

Tesis para optar por título de ingeniero agroindustrial.



TITULO: Influencia del clima y la calidad de la materia prima sobre el recobrado y el rendimiento industrial de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.”

Por:

Autora: Bárbara Leyva Oramas

Tutor: Msc. Freddys Ramírez González

AÑO 2014

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por la confianza depositada en mí, y por los esfuerzos encaminados a la culminación de este proyecto, en especial a mi esposo.

A todos los que de una forma u otra han cooperado en el desarrollo de este proyecto, a mis maestros, profesores, asesores, y a la revolución, por permitirnos estudiar y superarnos como ingenieros para servirle incondicionalmente.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a:

Una persona muy especial, que siempre me ha guiado con mucho amor y dedicación incondicionalmente: MI MADRE.

Quien me ha apoyado en todo momento y orientado con sabios consejos, mi paradigma: MI PADRE.

A las “bujías” inspiradoras de mis metas, para quienes me gustaría ser su ejemplo:
MIS HIJOS.

MI ESPOSO, cómplice de mis ideas, quien paciente aguarda por el cumplimiento de mis metas y me inspira a superarlas.

Resumen

La investigación se desarrolló en la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez" del municipio Aguada de Pasajeros, provincia de Cienfuegos. Durante las campañas 2008– 2013. Se caracterizaron las condiciones climáticas. Se calculó, además el indicador de sequía PPN propuesto por Tecnociencia (2006). Se recopilaron en 6 años los datos de un grupo de variables y se le aplicó estadística multivariada de componentes principales y de conglomerados (Clusters). Los datos de las variables de mayor peso en las variaciones totales fueron procesados con regresión lineal múltiple. La eficiencia industrial de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros está determinada por la cantidad y calidad de la materia prima que llega al basculador; así como por las precipitaciones. La producción de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros se desarrolla en condiciones de elevadas: temperaturas, humedad relativa y precipitaciones, lo cual influye desfavorablemente sobre su eficiencia industrial. Los indicadores del proceso productivo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez se caracterizan por incrementos en los valores de área molible y rendimiento agrícola, con bajos niveles de: RPC, brix y recobrado; así como con elevados % de materias extrañas y de pureza en el jugo absoluto, lo que conlleva a que el rendimiento de azúcar y pol por hectárea sea bajo al igual que el rendimiento industrial.

Epígrafe	Tabla de contenidos	Páginas
	Introducción.	1
	Problema de investigación.	2
	Objetivo general.	2
	Objetivos específicos.	2
	Beneficios esperados.	3
I	Revisión bibliográfica	4
I.1	Valoración del contexto local, nacional y mundial.	4
I.2	Estado actual del conocimiento del problema de investigación.	17
I.3	Carencia que se quiere llenar con la investigación.	21
II	Materiales y métodos.	25
II.1	Caracterización de las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.	26
II.2	Caracterización de los indicadores del proceso productivo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.	26
II.3	Evaluación de los factores que determinan la eficiencia industrial de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.	27
III	Resultados y discusión.	29
III.1	Caracterización de las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.	29
III.2	Caracterización de los indicadores del proceso productivo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.	32
III.3	Evaluación de la influencia del clima y la calidad de la materia prima sobre el recobrado y el rendimiento industrial de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.	37
IV.	Conclusiones.	43
V.	Recomendaciones.	44
	Bibliografía.	45

Introducción

La Agroindustria Azucarera está llamada a un profundo proceso de cambio, fundamentado en el reordenamiento y perfeccionamiento de su empresa. La realización de tan trascendentales cambios con profunda implicaciones económicas y sociales, tiene que estar basados necesariamente en el proceso científico - técnico que permite reducir al mínimo de errores las decisiones tomar en la recuperación cañera (INICA, 2001).

Dentro de los factores ambientales el factor humano 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).

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 en 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.

Gálvez (2010) indica que no es común la utilización de los datos que la industria puede proveer para asistir en las decisiones a tomar para el manejo de esta, que los pocos trabajos con suficiente rigor realizados con datos de la industria han revelado que existen tendencias sistemáticas en el comportamiento del rendimiento por área, en caña y en azúcar, donde a pesar de estos éxitos aislados, no existen análisis rutinarios usando los datos de la industria, menos aun utilizando las modernas técnicas de la estadística (Lawes y Lawn, 2005)

Gálvez (2010) sostiene que en Cuba se han realizado análisis aislados de los rendimientos con los datos de la industria, sobresaliendo los de Acosta (2000), que han sido realizados con propósitos muy específicos y resultados interesantes, aunque sin utilizar técnicas modernas de estadística. Sin embargo existe una gran

cantidad de datos que brinda la industria que pueden ser utilizados de forma más moderna. Por su parte Soto (2003) y Gálvez et al., (2004 a; 2004 b; 2006) han utilizado datos de producción de la provincia La Habana de un periodo de 22 años para modelar el rendimiento en la caña de azúcar. Sin embargo el tema demanda de un trabajo más amplio por la importancia que puede tener para la toma de decisiones de la industria de la caña de azúcar en Cuba (Rodríguez, 1989).

