

REPÚBLICA DE CUBA



UCF Carlos Rafael Rodríguez

C U M AGUADA DE PASAJEROS

TITULO: Evaluación de la influencia de los factores agroclimáticos sobre el rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum* sp. Híbrida) en la CPA Revolución de octubre.



TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO

Por:

AUTOR: Segundo E. Martínez Benítez.

TUTOR: Lic. Freddys Ramírez González. Msc.

Aguada, junio de 2012.

SÍNTESIS

El trabajo se realizó en áreas de la Cooperativa de Producción Agropecuaria Revolución de octubre, de la Unidad Empresarial de Base (UEB) "Antonio Sánchez" del municipio Aguada de Pasajeros. Donde se evaluaron en condiciones de producción en 8 años de los datos de las siguientes tipos de variables: relacionadas con la composición de cepa; relacionadas con la composición varietal y relacionadas con el manejo agrícola, además de los datos climatológicos. Para el análisis multivariado de los datos de las variables se les efectuó clasificación automática por el método de conglomerados jerárquicos, estudio factorial de componentes principales y análisis de regresión lineal múltiple por el método de pasos sucesivos donde se incluyó al rendimiento como variable dependiente. Los resultados indican que el agroecosistema de la CPA Revolución de octubre se caracteriza por ser productor de caña de azúcar, por tener suelos aptos para este cultivo, una alta dependencia de recursos externos, así como una marcada disminución del rendimiento del mismo. La composición de cepa, el manejo, las precipitaciones y el rendimiento resultan ser los factores que determinan las variaciones en el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre. El área molible total, el área de frío cosechada, la limpia manual, las aplicaciones de herbicida, la fertilización con nitrógeno y fósforo así como las precipitaciones anuales determinan el rendimiento de la caña en el agroecosistema pues son predictoras del mismo en el modelo de regresión lineal en condiciones de producción.

SYNTHESIS

The work was carried out in areas of the Cooperative of Production Agricultural "Revolución de octubre", of the Managerial Unit of Base (UEB) "Antonio Sánchez" of the Diluted municipality of Passengers. Where they were evaluated under production conditions in 8 years of the data of the following types of variables: related with the strain composition; related with the composition varietal and related with the agricultural handling, therefore of the climatologically data. For the multivariate analysis of the data of the variables

they are made self-operating classification by the method of hierarchical conglomerates, I study factorial of main components and analysis of lineal multiple regression for the method of successive steps where it was included to the yield like dependent variable. The results indicate that the agroecosistema of CPA "Revolución de octubre" is characterized to be producing of sugar cane, to have capable floors for this cultivation, a high dependence of external resources, as well as a marked decrease of the yield of the same one. The strain composition, the handling, the precipitations and the yield turn out to be the factors that determine the variations in the agroecosistema of CPA "Revolución de octubre". The area total molible, the harvested area of cold, the clean manual, the herbicide applications, the fertilization with nitrogen and match as well as the annual precipitations determine the yield of the cane in the since agroecosistema they are predictor as of the same one in the pattern of lineal regression under production conditions.

Acápite	Tabla de contenidos	Páginas
1.0	Introducción.	1
1.1	Antecedentes.	1
1.2	Justificación del estudio.	2
1.3	Problema de investigación.	2
1.4	Objetivo general.	2
1.5	Objetivos específicos.	2
1.6	Beneficios esperados.	3
1.7	Limites del alcance de la investigación.	3
2.0	Desarrollo.	5
2.1	Marco teórico de la investigación.	5
2.1.1	Valoración del contexto local, nacional y mundial.	5
2.1.2	Estado actual del conocimiento del problema de investigación.	18
2.1.3	Carencia que se quiere llenar con la investigación.	23
2.2	Materiales y métodos.	25
2.2.1	Caracterización de las condiciones agroclimáticas del agroecosistema cañero.	25
2.2.2	Evaluación del peso de los indicadores agroclimáticos sobre el rendimiento de la caña de azúcar en el agroecosistema en estudio.	28
2.3.0	Resultados y discusión.	29
2.3.1	Caracterización de las condiciones agroclimáticas del agroecosistema cañero.	29
2.3.2	Evaluación del peso de los indicadores agroclimáticos sobre el rendimiento de la caña de azúcar en el agroecosistema en estudio.	38
3.0	Conclusiones.	42
4.0	Recomendaciones.	43
5.0	Bibliografía.	44

1.1 Antecedentes.

Los vaivenes del comercio de la azúcar y sus precios en el mercado, han ejercido un fuerte impacto en la economía y la sociedad cubana en los últimos años (Singles 2005). ante tal coyuntura el ministerio del azúcar se ha visto precisado a desarrollar un profundo proceso de transformaciones (Tarea Álvaro Reinoso), todos encaminados a elevar la eficiencia productiva donde el alza de los rendimientos y la reducción de los costos juegan un papel fundamental (Aday 2007).

Las relaciones interdependientes e interactuantes (holocenóticas) entre los factores de los agro ecosistemas productivos tienden a producir variaciones del rendimiento del cultivo (Torres et al; 1984). esto sugiere que un cultivo en dos

ambientes determinados puede producir una respuesta más o menos diferente, en dependencia de la variación de los factores externos.

Dentro de los factores ambientales el hombre es un componente esencial que puede modificar la respuesta fenotípica en dependencia de las estrategias agronómicas que imponga a las plantas de cultivo (Torres et al; 1984 y Vega et al; 2004), y que junto con los factores climáticos y el suelo forman un sistema integrado que influye en gran medida en su desarrollo (Srinivasan, 1983, Blume, 1983 y Toledo et al; 2008).

Muchos autores coinciden que la caña de azúcar tiene una alta dependencia de variaciones ambientales de los agro ecosistemas (Pinna et al; 1983 y Marcano et al; 2005). Julien et al, (1983) aseguran que el 15% de las variaciones fenotípicas de la caña es genética y el resto debido al ambiente. El estudio de los factores que inciden sobre el rendimiento de la caña de azúcar en los agroecosistemas y el establecimiento de estrategias agronómicas y varietales en condiciones de producción es práctica común a través del tiempo en Cuba y el mundo.

Mansour (1983) demuestra en Irak que el rendimiento potencial de la caña en su país es del orden de las 254 t. ha⁻¹·años⁻¹..., sin embargo el real es de 58,4 t. ha⁻¹·años⁻¹, como promedio, aclarando que esta reducción se debe a un 18% del clima, un 37,5% al suelo, el 17% al factor humano y el resto 27,5% es genética.

Resultados similares se obtuvieron en la India, Naidú et al, (1983) quienes demostraron la alta variabilidad que provoca en la caña por la interacción variedad / localidad en la mayoría de las variables estudiadas lo que se acentúa más en las condiciones ambientales adversas.

1.2 Justificación del estudio:

En Cuba se han hecho estudios para determinar los factores que más inciden en la disminución de los rendimientos de la caña en condiciones de producción: Ibarra y Bending, (2007) concluyen que el CAI Guatemala la inadecuada composición de cepa, el alto enyerbamiento la falta de población y las escasas precipitaciones en el gran periodo de crecimiento (Julio- Septiembre) fueron los indicadores que más incidieron, de las 34 variables medidas.

La C.P.A Revolución de Octubre de UEB azucarera Antonio Sánchez con 402.2 ha dedicadas a la caña muestra una marcada reducción de los rendimientos en los últimos años. La evaluación de los factores agroclimáticos de dicho agro ecosistema cañera puede contribuir a disponer de más elementos para establecer estrategias agronómicas y varietales efectivas. Esta situación motivó al planteamiento del siguiente problema científico.

1.3 Problema de la investigación:

¿Son los bajos rendimientos de la caña, causado por una deficiente estrategia agronómica y varietal en el agro ecosistema de la C.P.A. Revolución de Octubre de la UEB Antonio Sánchez de Aguada de Pasajeros?

1.4 Hipótesis de la investigación:

La evaluación de los factores agroclimáticos que inciden sobre el rendimiento de la caña en la C.P.A Revolución de Octubre de la UEB Antonio Sánchez contribuirá a tener más elementos para establecer estrategias agronómicas y varietales efectivas.

1.5 Objetivo General:

Evaluar la influencia de los factores agroclimáticos sobre el rendimiento de la caña de azúcar en la CPA Revolución de octubre.

1.5.1 Objetivos Específicos:

1.5.1.1. Caracterizar las condiciones agroclimáticas del agro ecosistema cañero de la C.P.A Revolución de octubre.

1.5.1.2. Evaluar indicadores agroclimáticos con vista a obtener un criterio del peso de cada uno sobre el rendimiento de la caña de azúcar del agro ecosistema cañero de la C.P.A Revolución de Octubre.

1.6 Beneficios esperados:

- ❖ Caracterizados los componentes del agroecosistema de la CPA Revolución de octubre.
- ❖ Descritas las variables meteorológicas del agroecosistema de la CPA Revolución de octubre.

- ❖ Caracterizado el comportamiento de las precipitaciones en el periodo poco lluvioso y lluviosos del agroecosistema de la CPA Revolución de octubre.
- ❖ Calculadas las toneladas de caña por milímetros de precipitaciones del agroecosistema de la CPA Revolución de octubre.
- ❖ Calculado el porcentaje de precipitaciones normales (PPN) en el agroecosistema de la CPA Revolución de octubre.
- ❖ Caracterizado el sistema de explotación agrícola del agroecosistema de la CPA Revolución de octubre.
- ❖ Calculados los Índices de las labores ejecutadas en los años evaluados en el agroecosistema CPA Revolución de octubre.
- ❖ Caracterizadas la composición de cepas y producciones por cepas en los años evaluados en el agroecosistema CPA Revolución de octubre.
- ❖ Evaluadas 26 variables relacionadas con la composición de cepas, la composición varietal y el manejo del agroecosistema CPA Revolución de octubre.
- ❖ Determinadas las variables que mayor peso tienen en la variabilidad del agroecosistema CPA Revolución de octubre.
- ❖ Obtenidas las variables que determinan el rendimiento en el agroecosistema CPA Revolución de octubre.
- ❖ Obtenidos los modelos de regresión lineal para la predicción del rendimiento en el agroecosistema CPA Revolución de octubre.

1.7 Limites del alcance de la investigación:

Los resultados de la investigación aportan información valiosa sobre el agroecosistema CPA Revolución de octubre, que permitirán la elaboración de estrategias agronómicas que ayuden a la elevación del rendimiento cañero en este, pues se dan a conocer las variables que determinan el rendimiento en el mismo. Servirá como material de consulta para investigadores que realicen estudios similares.

2.0 Desarrollo.

2.1 Marco teórico de la investigación.

2.1.1 Valoración del contexto local, nacional y mundial.

La estructura anatómica de la caña de azúcar ha sido ampliamente estudiada por diversos autores:

El tallo: Dillewijn (1951) expresa que el tallo aéreo se compone de canutos que en la misma base comienzan muy cortos, aumentando después gradualmente en longitud hasta llegar a un máximo después de lo cual comienza el decrecimiento. Cada canuto está compuesto por una yema, que en la base del tallo permite la formación de muchos brotes. En ocasiones la base del tallo tiene forma de lápiz que puede ser de 5 a 10 cm. lo que indica que las condiciones de crecimiento después de la brotación han sido inadecuadas. También componen el canuto el nudo y el entrenudo.

Los entrenudos: cada entrenudo constituye una unidad separada cuya longitud está determinada por los factores externos: Clima, suelo, labores agrotécnicas, incidencia de plagas y enfermedades, daños mecánicos por implementos agrícolas, entre otros, así como, por los factores internos: resistencia genética propia de la variedad hacia los factores externos. El tamaño de los entrenudos puede variar entre 5 y 30 cm. de longitud en dependencia de los factores internos y externos (Dillewijn, 1951; King et al., 1968; González, 1998; Humbert, 1965).

En condiciones adversas (sequía, inundación, bajas temperatura, entre otras) la tendencia normal de alargamiento de los entrenudos puede perturbarse, igual ocurre cuando se daña la hoja activa, hasta el extremo de que se afecte severamente el aporte de sustancias esenciales para el crecimiento del canuto (enfermedades de la hoja o lesiones mecánicas de la hoja). La ubicación de entrenudos o canutos enanos en el tallo, permite calcular la época o periodo de tiempo en que se hallaban activas las condiciones adversas. La caña en condiciones ambientales favorables tiende a mostrar una curva acampanada en el crecimiento de sus entrenudos la cual va perdiendo esta forma en la medida que las condiciones se van haciendo más desfavorables (Dillewijn, 1951).

