. *Genetic diversity assesment of the ecuadorian sugarcane collection using RAPD markers*. Ecuador: RAPD, 2006. ISBN breeding and germplasm workshop.
 - CHAVANNE, E.; CUENYA, M.; GARCÍA, M. y OSTENGO, S. Evaluación del comportamiento productivo de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) a través de diferentes ambientes en Tucumán, aplicando la técnica estadística "GGE biplot. *Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán*, septiembre 2007, nº 2.
 - CHINEA, A.; ORELLY, J.; CHINEA, A.; PÉREZ, M. y CORTEGAZA, P. *Organización técnica - gerencial de la agricultura cañera de Matanzas, mediante sistemas de información geográfica (SIG) durante los últimos 10 años*. Evento Jov: ISSCT, 2007.
 - COTO, O. Diversidad molecular de clones del *Saccharum spp.* de interés para el mejoramiento cañero revelada mediante RFLP. *Tesis de Doctorado*. La Habana: Universidad, 2001.
 - COTO, O.; DE, F.; D'HONT, A.; CORNIDE, M.; CALVO, D. y CANALS, E. *Genetic diversity among wild sugarcane germplasm from Laos revealed with markers*. Euphytica: Agric. J, 2002.
 - CRUZ, R.; RODRÍGUEZ, J.; CÉSPEDES, A. y GONZÁLEZ, F. *Efecto de algunos factores del clima sobre la floración de la caña de azúcar*. *Proc. 55 Aniversario Estación de Investigaciones de la caña de azúcar de Holguín*. Holguín: Libro de resúmenes, 2007.
 - DELVADIA, D. R. y PATEL, A. *Genetic variability and heritability in sugarcane*. Mexico: Madras Agric. J. 93, 2006.
 - DÍAZ, F.; AGUILERA, L. y GARCÍA, R. H. *Variación de caña de azúcar que aporta soluciones para la producción comercial cubana*. Memoria XII Seminario Científica del INCA, p: La Habana,

2000.

- DOOKUN, A.; ULIAN, E. C.; HUCKETT, B.; MIRKOV, E. y HONT, A. D. *Fifth ISSCT molecular biology workshop report*. Mexico: ISSCT, 2007.
- FAO. "Zonificación agroecológica. Guía general", *Boletín de suelos, núm. 73, Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de Suelos*. Roma, Italia: Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, 1997.
- FERNÁNDEZ, P. J. M. y SUMANO, L. M. A. *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*. Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México: UACM, 1992.
- GARCÍA, A.; PINTO, L.; SOUZA, H. B.; KIDO, E. A. y MESA, A. N. *Development of an integrated genetic map of a sugarcane (Saccharum spp.) commercial cross, based on a maximum-likelihood approach for estimation of linkage and phases*. Mexico: Theor appl Genet, 2006.
- GARCÍA, P. 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 de Maestría*. Ministerio del Azúcar. INICA: Ciencias Agrícolas, 2004.
- GONZÁLEZ, F. Perfeccionamiento de la tecnología en la primera etapa del proceso de obtención de nuevas variedades de caña de azúcar mediante Hibridación. *Tesis de Maestría*. La Habana: Univ, 2005.
- GRIVET, L. y ARRUDA, P. *Sugarcane genomics: depicting the complex genome of an important tropical crop*. Africa: Curr Opin Plant Biol, 2001.
- GUZMÁN, R. A. Cañicultura y mapas digitales inteligentes. *Procaña*, diciembre 2002, nº 31, pp. p 12-14.
- JACKSON, P.; PIPERIDI, G.; AITKEN, K. y WEI, X. *Progress and plans in applying DNA markers to sugarcane breeding programs in Australia*. Ecuador: ISSCT breeding and germplasm workshop, 2006.
- JIMÉNEZ, A.; AGUIRRE, M.; SALINAS, W. E.; RODRÍGUEZ, D. y VARGAS, V. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, octubre 2004, nº Núm. 53, pp. pp. 58-74.
- JIMÉNEZ, A.; RODRÍGUEZ, D.; AGUIRRE, M.; SALINA, W. y VARGAS, V. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*, 10 junio 2004.
- JORGE, H.; JORGE, I.; GONZÁLEZ, R. y CASAS, M. *Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba*. La Habana, Cuba: PUBLINICA, 2011. p. 308 p.
- LABORDE, C. Sugarcae tasseling under artificial photoperiod condition as affected by nitrogen rate and temperature. *Tesis de Maestría*. Mexico: Thesis Philosophy, 2007.
- MALDONADO, A.; LAMPORT, P. y MELGAR, M. Worldwide advances in sugarcane transgenesis.