El diámetro del tallo es mayor en la parte bajo tierra con un incremento gradual hacia arriba hasta lograr un valor más o menos constante. Este valor continúa en gran parte del tallo con solo un ligero aumento en la sección de la punta. Este parámetro puede variar su valor según la variedad y las condiciones externas (Dillewijn, 1951).

Humbert (1965) explica que por lo general nacen tallos de 243.8 – 335.3 cm por año a razón de tres uniones por mes. Cada cepa tiene una variedad de

tallos que se dividen en primarios, secundarios y renuevos. El crecimiento de los entrenudos varia en dependencia del tipo de tallo siendo menor en el tallo madre y aumenta en los secundarios y renuevos, concluye el autor. Independientemente del tipo de tallo el crecimiento comienza lento y luego va aumentando hasta el punto máximo llamado gran periodo de crecimiento que dura por espacio de unas semanas o varios meses en dependencia de los factores internos y externos (Humbert ,1965; Lima et al., 2004). También el diámetro, continúan explicando, depende del tipo de tallo aumentando a medida que disminuye la edad. La formación de tallos hijos muchas veces se correlaciona negativamente con el grosor del tallo y en una cosecha existe un 25% de tallos primarios, un 50% de secundarios y un 25% de renuevos principalmente "criollos" (últimos renuevos).

El tallo es el órgano de la planta de caña que se cosecha para extraer el azúcar industrialmente, de ahí que el rendimiento y sus componentes en este cultivo son características de este órgano. Se establecen, por su alta correlación con el rendimiento, el peso en primer lugar, el diámetro y el largo, de los tallos, en segundo lugar, como caracteres componentes del rendimiento en caña de azúcar (Torres et al., 1984).

Las hojas están ubicadas alternativamente en el nudo formando dos hileras opuestas. Tienen dos partes: el limbo y la vaina separada por una articulación llamada "Dewlap", el cuello o triángulo de la hoja. El número de hojas verdes (activas) es pequeño en las plantas jóvenes y aumenta considerablemente conforme la planta va envejeciendo. Durante el gran periodo de crecimiento el número de hojas activas es alrededor de 10 – 15 en dependencia de la variedad y el ambiente (Humbert, 1965).

Otros componentes de las hojas son: la lígula, apéndice membranoso de la vaina que separa el limbo de la vaina y que está influenciada más por las condiciones internas que las externas; las aurículas que son apéndices en forma de orejas ubicados en la parte superior del margen de la vaina que en algunas variedades no se presenta; y la pubescencia que es la presencia de pelos tanto en el limbo como en la vaina Dilewijn (1951).

Las hojas fabrican la sacarosa usando agua, CO₂, nutrientes y luz solar. A partir de un proceso fotosintético eficiente, C₄, que identifica a la planta de caña como la que más energía solar aprovecha (Humbert, 1965; Vásquez y

Torres, 1982). Con 10 hojas activas por tallo (70000 hojas. ha-1) que representa una superficie foliar de hojas verdes de 70000 m². ha-1, o sea, 7 veces la superficie de suelo que ocupan las plantas (10000 m². ha-1 (Humbert, 1965 y Muñoz, 2007). Por las hojas ocurre la evapotranspiración (Er) a través de la cual la caña pierde entre 9360 y 12720 m³.ha-1.años-1 de agua, lo cual está muy estrechamente ligada con los factores climáticos: temperatura, humedad relativa y la luz existiendo correlaciones altas y positivas entre estos y la Er que se relaciona con procesos fisiológicos como el crecimiento y la nutrición mineral (Pacheco et al., 1983).

La evapotranspiración, además es reportada con correlaciones altas y significativas con los rendimientos en tallos molibles y en azúcar por Shih (1983), quien, además, propone este parámetro para predecir el rendimiento a partir de fórmulas matemáticas.

A medida que emergen las nuevas hojas, las viejas o inferiores se secan, mueren y caen dejando una cicatriz en el nudo y el tallo desnudo. El grado de "despaje" del tallo depende de la variedad fundamentalmente. Existe un sistema de numeración que se aplica también a los entrenudos propuesto por Kuijper (1915), del ápice hacia abajo. La hoja +1 corresponde al último "Dewlap" visible, punto recomendado para medir la altura de tallo hasta la superficie del suelo. De ese punto, explica el autor, hacia arriba las hojas en formación se numeran como 0, -1, -2, ... y hacia abajo como +2, +3, +4... La selección de la hoja +1, concluye el autor, se basa en que es la última que está completamente desarrollada y en consecuencia cualquier desplazamiento de su cuello se debe exclusivamente al alargamiento del tallo.

La raíz es fibrosa, provienen de la banda de raíces que se encuentra en el nudo de la estaca. Humbert (1965) explica que por estudios realizados por un grupo de autores el sistema radicular de los retoños está menos desarrollado que el de caña planta. Se ha descubierto que después del corte, de la cosecha, las raíces de la caña permanecen activas por un periodo considerable de tiempo y que van dejando de funcionar en la medida que es sustituido por las nuevas raíces que emiten los tallos según van brotando y creciendo hasta formar un nuevo sistema radical. El uso del cultivo de poda de raíces viejas, explica el autor, favorece la emisión más rápida y en mayor volumen, siempre y cuando se realice con la profundidad y humedad óptimas de los suelos, así

que, cuando se realiza en suelos secos o demasiados húmedos estos beneficios se reducen considerablemente.

La profundidad y amplitud del sistema de raíces dependen de la humedad del suelo. La falta de humedad da más profundidad y amplitud a las raíces, así como, hay un aumento significativo en el número de pelos absorbentes. Lo contrario ocurre en áreas donde el suelo se ha mantenido húmedo o inundado durante largos periodos de tiempo (Dilewijn, 1951). Una parte de las raíces es superficial y puede alcanzar uno o dos metros de longitud, pero la mayor parte es de crecimiento vertical pudiendo llegar a un metro o más de profundidad. Aproximadamente en los primeros 60 cm del suelo se encuentra el 85% de las raíces de la caña (Torres et al., 1984).

2.1.2 Diversos métodos para el pronóstico del rendimiento en caña.

Para la predicción del rendimiento antes de la zafra existen muchos métodos pero con un mayor o menor grado de empirismo (Fernández 2004). Shih(1983) propone el uso de la evapotranspiración por tener este parámetro una alta correlación con el rendimiento. También plantea que a partir del rendimiento se puede calcular la evapotranspiración (ET) y presenta formulas para ambas operaciones.

Pinna et al(1983) establecen también un procedimiento para la estimación del rendimiento a partir de la (ET) que relaciona la evapotranspiración real (etr) con la (Eo) que es evaporación del tanque evaporímetro clase A.

(Rodríguez 1983) aplica el sistema integrado de producción (COPI).donde une los factores climáticos del suelo ciclo de desarrollo y características varietales para mediante evaluaciones mensuales de estas variedades poder ir analizando las afectaciones en la producciones de materias frescas de formas acumuladas e ir tomando decisiones además de poder calcular el desarrollo del cultivo a partir de una fórmula establecida con anterioridad por otros autores.

Srinivasan (1983) desarrolla una ecuación de regresión múltiple a partir de la humedad de la vaina de la hoja, la edad de cosecha y factores climáticos que permite pronosticar el rendimiento de azúcar comercial en las condiciones de Coimbatore India. Fernández (2004) usa como variable dependiente el rendimiento agrícola y como variables independientes parámetros de cosechas así como las lluvias registradas de enero a abril, julio y septiembre y las totales

con las cuales obtuvo ecuaciones de regresión lineal múltiples en dos localidades de la Habana Cuba.

Dillewijn (1951) expresa que el entrenudo constituye una unidad separada cuya longitud está determinada por los factores externos (clima, suelo, labores agrotécnica, incidencia de plagas y enfermedades, daños mecánicos por implementos agrícolas, entre otros), así como por los factores internos: resistencia genética propia de la variedad hacia los factores externos. El tamaño de los entrenudos asegura el autor puede variar entre 5 y 30 cm. de longitud en dependencia de los factores internos y externos. Este mismo autor explica que la caña en condiciones ambientales favorables tiende a mostrar una curva acampanada en el crecimiento de sus entrenudos, la cual va perdiendo esta forma en la medida que las condiciones se van haciendo más desfavorables.

González et al., (2009) a partir de un estudio realizado en la UBPC "El Novillo" en Pinar del Río, explica que además del clima la producción en los agro ecosistemas cañeros está limitada por la baja población de las áreas, uso intensivo de los suelos, predominio del monocultivo, manejo agronómico deficiente, inadecuada composición de variedades y cepas, ausencia de rotación de cultivos, construcción de caminos, guardarrayas y carreteras sin una concepción agroecológica, no aplicación de abonos orgánicos, baja diversificación de las producciones, deficiencia en el mantenimiento de los sistemas de los canales para el drenaje, insuficiente utilización de la tracción animal, necesidad de capacitación general y especializada, inestabilidad laboral del personal, incluido los directivos, dificultades en los recursos materiales en general, bajo nivel de desarrollo del autoconsumo, falta de estimulación y sentido de pertenencia, la transportación hacia la unidad tiene problemas por dificultades con los equipos y los insumos, lo que afecta en el cumplimiento de la jornada laboral y el aprovechamiento de la misma, la alimentación de los trabajadores y el autoabastecimiento familiar no resultan suficientes. Todo esto, continúan los autores debido a que no hay continuidad de la tradición agrícola y cañera en la familia e inasistencia de una política de reserva de cuadros.

2.1.3 Influencia de los factores externos sobre la morfo fisiología de la caña.

El conjunto de factores externos constituyen el ambiente en que se desarrolla la planta y que forman parte de su agro ecosistema. Resulta complejo el estudio de un factor separado de los demás pues su relación con los demás es holocenótica (interactuante – interdependiente) donde la escasez de un elemento afecta los requerimientos de otro. Por otra parte cada factor presenta una proporción mínima y máxima en que resultan beneficiosos para su acción sobre la planta y la acción de otros factores, fuera de ese rango establecido el agente constituye un factor limitante. A este rango también se le llama límite de tolerancia para la planta y tiene una base genética (Torres et al., 1984).

Entre más amplitud tenga el límite de tolerancia en un factor dado mayor resistencia a ese agente tendrá esa variedad de planta (Torres *et al.*, 1984; Dillewijn, 1951). En el cultivo de la caña de azúcar el ambiente tiene una alta contribución, seguido por los genotipos y por último la I.GxA (Quemé *et al.*, 2005 y 2007).

Dillewijn (1951) asegura que el crecimiento en los órganos de la caña de azúcar es basípeta y se produce siguiendo el orden: hoja, vaina de la hoja y entrenudos, formando una unidad estructural en cada canuto, de ahí que la acción de los factores externos se explica en el comportamiento proporcional del crecimiento de los órganos de forma integrada.

Un ejemplo de lo anterior lo explica Dillewijn (1951), cuando en una hoja donde el crecimiento ocurre de forma simétrica, sin diferencias entre las vainas y los limbos, existe una elongación uniforme que se prolonga alrededor de 8 cm. de largo. Así resulta que se conducen solo los órganos y progresan sincrónicamente. Esto se debe, asegura el autor, a que como están muy apretados entre sí, cualquier diferencia de crecimiento puede deformar, rizar o doblar los más tiernos. Lo cual ocurre, continúa explicando, cuando el crecimiento uniforme es perturbado por agentes externos, tales como: podredumbre del cogollo y condiciones de extrema sequía, lo que puede provocar deformaciones características, como el llamado "Pokkan boeng" mecánico o cogollo retorcido. El entrenudo -1(última hoja formada), concluye el autor, en un inicio su crecimiento es simétrico pero al hacerse más viejo crece menos que la hoja.

Los factores del clima han sido ampliamente estudiados por diversos autores desde hace mucho incluso se plantea como debería ser el clima ideal para la caña de azúcar.

González (1976) y Blume (1983) sugieren como clima ideal para la caña de azúcar un verano largo y caliente, con lluvias adecuadas durante el periodo de crecimiento y un clima seco, soleado y frío en la época de maduración y cosecha.

Un rendimiento alto por ha cosechada, es el resultado de la producción de gran cantidad de biomasa por causa de altas temperaturas y precipitaciones. Sin embargo estas condiciones climáticas no son favorables para un alto contenido en sacarosa donde se requieren temperaturas y precipitaciones relativamente bajas durante el periodo de maduración. Es por eso que muchos países o regiones con un alto rendimiento en caña por ha cosechada no lideran en contenido de sacarosa (Blume, 1983).

Influencia de la luz en el desarrollo de la caña.

Dillewijn (1951) explica que la luz influye por su intensidad y duración, por lo que está considerado este, como uno de los factores más importantes del clima para el desarrollo de la caña, principalmente por su relación con las sustancias reguladoras del crecimiento y con la actividad fotosintética. A menos luz aumenta la producción de auxinas y disminuye la producción de sustancias orgánicas a partir de la fotosíntesis. González (1976) considera a la luz como un factor de gran importancia para la producción de azúcar y el crecimiento, por estar relacionada con la actividad fotosintética.

Humbert (1965) explica que la luz solar es la causa fundamental de las diferencias en el rendimiento, mucho más, que por el efecto de las temperaturas. Pinna *et al.* (1983) explican que la eficiencia en el aprovechamiento de la energía solar depende del tipo de ciclo del carbono que tiene la planta y de las temperaturas: en ambientes calurosos las plantas C4 son más eficientes que las C3, lo contrario ocurre en ambientes fríos. En ambientes calurosos las C4 pueden fotosintetizar 0.040 gm² diariamente (Pinna *et al.*, 1983).

Influencia de las temperaturas en el desarrollo de la caña.

Este factor está considerado como el que sigue en importancia a la luz. Las altas temperaturas favorecen, hasta un máximo de 30°C, el ahijamiento y el

crecimiento de la caña (Yan y Tinker, 2006). González (1976) explica que mientras más alta es la temperatura, tanto de día como de noche, mayor es el crecimiento, estableciendo los límites de temperatura entre 21 y 32 °C, siendo la óptima para el crecimiento 29°C. Por otro lado asegura que la temperatura media óptima puede oscilar entre 25 y 26.5 °C.

Blume (1983) plantea que el ciclo vegetativo de la caña está controlado por las temperaturas, pues a menor temperaturas el ciclo se reduce hasta 9 meses, mientras que a mayor temperatura puede durar hasta 36 meses en países tropicales como Javai.

Requerimientos de agua en el desarrollo de la caña.

Reinoso (1862) consideró que la caña responde mejor a los requerimientos de humedad que a la fertilización. Dillewijn (1951) coincide que aún sin aplicar fertilizantes el número de tallos. ha⁻¹ y la elongación de estos aumenta con la aplicación de agua, por lo que el crecimiento de la caña está regido principalmente por la cantidad y distribución de las precipitaciones (Cabrera y Hernández, 2009).

Clements y Kubota (1940) encontraron una alta correlación entre las lluvias y la elongación del tallo, así como entre la humedad del suelo y la elongación de la caña. La influencia de la humedad sobre la elongación de la caña es doble: elimina la diferencia entre el crecimiento de día y de noche y altera la forma del gran periodo de crecimiento (Dillewijn, 1951).

Wadsworth (1934, citado por Dillewijn, 1951) sugiere que al contrario de lo que se conoce de la mayoría de las plantas, la caña puede contar con una asombrosa capacidad de absorción de humedad por sus partes aéreas así como conducir esta humedad a las raíces y descargarla en el suelo por medio de estas, aunque la mayor parte de la humedad es absorbida por las raíces.

Se dice que el nivel de la fotosíntesis depende menos del contenido de humedad pues se ha demostrado que cuando una planta está por debajo del punto de marchites continúa produciendo azúcar aunque en menor cantidad que en condiciones óptimas de humedad. Torres et al., (1984) también explican que la actividad fisiológica de las plantas está determinada en gran medida por el balance de agua almacenada en el suelo, la contenida en la planta y la pérdida por evapotranspiración. (Cabrera y Hernández, 2009).

La planta de caña consume entre 250 y 300 Kg. de agua por cada Kg. de materia seca que produce por lo que este elemento es limitante en el crecimiento y sus funciones fisiológicas en general, tales como, la fotosíntesis, la respiración, absorción de nutrientes, circulación de sustancias elaboradas e hidrólisis de macromoléculas, concluyen Torres et al. (1984).

Lima et al. (2004) plantean que el desequilibrio hídrico perjudica los sistemas de producción vegetal. En la caña se produce temporalmente este fenómeno a fines de octubre y finales de mayo, en la mayor parte del territorio cubano, explica finalmente el autor.

King (1968) indica que la necesidad de agua para una cosecha de 100 t. ha⁻¹ sería de 1250- 1500 mm y que para mantener el crecimiento máximo del cultivo nunca debe permitirse que la humedad del suelo se aproxime, en la zona de la raíz, al punto de marchitamiento. Si se produce el frenado del crecimiento debido a la falta de humedad siempre transcurre algún tiempo, después de restablecida esta, antes de reanudarse el mismo (King, 1968).

González (1976) expresa que la correlación entre la precipitación pluvial en la zona que no tiene riego y el crecimiento, es un factor determinante de la producción. Una precipitación anual de 1500 a 1700 mm es suficiente para la caña y debe garantizar entre el 85 y el 90 % de la capacidad de retención de humedad del suelo.

Según Viqueira et al. (1983) cuando hay falta de humedad ocurren: cambios en el metabolismo de la planta, decrece la asimilación de CO₂, la capacidad de síntesis disminuye, baja el contenido de ácido Ribonucleico (ARN) y las enzimas como la nitrato reductasa disminuye su actividad. También disminuye la estabilidad del complejo lípido- proteína- clorofila de los cloroplastos y se inhibe la síntesis de proteínas, de clorofila A y B, concluye el autor.

Naidu et al. (1983) estudiaron el papel de los estomas en el mantenimiento de balance hídrico en la caña de azúcar llegando a la conclusión que su papel es muy importante sobre todo en variedades donde la resistencia de los estomas a la difusión del vapor de agua hacia el exterior de la planta es mayor, y que ese puede ser un indicador de selección de variedades resistentes a la sequía.

Pinna et al. (1983) menciona un grupo de autores que llegan a la conclusión que existe una estrecha relación entre la producción de caña y el agua usada o

evapotranspirada y que la caña produce 0.009 Kg.m³ de agua-1 y 0.6-1.0 Kg de sacarosa-1 .m³ de agua.

Acción interrelacionada de las principales variables climáticas sobre la caña.

Para entender la relación e interdependencia entre los factores del clima al actuar sobre los cultivos y dentro de ellos la caña de azúcar podemos partir del enunciamiento por parte de Liebig (1840, citado por Torres et al., 1984) de las leyes del mínimo y del máximo pues para cada factor existe un rango donde se establece un mínimo y un máximo en que su acción es favorable para las plantas tanto directa como indirectamente (Torres et al., 1984). Allee y Park (1939, citado por Dillewijn, 1951) introducen el término holocenótico para expresar las relaciones dinámicas entre los factores ambientales.

La energía radiante del sol y la temperatura prevaleciente en el área, proveen de energía a la planta. Es el agua la que hace posible que la planta se apropie de este nivel de energía. El suelo satisface a la planta de anclaje, agua común y los nutrientes que necesita. De esta manera la planta misma puede integrar todos los factores y los va obteniendo poco a poco mientras crece (Srinivasan, 1983).

Pinna et al. (1983) plantean que muchos autores coinciden en aseverar que el rendimiento de la caña tiene una alta dependencia de los factores climáticos interrelacionados entre sí y de las condiciones del suelo.

Pacheco et al. (1983) estudiaron la interrelación de la evapotranspiración con los factores climáticos: temperatura, humedad y luz. Dillewijn (1951) en este sentido refiere que existe correlación alta y positiva entre estos tres factores y la evapotranspiración de la caña hasta un límite previamente establecido.

También la Luz, temperatura y la humedad se correlacionan positiva y significativamente con algunos procesos fisiológicos como el crecimiento y la absorción de nutrientes (Dillewijn, 1951).

Régimen pluviométrico, sequía y huracanes.

La lluvia afecta a grandes extensiones, a diferencia del riego que en un momento dado solo incide sobre una parte del área, ésta se puede definir por su cuantía (volumen total caído desde el comienzo hasta el final de la lluvia, expresado en mm), duración (tiempo transcurrido desde el comienzo al final de la lluvia) e intensidad (relación cuantía – duración). El comportamiento regular

durante un período de tiempo de las lluvias es lo que se conoce como régimen pluviométrico (Viqueira y Lamelas 1999).

La sequía en su acepción más común se define como: “Período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un gran desequilibrio hidrológico” (Centella, 2002). Es muy conocido que la sequía como fenómeno de desarrollo gradual, comienza y termina de manera no bien definida y su impacto es sumamente variado, razones por la cual obtener y recomendar una definición única sobre la base de los distintos criterios existentes es una tarea inútil.

Existen tantas definiciones de sequía, como objetivos hay para definir las (agrícola, hidrológica, meteorológica, etc.), sin embargo un denominador común en todas las definiciones es la escasez de precipitaciones con respecto a un comportamiento normal (valor promedio histórico obtenido a partir de una serie de longitud determinada). Si se considerase este valor normal como inalterable en el tiempo, se estaría eludiendo la constante modificación del clima, por lo que también es necesario tener en cuenta que la lámina de precipitación de referencia debiera ser dinámica y reflejar el clima en evolución. Al respecto Pérez (2004), puntualiza que sequía es el déficit de agua, mientras sequía agrícola es cuando la humedad del suelo es tan baja que limita el crecimiento y la producción de los cultivos, argumenta además que puede no haber sequía y existir sequía agrícola, porque la reserva de humedad del suelo depende del tipo y del cultivo, más que de las lluvias.

Los procesos que conducen a la sequía son sumamente complejos y sus orígenes más inmediatos pueden estar vinculados a la escasez de humedad atmosférica, la insuficiencia de sistemas generadores de lluvia o la persistencia de una fuerte subsidencia o bien la combinación de algunos de estos factores, cuyas causales deben ser estudiadas en el contexto de la circulación general de la atmósfera (Lecha *et al.*, 1994). Según estos autores se puede determinar un Índice de Sequía (Y), que represente y determine las zonas y los períodos en los cuáles es necesario al menos suministrar agua a los cultivos para que no

mueran a partir de dos factores importantes del clima, la lluvia y la temperatura, este índice estaría dado por la expresión:

$$Y = \frac{12 * H}{T + 10}$$

Donde: H: Lluvia promedio mensual en mm

T: Temperatura promedio mensual en °C

Si el índice está entre 5 -10 indica períodos secos y zonas áridas por lo que el suministro de agua a los cultivos se hace indispensable.

Pérez et al (2004) explica que en los últimos 30 años se han registrados diferentes anomalías climáticas donde se destacan la celeridad de los eventos de la naturaleza extrema y dentro de estos la sequía y los huracanes, los que no solo duplicaron su frecuencia, sino también que registraron un aumento considerable en el número de casos extremos.

Se define sequía como un período de condiciones meteorológicas anormalmente seca, suficientemente prolongada como para que la falta de precipitaciones cause un desequilibrio grave (PMA e IPF 2001). Hay sequía agrícola cuando la cantidad de precipitaciones y su distribución, las reservas de agua del suelo y las pérdidas debido a la evaporación se combinan para causar disminuciones considerables del rendimiento de los cultivos y del ganado (Rodríguez *et al.*, 2008 y Echemendía *et al.*, 2009).

Acosta (2008) aclara que en Cuba las mayores afectaciones por huracanes en la caña se deben a los vientos, cuyos daños son mayores en los suelos rojos y arenosos que en los arcillosos pues ofrecen menos anclaje al cultivo. Las cepas que más se afectan, explica el autor son las de ciclo largo (fríos, primaveras quedadas y retoños quedados). En las primaveras quedadas y fríos los daños se producen en las raíces, plantones arrancados y cañas partidas, así como que estas son las cepas más afectadas en Cuba, por su parte en los retoños quedados se atribuyen más bien a deficiencias en la recogida de la caña acamada por las cosechadoras. En las cepas restantes concluye el autor hay una compensación entre las cañas partidas y en el incremento agrícola de los renuevos en los meses de marzo y abril, causa importante de las pérdidas en la eficiencia industrial por las afectaciones de las cañas partidas, hijos aéreos y renuevos.