Sugar Journal, junio 2008, nº 3.

- MILLER, J.; COMSTOCK, J.; EDME, S. y TAI, P. *Basic germplasm utilisation in the sugarcane development programme at Canal Point*. Florida, USA: Sugar Cane Technol, 2005.
- PÉREZ, G. Composición genética del Banco de Germoplasma de Cuba. *Trabajo de Diploma*. La Habana: Proyecto presentado al CITMA, 2009.
- PÉREZ, G.; VIDAL, S.; CARVAJAL, O.; CABRERA, S.; CHINEA, A. y ABRANTE, I. Base genética de la caña de azúcar en Cuba y su influencia sobre la obtención de variedades resistentes a enfermedades. *Memorias 60 Aniversario EPICA Jovellanos*, marzo 2007, nº 3.
- 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. *Trabajo de Diploma*. La Habana: MINED, 2005.
- QUEME, J.; MELGAR, M.; OROZCO, H. y CROSSA, J. Analysis of genotype-by-environment interaction for sugarcane using the sites regression model (SREG. *Environment interaction for sugarcane*, julio 2007, vol. 26, nº 7, pp. 764-769.
- QUEME, J.; MELGAR, N.; OVALLE, W. y OROZCO, H. Analysis of genotype-by-environment interaction for sugarcane based on the AMMI model. *Desconocido*, junio 2005, vol. 25, nº 6.
- RODRÍGUEZ, A. M.; FLORES, E. P. y CASTILLO, M. A. *Diversidad genética de los cultivos de caña más importantes de México*. La Habana: Gnosis, 2005.
- RODRÍGUEZ, C.; FUCHS, A. y PÉREZ, J. Mejora de plantas. *Mejora de plantas*, junio 2006, nº 2.
- RODRÍGUEZ, E. Perfeccionamiento de las técnicas de manejo de la semilla botánica de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en el Centro Nacional de Hibridación. *Trabajo de Diploma*. Sancti Spiritus: Universidad Sancti Spiritus, 2012. h. 65 pp.
- ROSSI, G. Sugarcane variety notes. *“an international directory*, febrero 2004, nº 5.
- SANTANA, I.; GUILLEN, S. y SANTOS, J. *Instructivo técnico para la producción y cultivo de la caña de azúcar*. La Habana: PUBLINICA, 2007.
- SANTANA, I.; GUILLEN, S. y SANTOS, J. *Instructivo técnico para la producción y cultivo de la caña de azúcar*. La Habana: PUBLINICA, 2007. p. 148 pp. ISBN 1028-6527.
- SARAVANAN, R.; WEERATHAWORN, P.; PRABPAN, M. y BENJAMÍN, K. *Building farm Information Systems for the Thai Sugar Industry - The role of IRS-ID Satellite and GIS*. Atagua, Guatemala: ISSCT XXV Congress, 2005. pp. pp. 265-271.
- SARAVANAN, R.; WEERATHAWORN, P.; PRABPAN, M. y BENJAMÍN, K. *Building farm Information Systems for the Thai Sugar Industry - The role of IRS-ID Satellite and GIS*. Atagua, Guatemala: ISSCT XXV Congress, 2005. pp. pp. 265-271.
- SCHENCK, S.; MOORE, H.; MING, R.; WU, K.; CREPEAU, W. y YU, P. Q. *Genetic diversity and relationships in native Hawaiian *Saccharum officinarum* sugarcane*. Mexico: Journal of Heredity 95, 2004.

- SCHENCK, S.; MOORE, P.; WU, K. y CREPEAU, W. *Genetic diversity and relationships in native Hawaiian Saccharum officinarum sugarcane*. Mexico: Journal of Heredity 95, 2005.