Indicadores morfo-fisiológicos de la tolerancia a la sequía.

El estrés por sequía constituye uno de los factores abióticos que mayores daños provoca en la productividad de muchos cultivos, por lo que resulta de importancia para el mejorador poder contar con métodos de rápidos, no destructivos y tempranos, que permitan incrementar la eficiencia de la selección (Martínez *et al.* 2000).

Para evaluar las variedades que puedan ofrecer buenos rendimientos bajo condiciones adversas, dadas sus características de tolerancia o simplemente para planificar la siembra, se han desarrollado varias pruebas. La determinación de la pérdida de agua en hojas separadas es una de ellas, ya que el contenido relativo de agua (CRA) bajo un estrés dado, constituye una medida de la tolerancia de las plantas a la sequía. Este método se basa en las pérdidas ocurridas por transpiración en cursos largos, bajo condiciones de sequía artificial (Slávik, 1974). Esta propiedad denominada capacidad hidrorredentora ayuda a las plantas a contrarrestar los efectos de la deshidratación, permitiendo determinar los límites de la variabilidad adaptativa y con ello establecer el grado de resistencia de las plantas a la sequía (Kozhusko, 1982).

Cuando la sequía es severa se produce una intensa deshidratación de los tejidos, comienzan a fallar los mecanismos de retención y se debilita la capacidad de retener agua. Las variedades resistentes se caracterizan por el mantenimiento durante un tiempo más prolongado de actuación de estos mecanismos (Viqueira *et al.* 1986).

Estudios de Gómez *et al.* (1990) para valorar la eficiencia del CRA en caña de azúcar a diferentes tiempos de desecación, concluyeron que los mejores ajustes para cada variedad se obtienen con el modelo logarítmico y a partir de las pendientes y los términos independientes del modelo se pueden agrupar las variedades en dependencia de su grado de resistencia a la sequía, por lo que el método puede constituir un criterio útil para la evaluación de la resistencia de las variedades. A conclusiones similares llegaron Viqueira *et al.*, (1986).

El periodo de crecimiento y el ambiente en la caña de azúcar.

El periodo de crecimiento en la caña de azúcar es la época agroclimática óptima para el crecimiento de las plantas. En Cuba, por ser un país tropical, la lluvia es el factor determinante en la ubicación y duración de este periodo,

debido a esto se enmarca en la época lluviosa comprendida en los meses de mayo a septiembre (PMA e IPF, 2005 y Sáens, 2004). La lluvia se vuelve cada vez más un factor limitante para el desarrollo de la caña que en Cuba se establece en seco en la mayoría de las áreas, su distribución en el transcurso del año es desigual, alternándose períodos secos y lluviosos y su variación interanual es sumamente alta por el contrario la luz y la temperatura varían muy poco y rara vez limitan la producción (Sáens, 2004)

Existe una metodología propuesta por Herrera (2001, citado por Sáens, 2004) que clasifica la amplitud del período de crecimiento en Buena (120 días), Regular (80-119 días) y Mala (80 o menos días) que permite evaluar a partir de un criterio hídrico la restricción del rendimiento a partir de la amplitud del período de crecimiento, el cual puede ser, por tanto, un indicador del potencial productivo de las zonas cañeras al coincidir con la época que determina el rendimiento de la caña. Por otra parte Sáens (2004), explica que el crecimiento tanto en caña planta como en los retoños en los meses de enero hasta abril es lento como resultado de las condiciones climáticas (bajas precipitaciones y temperaturas), no es prácticamente hasta junio en que las lluvias marcan un cambio sustancial en el período de crecimiento. La duración del período de crecimiento, según el autor, se reduce en condiciones climáticas adversas de 120 a 80 días de duración y esto repercutirá indudablemente en el rendimiento.

2.1.2 Estado actual del conocimiento del problema de investigación.

Factores limitantes de la producción cañera en Cuba.

González *et al.* (2009) en la UBPC "El novillo" en Pinar del Río determinó que los factores que más limitan la producción en el agro ecosistema fueron: baja población de las áreas, uso intensivo de los suelos y predominio del monocultivo (Barbosa, 2007), manejo agronómico deficiente, inadecuada composición de variedades y cepas, ausencia de rotación de cultivos, construcción de caminos, guardarrayas y carreteras sin una concepción agroecológica, no aplicación de abonos orgánicos, baja diversificación de las producciones, deficiencias en el mantenimiento de los sistemas de los canales para el drenaje, insuficiente utilización de la tracción animal necesidad de capacitación general y especializada, inestabilidad laboral del personal, incluido directivos dificultades en los recursos materiales en general, bajo nivel de desarrollo del autoconsumo, falta de estimulación y sentido de pertenencia,

la transportación hacia la unidad tiene problemas por dificultades con los equipos y los insumos, lo que afecta el cumplimiento de la jornada laboral y el aprovechamiento de la misma, la alimentación de los trabajadores y el autoabastecimiento familiar no resulta suficiente. Todo esto debido a que no hay continuidad de la tradición agrícola y cañera en las familias e inexistencia de una política de reserva de cuadros (Barbosa, 2007 y González et al., 2007). Las malezas siguen constituyendo el mayor problema en los cultivos de interés económico para alcanzar altos rendimientos agrícolas (Domingos y Magälhaes, 2005), por cada quince días de competencia durante el período crítico se pierde 0.75 a 1 tonelada de azúcar por hectárea-1 de competencia libre o sin control (Toala et al., 2007). Las pérdidas de cosecha que ocasionan generalmente entre el 33 y 66 por ciento, pudiendo ser mucho mayores y hasta totales si la competencia es permanente. En el cultivo de la caña de azúcar se pierde 35% de la cosecha total mundial, debido al control insuficiente de las malezas. El control de las malas hierbas sólo es efectivo si se conocen las especies presentes, se emplea medidas preventivas, y se combina el control manual, mecánico y químico con el empleo de prácticas agronómicas conocidas (Toala et al., 2007).

Álvarez (2004) explica que varias investigaciones demuestran que la hierba no controlada a tiempo, afecta el rendimiento agrícola de la caña entre 14 y 75 % de la producción posible y agrega que, bajo condiciones de producción las afectaciones son más severas porque se agrega el problema de la falta de población. Además, puntualiza que las mayores pérdidas ocurren en los primeros 120 días del desarrollo de la plantación, pudiendo alcanzar más del 40 % en los primeros 30 días de competencia (Sánchez, 2005).

En la caña de azúcar, las plagas producen pérdidas de consideración en la producción azucarera mundial. Las enfermedades se han ido incrementando y actualmente existen unas 130 informadas en los países cañeros, producidas por diferentes microorganismos patógenos, trastornos ambientales, plantas parásitas y otras causas (Lara, 2005). En Cuba, se han detectado 57 enfermedades, siendo las más importantes el carbón, la roya, escaldadura foliar y el raquitismo de los retoños. Por otra parte, los barrenadores encabezan la lista de plagas de la caña para el continente americano. En Cuba, están informadas 103 especies de insectos perjudiciales para este cultivo, siendo los

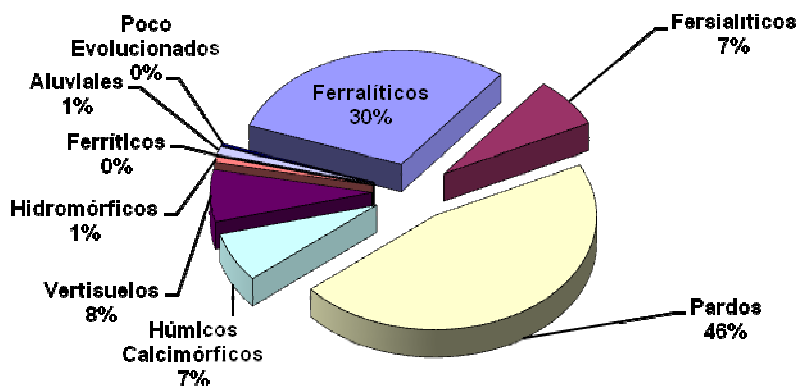
órdenes Lepidoptera, Hemiptera y Coleoptera los más sobresalientes, aunque los roedores están provocando daños de consideración en algunas zonas del país. El insecto plaga de mayor importancia es el barrenador *Diatraea saccharalis* Fab., el cual ha provocado pérdidas agrícolas e industriales entre 90 000 y 120 000 toneladas de azúcar (Acevedo *et al.*, 2009).

Ortega, (2004); Arzola, (2007) y Medina *et al.* (2009) explican que la aplicación de dosis crecientes de fertilizante nitrogenado a la caña de azúcar provoca un mayor potencial bioético, mayores poblaciones y un acortamiento del ciclo biológico de *Sipha flava* Forbes. La fertilización potásica, explica el autor, alarga el ciclo biológico, disminuye el potencial bioético y hace que disminuyan las poblaciones de *Sipha flava* Forbes, en caña de azúcar.

La caña de azúcar en la provincia de Cienfuegos.

La provincia de Cienfuegos se sitúa en el centro sur de Cuba, cultiva la caña en siete municipios, únicamente no se extiende el cultivo en el municipio montañoso de Cumanayagua. Es de resaltar que los primeros trabajos de mejoramiento de la caña de azúcar en Cuba, se realizaron en esta provincia, cuando en 1902 se condujeron un grupo de cruzamientos en el Jardín Botánico de Harvard, hoy Jardín Botánico de Cienfuegos, en el antiguo “Central Soledad”. Posee cinco Empresas Azucareras, los rendimientos agrícola e industrial promedio del período 1977 - 2007 han sido de 43,7 t caña. ha⁻¹ y 10,98 % respectivamente (García, 2004).

Los principales suelos (Arzola y Hernández, 2001), se distribuyen fundamentalmente en los grupos Pardos (46,2%) y Ferralíticos (30%), como se puede apreciar en la siguiente figura:



Distribución de los grupos de suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en la provincia Cienfuegos.

La Empresa Azucarera “Elpidio Gómez” dedica al cultivo de la caña de azúcar 6711.9 ha, mantiene en explotación un grupo de 30 variedades, con exceso del área ocupada por C86-12 de excelentes cualidades, pero que requiere de un trabajo de reubicación de sus áreas para disminuirla a niveles menos vulnerables. La segunda variedad en importancia es Co997 y después se mantiene un grupo en desarrollo, que requiere de un grupo de estudios para precisar sus nichos adecuados (SERVAS, 2008).

De acuerdo con los estudios de Arcia *et al.*, (1995), en este macizo cañero se distinguen cinco zonas con diferencias marcadas en cuanto a su geología, suelos, clima y vegetación, que han marcado diferencias en los rendimientos, lo que sugiere diferencias entre los factores limitantes del rendimiento de cada una.

Factores limitantes del rendimiento.

El cultivo de la caña de azúcar en el mundo se desarrolla sobre una gama muy variada de condiciones edáficas debido a grandes diferencias o cambios de la cubierta vegetal de los suelos, los cuáles son afectados en un sentido u otro de acuerdo con la intensificación del cultivo y las prácticas culturales. Ha quedado demostrado que la caña de azúcar, reacciona sensiblemente con variaciones de la productividad y estado de desarrollo, bajo diferentes condiciones de suelo (Pineda, 2002).

En las plantaciones cañeras de Cuba se considera un factor limitante del suelo esencialmente, al que reduce el crecimiento y la productividad o conduce a su muerte (Shishov, 1983). Además del déficit de los elementos nutritivos y las propiedades no favorables alcalinas o ácidas, pueden encontrarse otros factores como poca profundidad del perfil del suelo, contenido de piedras, textura arenosa, formación de concreciones y laterización, agrietamiento y endurecimiento de suelos montmorilloníticos, salinización, régimen de lluvia no favorable, deficitario y muy variable, desarrollo de hidromorfismo, etc. (Pineda, 2002). Si bien puede ser extensa la consideración del número total de ellos, no todos poseen la misma magnitud económica adversa al cultivo en cuestión, de ahí que solo deberán considerarse aquellos que afecten seriamente la productividad (Roldós, 1986).

En muchos casos, la corrección de estos factores limitantes, se realiza adicionando el elemento deficitario ó modificando favorablemente el factor, lo que conlleva en ambos casos al desembolso de recursos financieros y al encarecimiento de los costos, entrando a jugar un papel importante la disponibilidad de cultivares con cierto grado de tolerancia y con ello el mejoramiento genético (García, 2004).

Los vaivenes del comercio de la azúcar y sus precios en el mercado, han ejercido un fuerte impacto en la economía y la sociedad cubana en los últimos años (Singles, 2005). ante tal coyuntura el ministerio del azúcar se ha visto precisado a desarrollar un profundo proceso de transformaciones (Tarea Álvaro Reinoso), todos encaminados a elevar la eficiencia productiva donde el alza de los rendimientos y la reducción de los costos juegan un papel fundamental (Aday, 2007).

Las relaciones interdependientes e interactuantes (holocenóticas) entre los factores de los agro ecosistemas productivos tienden a producir variaciones del rendimiento del cultivo (Torres et al; 1984). esto sugiere que un cultivo en dos ambientes determinados puede producir una respuesta más o menos diferente, en dependencia de la variación de los factores externos.

Dentro de los factores ambientales el hombre es un componente esencial que puede modificar la respuesta fenotípica en dependencia de las estrategias agronómicas que imponga a las plantas de cultivo (Torres *et al*; 1984 y Vega *et al*; 2004), y que junto con los factores climáticos y el suelo forman un sistema

integrado que influye en gran medida en su desarrollo (Srinivasan, 1983, Blume, 1983 y Toledo *et al*; 2008).

Muchos autores coinciden que la caña de azúcar tiene una alta dependencia de variaciones ambientales de los agroecosistemas (Pinna *et al*; 1983 y Marcano *et al*; 2005). Julien *et al* (1983) aseguran que el 15% de las variaciones fenotípicas de la caña es genética y el resto debido al ambiente. El estudio de los factores que inciden sobre el rendimiento de la caña de azúcar en los agroecosistemas y el establecimiento de estrategias agronómicas y varietales en condiciones de producción es práctica común a través del tiempo en Cuba y el mundo.

Mansour (1983) demuestra en Irak que el rendimiento potencial de la caña en su país es del orden de las 254 t. ha⁻¹.años⁻¹, sin embargo el real es de 58,4 t. ha⁻¹.años⁻¹, como promedio, aclarando que esta reducción se debe a un 18% del clima, un 37,5% al suelo, el 17% al factor humano y el resto 27,5% es genética.

2.1.3 Carencia que se quiere llenar con la investigación.

Factores limitativos de la sostenibilidad de los agroecosistemas del municipio Aguada de pasajeros

Moreno (2006) explica que en Aguada de Pasajeros los factores limitativos de la sostenibilidad de los agroecosistemas son: Fuerte decrecimiento demográfico en lugares habitados rurales, débil atención al hábitat y los servicios sociales en las zonas rurales, déficit de personal técnico calificado, inestabilidad de la fuerza laboral, insuficiente atención al hombre, muy baja densidad demográfica en el conjunto de agroecosistemas, políticas obsoletas con relación al uso y tenencia de la tierra, bajos niveles de producción y rendimientos, ausencia de uso en técnicas agroecológicas, insuficiente utilización de alternativas para mejorar la fertilidad de los suelos, insuficiente aprovechamiento de la superficie agrícola, débil aprovechamiento del potencial hídrico, falta de sistemas de riego, insumos e inversiones insuficientes para las producciones de alimentos, insuficientes ingresos en los trabajadores del sector.

El agroecosistema de la C.P.A Revolución de Octubre de la UEB Antonio Sánchez con 402.2 ha dedicadas a la caña muestra una marcada reducción de los rendimientos en los últimos años. La evaluación de los factores

agroclimáticos de dicho agro ecosistema cañera puede contribuir a disponer de más elementos para establecer estrategias agronómicas y varietales efectivas.

2.2 Materiales y métodos.

El trabajo se realizó en áreas de la Cooperativa de Producción Agropecuaria Revolución de octubre, de la Empresa Azucarera Diversificada Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.

2.2.1 Caracterización de las condiciones agroclimáticas del agroecosistema cañero.

Para la caracterización del agro ecosistema se usó la metodología descrita por Socorro et al (2005), quienes proponen la evaluación de las siguientes variables:

- I. Ubicación.
- II. Limites fisiográficos
- III. Características de los componentes fundamentales de los agroecosistemas (Suelo, Agua, Cultivos y Animales)
 - a) Suelos: para la descripción del suelo se uso el cartograma de la UEB Antonio Sánchez, donde se incluyó la fórmula donde se plasman las propiedades físicas y químicas de las mismas.
 - b) Agua: se efectuó caracterización de las principales fuentes de agua dentro del agroecosistema y su aprovechamiento dentro del sistema.
 - c) Clima: se tomaron los datos en 8 años de la Estación Meteorológica número 78335 de Aguada de las siguientes variables climáticas:
 - ✓ Temperatura media anual (C°)
 - ✓ Temperatura máxima media anual (C°)
 - ✓ Temperatura mínima media anual (C°)
 - ✓ Humedad relativa media anual (%)
 - ✓ Precipitaciones totales anuales (mm)
 - ✓ Precipitaciones totales en el período lluvioso (mm)
 - ✓ Precipitaciones en el período menos lluvioso (mm)

Se determinó la incidencia de sequía en los años evaluados se determina en cada uno el porcentaje de precipitaciones normales (PPN) propuesto por Tecnociencia (2005) donde se calcifica la sequía atendiendo a los parámetros establecidos en la siguiente tabla:

Categoría de sequía	Rango de valores porcentuales
Ligera	- 20.0% a -30%
Moderada	-30.1% a -40%
Fuerte	-40.1% a -49%
Aguda	-49.1% a -59%
Intensa	-59%<

Se calcularán, además las toneladas de caña por milímetros de precipitación (t.mm^{-1}), según Ramírez: (2009) en el agroecosistema en estudio, para valorar la influencia relativa de las lluvias en la producción de caña.

IV. Sistema de explotación agrícola (Recursos externos y recursos locales).

También se empleó la metodología descrita por Ramírez;(2009) quien propone la evaluación en 8 años de los datos de las siguientes tipos de variables:

1- Variables relacionadas con la composición de cepa:

(AMT) Área molible total (ha).

(AMP) Área molible de primavera (ha).

(AMF) Área molible de frío (ha).

(AMR) Área molible de retoño (ha).

(AMRQ) Área molible de retoño quedado (ha).

2- Variables relacionadas con la composición varietal:

(ACo997) Área de la variedad Co997 (ha).

(AC8612) Área de la variedad C8612 (ha).

(AC8656) Área de la variedad C8656 (ha).

(AC89147) Área de la variedad C89147 (ha).

(AC323-68) Área de la variedad C323-68 (ha).

(AC58102) Área de la variedad C58102 (ha).

3- Variables relacionadas con el manejo agrícola:

(FCP) Área fertilizada con fósforo (ha).

(FCK) Área fertilizada con potasio (ha).

(FCN) Área fertilizada con nitrógeno (ha).

(AFITOMA) Área con aplicación de fitomás (ha) .

(LMT) Limpia manual total (ha).

(HT) Herbicida total (ha).

(CT) Cultivo total (ha).

(CDT) Cultivo desyerbe total (ha).

(LI) Limpia integral (ha).

Se calcularon los índices de las labores ejecutadas de la siguiente forma:

- Índice de cultivo desyerbe total ($ICDT = CDT / \text{área total}$).
- Índice de limpia manual total ($ILMT = LMT / \text{área total}$).
- Índice de herbicida total ($IHT = HT / \text{área total}$).
- Índice de fertilización con fósforo ($IFCP = FCP / \text{área total}$).
- Índice de fertilización con potasio ($IFCK = FCK / \text{área total}$).
- Índice de fertilización con nitrógeno ($IFCN = FCN / \text{área total}$).

2.2.2 Evaluación del peso de los indicadores agroclimáticos sobre el rendimiento de la caña de azúcar en el agroecosistema en estudio.

Para el análisis multivariado de las variables se trabajó la base de datos en la ayuda del paquete estadístico SPSS versión 15.0, se comprobó la distribución normal de las variables seleccionadas y se le efectuó un análisis de clasificación automática por el método de conglomerados jerárquicos que permitió agrupar las variables según la variación de los datos, lo que se expresó gráficamente en un Dendograma.

A partir de los resultados previos obtenidos en la correlación se seleccionaron las variables a incluir y se procedió al estudio factorial de componentes principales, donde se representaron con los principales estadígrafos y resultados de la reducción de datos en componentes. Para conocer la

participación de las variables en los cuatros componentes se utilizó el método de rotación Varimax, donde se seleccionaron las variables con coeficiente superior a 0.80.

Para las variables que determinaron el rendimiento en el agroecosistema se aplicó a los datos de los mismos análisis de regresión lineal múltiple por el método de pasos sucesivos donde se incluyó al rendimiento como variable dependiente.

2.3 Resultados y discusiones.

2.3.1 Caracterización de las condiciones agroclimáticas del agroecosistema cañero.

2.3.1.1 Ubicación: la CPA Revolución de Octubre. Se encuentra ubicada en la finca El Cocal perteneciente al consejo popular Libertad situada al Norte del Municipio Aguada de Pasajero.

2.3.1.2 Límites fisiográficos: por el Norte limita con la autopista nacional y la UBPC La Gloria, por el Este limita con la Empresa Agropecuaria Aguada al igual que por el Oeste además de la UBPC Victoria y por el Sur la UBPC Victoria y el asentamiento de Aguada de Pasajeros.

2.3.1.3 Características de los componentes del agroecosistema.

La CPA posee una superficie total de 936.4 ha de las cuales 424.00 ha dedicadas al cultivo de la caña, 403.6 ha dedicadas a la ganadería pecuaria, vacuno y equino, 87.00 ha se dedican a la producción de alimentos de cultivos varios, al cultivo de los forestales se dedican 12.00 ha y el resto 9.8 ha ocupan el área de caminos y asentamientos urbanos.

En la tabla 1 aparecen las principales especies de plantas que se cultivan en el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre:

Tabla. 1- Especies de cultivo que se establecen en la CPA.

Especie	Nombre científico	Área	%
Caña de azúcar	Saccharun sp híbrida	424.00	81.07
Yuca	Manihot sculenta	6.50	1.24
Plátano vianda	Musa paradisíaca	10.50	2.01
Arroz	Oryza sativa	43.50	8.32
Boniato	Ipomoea batata	6.50	1.24
Calabaza	Cucúrbita moschata Dush	6.80	1.30
Fríjol	Phaseolus vulgaris	8.90	1.70
Tomate	Lycopersicum sculentun	5.30	1.01
Albisia	Albizzia sp	12.00	2.29
Total		523.00	100.00

Como se observa predomina el cultivo de la caña de azúcar (81.07%) que por el porcentaje indica que el agroecosistema es monoprodutor de caña ya que el resto de los cultivos sumados a penas supera el 19% de las áreas sembradas.

En la tabla 2 aparecen las especies de animales que se crían en el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre:

Tabla 2 Especie de animales existentes en el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre.

Especie	Cantidad
Vacuno	186
Equinos	12
Porcino	10
Aves	55
Porcino	10
Aves	55
Total	328

Se puede observar como el componente animal forma parte de agroecosistema aunque de forma limitada con un total de 6 especies y 328 ejemplares.

Suelo: en la CPA existen del grupo ferrialitizado, tipo ferrialitizado rojo típico. Las fórmulas del suelo y sus propiedades físicas y químicas aparecen en el anexo 2.

Agua: el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre cuenta con 4 pozos artesanos de los cuales 2 están en explotación para cultivos varios. El cultivo de la caña es en seco.

Clima: a continuación haremos una descripción del comportamiento de las variables climáticas en el agroecosistema en los últimos 8 años:

Las variables meteorológicas del el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre aparecen en la tabla 4:

Tabla 4 Variables meteorológicas del el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre.

Año	Temperatura Máxima Promedio (°C)	Temperatura Mínima Promedio (°C)	Temperatura Media Promedio (°C)	Humedad Relativa Promedio (%)
2004	31.47	18.81	25.32	76.00
2005	31.35	19.23	24.56	76.08
2006	31.40	19.25	24.43	77.42
2007	31.39	19.92	24.73	77.80
2008	31.54	19.97	24.79	76.75
2009	31.16	19.36	19.74	76.50
2010	30.00	18.71	23.77	77.17
2011	31.60	19.22	20.12	77.40
media	31.24	19.30	23.43	76.89

Como se observa en el agroecosistema la temperatura máxima media es de 31.24°C, la mínima es de 19.30 °C y la media anual es de 23.43 °C. La humedad relativa promedio es del 76.89%. Estas condiciones coinciden con los rangos establecidos para el cultivo de la caña, donde se establece hasta un máximo de 30°C para el ahijamiento y el crecimiento de la caña (Yan y Tinker, 2006). También coincide con lo reportado por González (1976) quien explica que mientras más alta es la temperatura, tanto de día como de noche, mayor es el crecimiento, estableciendo los límites de temperatura entre 21 y 32 °C, siendo la óptima para el crecimiento 29°C. Por otro lado asegura que la temperatura media óptima puede oscilar entre 25 y 26.5 °C.

En la tabla 3 aparecen las precipitaciones registradas en los periodos: poco lluvioso y lluvioso:

Tabla 3 Precipitaciones en el periodo lluvioso y poco lluvioso del agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre. .

Años	PPLL*	PLL**	Total
------	-------	-------	-------

2004	228	580	808
2005	197	958.50	1155.5
2006	130	818	948
2007	438	1413	1851
2008	511	1019	1530.00
2009	80	723	803.00
2010	200	857	1057.00
2011	190	859	1049.00
Promedio Histórico	246.75	903.44	1150.19

*PPLL→ Período poco lluvioso. ** PLL→ Período lluvioso.

El promedio de las precipitaciones calculados en 8 años (Tabla 4) muestra que en agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre se registran 1150.19 mm anuales por debajo de los 1500 a 1700 que debe recibir el cultivo de la caña para su desarrollo (González, 1976) pues con ello se garantiza el 85 y el 90 % de la capacidad de retención de agua en el suelo de las cuales 246.75 mm corresponden al período poco lluvioso (octubre – abril) que representa el (21.5%) del total. Mientras que en el período lluvioso (mayo – septiembre) se registra 903.44 mm (78.5%) del total.

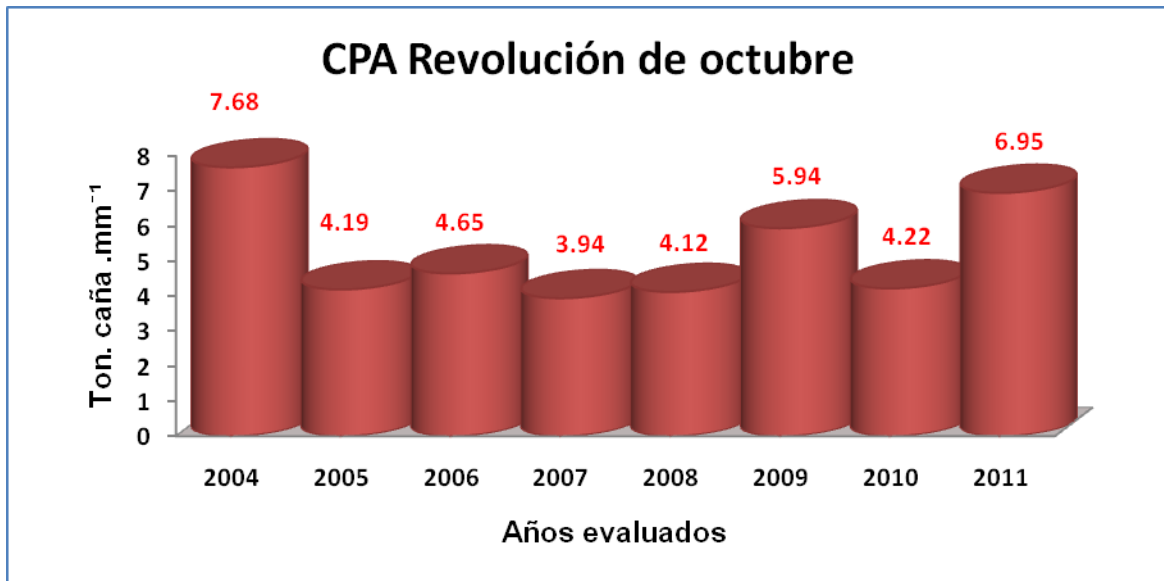


Figura 1 Toneladas de caña por mm de precipitaciones en el agroecosistema de la CPA Revolución de octubre.

Las toneladas de caña por milímetros de precipitación obtenidas en el agroecosistema (Figura 1) indica que estas oscilan entre 3.94 t.mm⁻¹ en el 2007 y 7.68 t.mm⁻¹ en el 2004 en que el rendimiento cañero del agroecosistema fue el más elevado de los últimos 8 años. Donde se observa una tendencia voluble en este indicador, lo cual está condicionado por el rendimiento obtenido y no por el área molida ni por la producción obtenida como se analizó anteriormente. Lo que corrobora lo obtenido por García (2007), Ramírez (2009) quienes encontraron determinante el factor humano y el manejo en la respuesta del cultivo de la caña en los agroecosistemas evaluados.

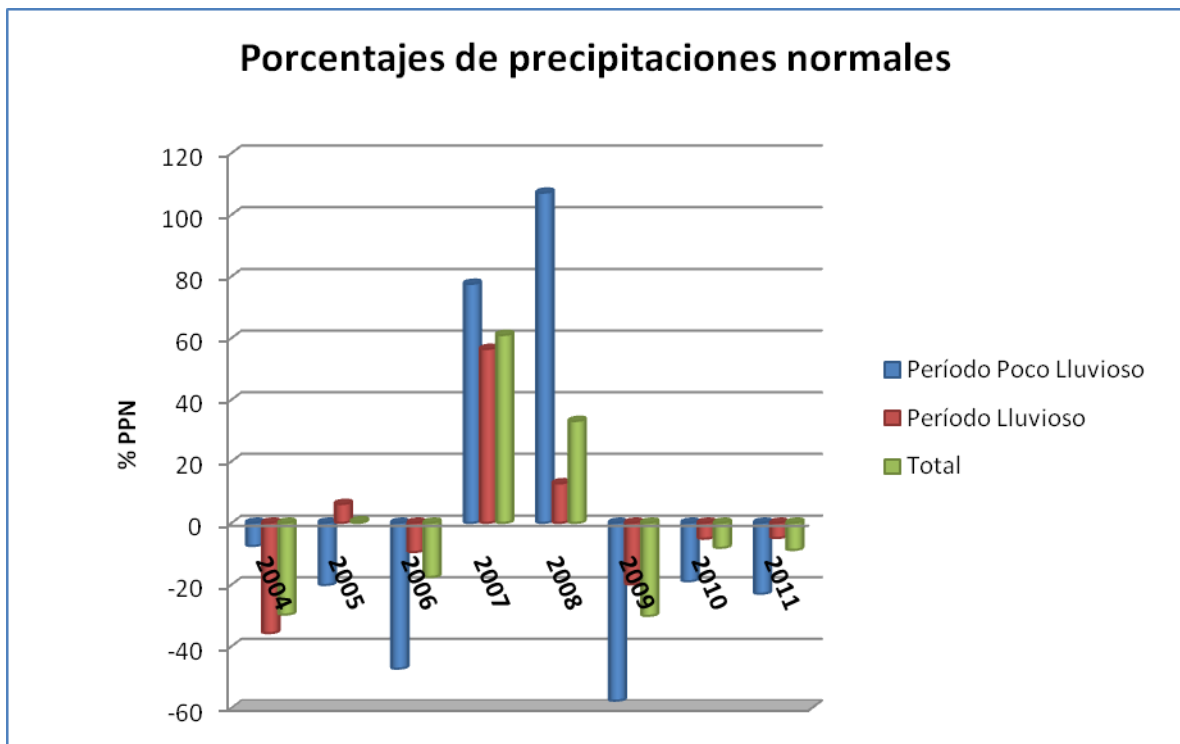


Figura 2 Porcentaje de precipitaciones normales (PPN) en el agroecosistema de la CPA Revolución de octubre.

El porcentaje de precipitaciones normales en el agroecosistema (Figura 2) muestra que en los años 2007y 2008 llovió por encima de la media histórica en los dos períodos y en el 2005 se observa bajas precipitaciones en el período poco lluvioso y ligeramente por encima en el período lluvioso. Se reportan déficits hídricos por encima del 20% en los años 2004 (-29.75%) y 2010 (-30.19%).

Sistemas de explotación agrícolas:

Las máquinas e implementos que se usan dentro del sistema de explotación agrícola aparecen en la tabla 5:

Tabla 5 Maquinaria existente en el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre.

Máquinas o implementos	Cantidad
Cosechadora de caña KTP-2M	2
Alto despeje Yum- 6m	1
Arado A-10000	1
Grada 240 lb	1
Surcador rústico	1
Tapador rústico	1
Fertilizador F- 350	1
Nodrisa de 2 toneladas	1
Mochila Matabi	12
Motobomba para el riego	2
Tractores MTZ- 80	5
Carreta PKT	16
Arado A Di- 3	1
Grada múltiple	1
Marcador subsolador	1
Asperjadora Matabi	1
Aplicador de amoníaco	1
Pipa de agua	2
Cultivador subsolador Bayamo.	1
Camión Hino sin remolque	1

Se puede percibir como existe un gran número de equipos para la explotación agrícola del sistema, que le reducen la dependencia del sistema de la renta de estos en otras entidades fuera del sistema. Predominan equipos de tracción con combustible fósil dañino para el ambiente del agroecosistema.

Los insumos como combustibles y lubricantes se compran en el exterior y están sujetos a los precios y disponibilidades del mercado. Es un agroecosistema

donde predomina el uso de químicos para el control de malezas, plagas y enfermedades. Estos químicos también son comprados fuera del sistema.

Los índices de las labores ejecutadas en los años evaluados en el agroecosistema aparecen en la tabla 6:

Tabla 6 Índices de las labores ejecutadas en los años evaluados en el agroecosistema CPA Revolución de octubre.

Variable Agronómica	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Limpia manual total	1.5*	3.84	2.09	1.65	3.03	1.91	1.81	3.36
Herbicida total	2.5	3.68	3.33	0.32	2.31	3.28	1.76	4.44
Cultivo total	3	3.57	1.94	2.46	5.1	5.56	5.56	5.29
Cultivo desyerbe total	3	3.57	1.94	1.9	4.17	4.73	4.51	4.56
Limpia integral	7	11.08	7.37	5.45	9.5	9.91	8.08	12.36
Fertilización con nitrógeno	1	0.82	1.21	0.85	0.59	0.43	0.68	0.93
Fertilización con fósforo	0.4	0	0.84	0.85	0.82	0.58	0.37	0.76
Fertilización con potasio	0.4	0.65	1.17	0.85	0.82	0.58	0.37	0.76
Índice de fertilización	0.6	0.49	1.07	0.85	0.74	0.53	0.47	0.83

*Pases por hectáreas.

Como se puede apreciar los valores más elevados de limpia integral aparecen en el 2005 11.08 limpias. ha^{-1}) y en el 2011 (12.36 limpias. ha^{-1}) y los menores en los años 2007 (5.45 limpias. ha^{-1}) y 2004 (7.0 limpias. ha^{-1}). Los niveles de fertilización fueron más elevados en los años 2006 (0.6 pases. ha^{-1}) y 2007 (0.85 pases. ha^{-1}), mientras que en los años 2010 (0.47 pases. ha^{-1}) y 2005 (0.49 pases. ha^{-1} ha) se fertilizó menos en el cultivo.

La composición de cepas y producciones por cepas, aparecen en la tabla 7:

Tabla 7 Composición de cepas y producciones por cepas en los años evaluados en el agroecosistema CPA Revolución de octubre.

Cepas y producciones	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Área molible total	175.80	199.40	226.80	246.21	230.60	251.30	237.40	208.31
Área molible primavera	14.10	18.80	20.20	33.60	28.50	0	14.00	30.02
Área molible frío	30.80	26.50	30.50	32.48	29.20	37.60	46.60	31.12
Área molible retoños	130.90	155.00	176.10	180.13	172.90	213.70	176.90	147.18
Producción total zafra	6202.00	4840.00	4405.00	7293.6 1	6304.00	4771.00	4458.00	7290.43
Producción total primavera	564.00	470.00	424.20	1611.4 7	984.00	0	488.30	1957.87
Producción total frío	1108.80	611.80	610.00	1422.1 5	1057.00	827.00	1908.10	1680.46
Producción total retoños	4529.20	3758.20	3370.80	4259.9 8	4263.00	3844.00	2061.60	3652.10
Rendimiento total zafra	35.28	24.27	19.42	29.62	27.34	18.99	18.78	35.00
Rendimiento total primavera	40.00	25.00	21.00	47.96	34.53	0.00	34.88	65.22
Rendimiento total frío	36.00	23.09	20.00	43.79	36.20	21.99	40.95	54.00
Rendimiento total retoños	30.60	24.25	19.14	23.65	24.66	17.99	11.65	24.81

La composición de cepas por años (Tabla 7) muestra la mayor área molible en los años 2007 (246.21 ha) y el 2009 (251.30 ha), así como las de menor en el 2004 (175.80 ha) y 2005 (199.40 ha), donde los años en que el área de ciclo largo (primaveras y fríos) fue superior fueron: el 2007 (66.08 ha) y el 2011 (61.14 ha) y la de menor fueron el 2009 (37.60 ha) y el 2004 (44.9 ha). Los niveles de producción de caña más elevados aparecen en los años 2007 (7293.61 toneladas) y 2011 (7290.43 toneladas), mientras que los de menor fueron el 2006 (4405.00 toneladas) y el 2010 (4458.00 toneladas).

El análisis del rendimiento en los años evaluados indica que los años donde los valores fueron más elevados fueron el 2004 (35.28 t. ha⁻¹) y en el 2011 (35.00 t. ha⁻¹). En el resto de los años los valores se mantiene bajos donde 2010 (18.78 t. ha⁻¹) y 2009 (18.99 t. ha⁻¹).

2.3.2 Evaluación del peso de los indicadores agroclimáticos sobre el rendimiento de la caña de azúcar en el agro ecosistema en estudio.

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

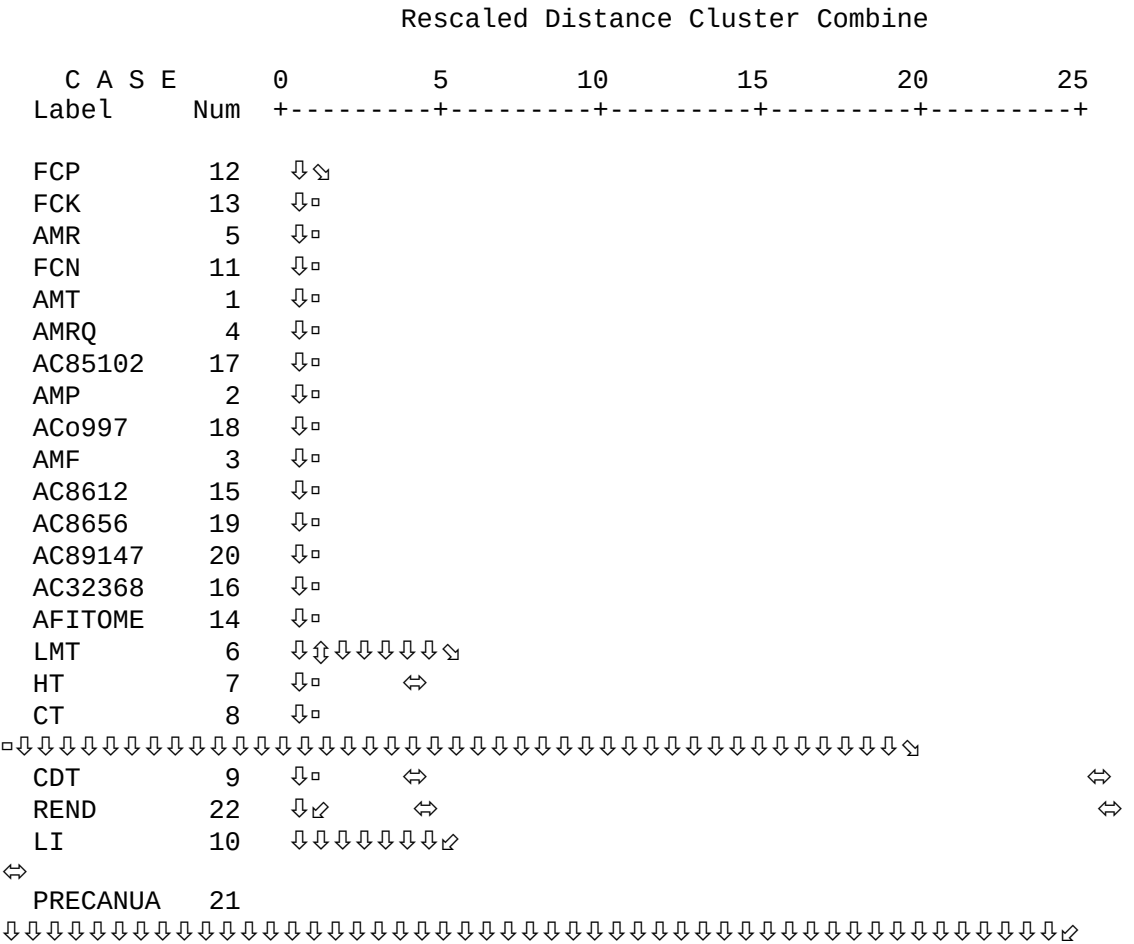


Figura 3 Dendrograma de la ubicación de las variables en el análisis de conglomerados (Clusters, por distancias euclidianas).

El análisis del conglomerado (Figura 3) muestra la formación de solo tres grupos homogéneos: en el grupo 1 que presenta la menor distancia euclidiana entre sus integrantes y por tanto una mayor homogeneidad entre estos, agrupa 20 de las 22 variables en estudio lo que demuestra la interrelación entre estos factores dentro del agroecosistema. Las precipitaciones mostraron una alta variabilidad, al igual que la limpia integral. Los factores: composición varietal, composición de cepa y el manejo (grupo1) resultaron tener gran relación con el rendimiento cañero, pues aparecen ubicados en el mismo grupo. El manejo

agronómico y el rendimiento (grupo 2) resultaron tener un estrecho vínculo entre sí.

Tabla 8 Matriz de componentes para las variables agroclimáticas analizadas.

Variable	CPA Revolución de octubre		
	1	2	3
Área molible total.	-0.271	0.511	0.782
Área molible de primavera.	0.895	0.223	0.030
Área molible de frío.	-0.818	0.331	0.046
Área molible de retoños.	-0.540	0.341	0.696
Limpia manual total.	0.012	0.411	-0.441
Herbicida total.	-0.379	0.115	-0.425
Cultivo total.	-0.566	0.805	-0.074
Cultivo desyerbe total.	-0.638	0.837	-0.191
Limpia integral.	-0.416	0.855	-0.352
Fertilización con nitrógeno.	0.563	-0.461	0.335
Fertilización con fósforo.	0.391	0.384	0.712
Fertilización con potasio.	0.347	0.002	0.624
Precipitaciones anuales.	-0.826	0.399	-0.147
Rendimiento.	0.851	0.491	-0.097
% de la varianza	34.960	32.672	10.646
% acumulado	34.960	87.722	97.763

El análisis multivariado de componentes principales formó tres componentes donde se explica el 90% de las variaciones totales del agroecosistema en estudio. En la matriz se observan 6 variables: Área molible total, área molible de caña plantada en primavera, precipitaciones anuales, el rendimiento, producción total de la zafra y producción de primavera) como las que mayor peso tienen en la variabilidad. En la primera componente están ubicadas 5 de las 6 variables de mayor peso en las variaciones totales. Se destaca como se mantiene la composición de cepa, el manejo agronómico y las precipitaciones como los factores de mayor peso en el agroecosistema lo cual coincide con lo planteado por diversos autores (García, 2007; Ramírez, 2009 y Naidu, 2003;) sobre el papel del ambiente en el desarrollo de la caña y dentro de este el hombre como elemento clave dentro del sistema.

Tabla 9 Análisis de regresión por pasos sucesivos, donde se usó el rendimiento como variable dependiente.

Modelo	R ²	Sig.	Ecuación	Variables
(a)	0.783	0.000	$Y = -5,735.559 + 0.034X_1 + 0.400X_2 - 0.442X_3 - 0.008X_4 + 0.451X_5 - 0.101X_6 + 1.022X_7$	X₁ Área Molible Total. X₂ Área molible de Frio. X₃ Limpia manual total. X₄ Herbicida total. X₅ Fertilización con Nitrógeno. X₆ Fertilización con fósforo. X₇ Precipitaciones anuales.

El análisis de regresión lineal múltiple con el rendimiento como variable dependiente (Tabla 9), permitió obtener un modelo de ecuación estandarizada que explica más del 88% de las variaciones del rendimiento en el agroecosistema, donde las variables: Área molible total, área molible de frío, la limpia manual total, las aplicaciones de herbicida, la fertilización y las precipitaciones resultaron ser las que más influyen en el rendimiento cañero del agroecosistema. Estos resultados corroboran lo obtenido anteriormente en que los factores: composición de cepa y el manejo resultaron tener gran relación con el rendimiento cañero del agroecosistema, así como también las precipitaciones.

3.0 Conclusiones:

1. El agroecosistema de la CPA Revolución de octubre se caracteriza por ser productor de caña de azúcar, por tener suelos aptos para este cultivo, una alta dependencia de recursos externos, así como una marcada disminución del rendimiento del mismo.

2. La composición de cepa, el manejo, las precipitaciones y el rendimiento resultan ser los factores que determinan las variaciones en el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre.
3. El área molible total, el área de frío cosechada, la limpia manual, las aplicaciones de herbicida, la fertilización con nitrógeno y fósforo así como las precipitaciones anuales determinan el rendimiento de la caña en el agroecosistema pues son predictoras del mismo en el modelo de regresión lineal en condiciones de producción.

4.0 Recomendaciones:

1. Implementar estrategias donde se busque mejorar la composición de cepa, donde se incremente la siembra de frío y el manejo agronómico en el agroecosistema de la CPA Revolución de Octubre.
2. Validar el modelo de regresión lineal obtenido en el agroecosistema en condiciones de producción para el pronóstico del rendimiento antes de la cosecha.

5.0 Bibliografía:

- Acevedo, R.; La O, M.; Rodríguez, M.; García, H.; Rodríguez, E.; Alfonso, I.; Jesús, C.; Pérez, E.; Vázquez, R.; Figueredo, I.; Fuentes, P.; Alfonso, F.; Gil, Y.; Rodríguez, O. 2009. Incidencia de las plagas de la caña de azúcar en diferentes regiones edáficas de Cuba. En CD Memorias del XVI Congreso Científico INCA. 24-28 Noviembre, 2009.
- Acosta, P. P. 2008. Efecto de los Huracanes en la Caña de Azúcar en Cuba. Anuario de la Nación. MINAZ. 10 de Septiembre del 2008.
- Aday, O.; Díaz, F. R.; García, H.; Barroso, F. 2007. Comportamiento de genotipos de caña de azúcar, introducidos y cubanos, ante el síndrome de la hoja amarilla. Rev. Cuba & Caña. No.1 pp27-32.
- Álvarez, A. 2004 Las malas hierbas nos reducirán la zafra (2003-2004) en 641 225 t/n de azúcar como mínimo. 10.2 millones de USD menor ingreso neto

- en el valor de la caña. III Congreso Nacional de la sociedad cubana de malezas. Memorias. Vol. 2 Jardín Botánico Nacional. C. Habana. 28-30 de abril del 2004. P 138-141.
- Arcia, J.; C. Balmaseda; R. Marín; R. Chang; R. Villegas y D. Ponce de León 1995. Esquema agroecológico vinculado con el cultivo de la caña de azúcar en la República de Cuba, Departamento Nacional Suelos y Agroquímica. INICA 10p.
- Arzola, N. 2007. Contenido y formas del nitrógeno en un suelo cultivado de caña de azúcar. Disponible en <http://www.santiago.cu/hosting/etica/sede40/tec/t06.htm>. Consulta en mayo 2009.
- Barbosa, R. 2007. Implementación del estudio del suelo para el manejo integral de la caña de azúcar (ESMICA) en la UBPC Romana 7. Disponible en <http://www.santiago.cu/hosting/etica/sede40/tec/+10.htm>. Consulta mayo: 2009.
- Blume, H. 1983. *Enviroment and cane sugar yield*. International Society of sugar cane technologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p 277-290.
- Cabrera, R.; Luís, A.; Hernández, I. 2009 *Evapotranspiración de la caña de azúcar en clima semiárido. Caña de Azúcar Vol.1.4 (2) p81-89*. Disponible en <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/revistas Científicas/canadeazucar/canal/402/texto/evapotranspiracion.htm>. Consulta en mayo, 2009
- Centella, A. 2002. Diccionario Meterológico Internacional.
- Clements, H.; Kubota, T. 1942. Internal moisture relations of sugar cane. Tthe selection of a moisture index. Haw. Plant. Rec.45. p17-35.
- Dillewijn, V.C. 1951. Botánica de la caña de azúcar. Ediciones Revolucionarias. Instituto de libro. La Habana.
- Domingos, G.P.; Magalhães, G.P.S. 2005. Monitoreos de rendimientos en caña de azúcar. ASAE paper number: 051154.ASAE Annual International meeting-Tampa, Florida, USA.17-20 de julio.
- Echemendía, P. M.; Jonson, S. G.; Figueredo, R. E.; Escalona, B. M.; Duque, R. Y.; Cruz, G. I. 2009. Curso MIP. Maestría en agricultura sostenible Lecturas recomendadas. Libro MIP CAPITULO II CETAS. UCF.

- Fernández, O.; Rodríguez, G.y González, A. 2004. Estudio y modelación de algunas variables que influyen en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar. Revista ATAC. No1. Enero –julio. P50-55.
- García, P. H. 2007. 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. La Habana. 122h.Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. Ministerio del Azúcar. INICA
- Gómez, Lourdes; Mayra Ferrer y Zaida San Juan Darías. 1990. La pérdida de agua de las hojas de la caña de azúcar como criterio de su resistencia a la sequía. Resúmenes Tercera Jornada Científica del CNCA. MINAZ p43.
- González, E. 1976. Guía cañera. Dpto. de Investigaciones Internacionales. CIDA. INRA. La Habana.
- González, R.M. 1998. Establecimiento de las bases para el mejoramiento y la obtención de variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.* híbrido) de alto contenido azucarero y madurez temprana. La Habana. 122h.Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. Ministerio del Azúcar. INICA
- González, R.M.; H. Jorge; Susana Tuero; S. Rodríguez; A. Argota e Ibis Jorge. 2009. C86-12, C86-456 y C86-503. Nuevas variedades de caña de azúcar para las principales regiones de Cuba. En: Contribución al conocimiento y manejo de las variedades de caña de azúcar. Curso de capacitación UASTEC. INICA. La Habana, p35-52.
- Humbert, R. P. 1965.El cultivo de la caña de azúcar. Editora Universitaria. La Habana.
- Julien, M.H.R.; Peerun, Z. ; Domainque, R. 1983. The effects of enviroments and time of harvest at early stages of selection in sugar cane. International Society of sugar cane tecnologist. Proceiding XVIII congress. C. Habana Vol.II p 698- 712.
- King, J.; Mungomery, R. W.; Hughes, C. G. 1968. Manual para el cultivo de la caña de azúcar. Serie australiana sobre agricultura y ganadería. Edición Revolucionaria. Instituto del libro. La habana.
- Kozhushko, N.N. 1982. Metodología para la determinación de la resistencia a la sequía de las gramíneas por la variación de los parámetros del régimen hídrico (capacidad hidrorredentora, capacidad de absorción de agua, déficit

hídrico). Instituto Nacional de Investigación Científica sobre cultivo de plantas "I. Vavilov" Leningrado.

Lara, H. M. 2005. Resistencia de variedades comerciales de caña de azúcar a la escaldadura foliar (*Xanthomonas albilineans* (ASHBY) DOWSON. Disponible en [http://www.colpos.mx/cveracruz/submenu-publi/Avances2005/Resistencia de variedades comerciales.htm](http://www.colpos.mx/cveracruz/submenu-publi/Avances2005/Resistencia%20de%20variedades%20comerciales.htm). Consulta en mayo, 2009.

Lecha, L.; L.R. Paz y B. Lapinel. 1994. El clima en Cuba. Editorial Academia. La Habana. 186p. Disponible en:

Lima, J. R. 2004. Caña de azúcar: captación conservación y manejo sostenible del agua y la humedad del suelo. Revista INICA. Serie caña de azúcar. Siglo XXI. Suplemento Especial. No. 1 Nov.

Mansour, I.M.; Allam, A.I.1983. Effect of eco- biological factors on sugar cane production in Iraq. International Society of sugar cane tecnologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p 311-324.

Marcano, M. 2005. Prueba de 8 variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp.) bajo condiciones de secano en un suelo de sabana del Estado de Monagas, Venezuela. RevistaUDO Agrícola 5(1):54-61.

Martínez, R.; A. Solis; F. Cabrera y Reyna Parra. 2000. Evaluación de líneas de tomate resistentes a escasa humedad. Resúmenes XII Seminario Científico INCA p170.

Medina, C. A.; Días, J.; Gómez, J. 2009. Parámetros biológicos del áfido *Sipha flava* Forbes, en caña de azúcar. En CD Memorias del XVI Congreso Científico INCA.24-28 Noviembre, 2009.

Muñoz, J. A. 2007. Relación entre la concentración de clorofila, azúcares y nitrógeno foliar en caña de azúcar (*Caccharum* sp. Híbrida) como indicador de diagnóstico precosecha. Tesis de grado. Disponible en [http://www.fundacite.Arg.gov.ve/proyectos/imprime proyectos.shtml](http://www.fundacite.Arg.gov.ve/proyectos/imprime_proyectos.shtml).
Consulta: Junio 2009.

Naidu, M.K. Venkataramana,S.; Gururaja, P.N. 1983. Varietal variation in stomatal conductance and difusión resistance during moisture stress and recovery in sugar cane. . International Society of sugar cane tecnologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p.

- Ortega, E. 2004. La fijación biológica del nitrógeno en la caña de azúcar. Disponible en
<http://www.uh.cu/integral/areasub/uri/archivos/CAR/seminario2004/PDF>
 Consulta en mayo, 2009.
- Pacheco, J.; Alonso, N.; Gutierrez, A. 1983. A study of the sugar cane evapotranspiration in Cuba. . International Society of sugar cane technologists. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p 380- 387.
- Pérez, I.; Portal, A.R. 2004. Primeras experiencias en Cuba de aplicación de la Geomática a la agricultura de precisión en la esfera de la caña de azúcar. VII Taller Internacional Informática y Geociencias. GEOINFO 2004.
- Pérez, J. R.; Cuellar, I. A.; De León, M. E.; Santana, M.; Fonseca J. R.; Pérez, M. 2004. Caña de Azúcar: Captación, conservación y manejo sostenible del agua y la humedad del suelo. Serie caña de Azúcar Siglo XXI. Suplemento especial de la Revista Cuba & Caña. Noviembre, 2004, 43 pp.
- Pineda, E.; Sierra, A.; Camacho, I.; Martínez, R.; Becerra, E.; Barreto, B.; Acosta, F.; Hernández, N. 2009. Rendimiento agrícola en caña de azúcar bajo condiciones diferentes de manejo fitotécnico, con énfasis en la fertilización. . En CD Memorias del XVI Congreso Científico INCA. 24-28 Noviembre, 2009.
- Pinna, J.; Valdivia, S.; Tello, H. 1983. Yield estimation of sugar cane from evapotranspiration data. . International Society of sugar cane technologists. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p370- 379.
- PMPA (Programa Mundial de Alimentos, IPF (Instituto de Planificación Física). 2004. Análisis y cartografía de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Cuba. 2004 Proyecto Vam Cuba. Publicación de la Representación del PMA en Cuba: Año 38. Sept. 2004. 9 52-68.*
- Quemé, J.L.; Crossa, J. Orozco, H.; Melgar, M. 2007. Analysis of genotype-by-environment interaction for sugarcane using the sites regression model (SREG). Proc. ISSCT, vol.26. pp 764-769.
- Quemé, J.L.; Orozco, H.; Ovalle, W.; Melgar, N. 2005. Analysis of genotype-by-environment interaction for sugarcane based on the AMMI model, proc. ISSCT, vol.25.
- Reinoso, A. 1862. Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar. Publicaciones azucareras. La Habana. 1998.

- Ramirez, F. 2009. Caracterización morfoagronómica de cuatro variedades de caña en agroecosistemas y manejos diferentes. Tesis de grado en opción al título de master en agricultura sostenible. UCF. CETAS.
- Rodriguez, J.C.S. 1983. Integrated control of production applied to sugar cane. International Society of sugar cane tecnologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p 335-343.
- Rodríguez, R., N.; Bernal, H.; Jorge, H.; García; Puchades, Y.; Tamaño M. 2008. Relación entre el desarrollo radicular y la tolerancia al estrés por sequía en variedades de caña de azúcar. Rev. Cuba & Caña. No. 1 2008. p33-35.
- Roldós, J. 1986. Evaluación de algunos factores edáficos limitantes de la producción de la caña de azúcar. Tesis en opción al grado científico de C.Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA. 122pp.
- Sáens, M. A. 2004. *Determinación del periodo de crecimiento de la caña de azúcar en el CAI José Martí. CIEGET. Pinar del Rio. Vol. 6. No.2 Abril- junio*
- Sánchez, P. 2005. Malas hierbas en el cultivo de la caña de azúcar para implementar manejo integrado en la UBPC Blas Roca Calderío. Centro Agrícola. Año 32. No4. oct.-dic.
- SERVAS, 2008. Servicio de Variedades y Semilla. Recomendación UPC "La Josefa". ETICA Villa Clara-Cienfuegos. Folleto. p10.
- Shih, S.F. 1983 Using sugar cane yields and evapotranspiration relations for water magnagement. International Society of sugar cane tecnologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol. 1 p 573-585.
- Singles, A. 2005. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice, field crops research 92 (2005) 291-303
- Slávik, G. 1974. Water loss by detached leaves. In. Methods of studying Plant Water Relations. Academia Praga. p284-285.
- Socorro, A. 2005 Modelo alternativo para la racionalidad agrícola. BDP2005. CETAS. UCF. Cuba.
- Srinivasan, T.R. 1983 Sugar cane recovery in relation toa ge, climate and crop indices. . International Society of sugar cane tecnologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p 327-334.
- Toala, G.; Bernal, N.; Martínez, I.; Contreras, V.; Zuaznábar, R. 2007. Efecto de las malezas en el rendimiento de la caña de azúcar en un suelo franco arenosos en el tercer periodo de zafra, en el ingenio ECUDOS. S. A.

Jornada Científica – Productiva INICA. celebrada en Jovellanos, Matanzas del 5 al 9 de Junio 2007.

Toledo, E. 2008. Estimación de la producción de residuos agrícolas en agro ecosistemas de caña de azúcar. Revista Cultivos Tropicales. Vol.1.29 No3p17-21.

Torres, J. C.; Pérez, E.; Ortega, R. 1984. Manual de fundamentos de Agronomía. Facultad de Agronomía. MES. ISCAH. La Habana.

Vázquez, B. E.; Torres, G. S. 1982. Fisiología vegetal. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.

Viqueira, L.; Gòmes, L.; Rodríguez, C. 1983. Effect of water defficiency on two sugar cane varieties. . International Society of sugar cane tecnologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p 394- 408.

Viqueira, Liliam y C. Lamelas. 1999. Planificación del régimen riego de proyecto y explotación usando los factores del efecto del rendimiento ky. Resúmenes AGROMEC. p 47.

Yan, W.; Tinker, N.A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Can. J. Plant Sci. 86:623–645.