En la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio de Aguada de Pasajeros la eficiencia industrial ha disminuido en los últimos años donde se requiere de un estudio que determine con métodos científicos cuáles son los factores que la. Atendiendo a esta problemática planteamos el siguiente problema científico:

Problema científico

¿Qué Influencia tiene el clima y la calidad de la materia prima sobre el recobrado y el rendimiento industrial de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez?

Hipótesis

La evaluación del comportamiento de las variables climáticas, el manejo agrícola e indicadores de calidad de la materia prima podría ayudar a determinar su influencia sobre el rendimiento industrial y el recobrado, lo cual puede ser usado para el establecimiento de estrategias para mejorar dichos indicadores en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.

Objetivo General

Evaluar la Influencia del clima y la calidad de la materia prima sobre el recobrado y el rendimiento industrial de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez

Objetivos Específicos

1. Analizar las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.
2. Caracterizar los indicadores del proceso productivo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.

3. Evaluar la Influencia del clima y la calidad de la materia prima sobre el recobrado y el rendimiento industrial de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.

Beneficios esperados.

- Caracterizado el manejo del cultivo de la caña en el municipio Aguada de Pasajeros.
- Caracterizadas las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción azucarera del municipio Aguada de Pasajeros.
- Evaluada la incidencia de las variables climáticas y el manejo sobre los componentes de la calidad industrial de la caña en el municipio Aguada de Pasajeros.
- Obtenidas las variables que determinan los componentes de la calidad industrial azucarera en el municipio Aguada de Pasajeros.
- Obtenidos los modelos de regresión lineal para el pronóstico del rendimiento industrial y el recobrado en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.

I. Revisión bibliográfica

I.1 Valoración del contexto local, nacional y mundial

La caña como materia prima en la fabricación de azúcar

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 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).

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, asoleado 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).

Las condiciones climáticas predominantes durante la plantación y primeros meses de desarrollo de la caña, ayudan también al manejo más efectivo de los diferentes métodos de control. Reynoso (1868) y Pérez (2004) consideran la plantación de “frío” como la más adecuada para la lucha contra las malezas en Cuba, porque los primeros meses de vida del cultivo transcurren en un clima más seco y de menor temperatura y por tanto, menos propicio al desarrollo de las malezas. Además, en ese período del año se dispone de más fuerza de trabajo y maquinaria para esas labores, siendo menos intensa la competencia con otras actividades del proceso productivo de la caña. Agregan estos autores que las plantaciones de “frío” permiten sembrar en la primavera previa, cultivos en rotación.

En primavera las condiciones de humedad y temperatura favorecen la brotación y crecimiento “explosivo” de las malezas y los residuos provenientes de la cosecha anterior han perdido efectividad, todo ello en un medio agrícola donde la fuerza de trabajo manual y los medios siempre son insuficientes para controlar las malezas en el tiempo requerido. De ahí que se necesita evaluar el uso de herbicidas residuales de última generación para determinar cuál es el más efectivo y la dosis adecuada desde el punto de vista productivo y económico (González, 2012).

Factores limitantes de la producción cañera en Cuba

González *et al.* (2007) en la UBPC “El novillo” en Pinar del Río determinó que los factores que más limitan la producción en el agroecosistema 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, incluidos 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 Magãlhaes, 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.

Pineda et al. (2009) en un ensayo donde encontró diferencias entre el rendimiento experimental y el de condiciones de producción, dedujo, que las causas fundamentales de estas diferencias son: manejo, población, fecha de cosecha, tamaño del área, método de cosecha y control de plagas y enfermedades. Que en los ensayos experimentales el manejo del cultivo es más preciso, adecuado y oportuno, lo que genera mayor cantidad de labores de más calidad y en el momento óptimo en actividades agronómicas (como aplicar fertilizante, combatir las malezas y utilizar la maquinaria) así en la actualidad un campo comercial recibe en Cuba de 3 a 5 labores por año, mientras que un experimento recibe entre 8 y 12.

También, que el tamaño del área puede influir en que generalmente los rendimientos son calculados con base en parcelas pequeñas que sobrestiman el rendimiento (Montero, 2007). Esto se debe a: problemas de escala, errores cometidos al medir la superficie cosechada, porque las parcelas pequeñas tienden a ser más uniformes que las grandes, por el efecto de borde presente en las parcelas pequeñas (48 m²); de 4 surcos cosechables; donde los surcos exteriores alcanzan un mayor desarrollo con relación a los interiores; y

representan 50 % de cada parcela, mientras que en los campos comerciales la relación es inferior a 10 % (Pineda et al., 2009).

Pineda et al. (2009) explica, además que los efectos de la fecha de la cosecha en las diferencias del rendimiento se deben a que los investigadores cosechan en un momento fijo, generalmente cuando el cultivo alcanza la madurez fisiológica, en tanto que el agricultor lo hace dentro de un intervalo de tiempo cuando le es posible. También, continúa diciendo, que en el control de Plagas y enfermedades estas se desarrollan mejor en los campos comerciales, donde además se dificulta el control, así por ejemplo: más de 60 % de las variedades de caña de azúcar usadas en escala comercial son intermedias o susceptibles al carbón, no así en los experimentos, en los campos infectados de carbón el índice de las áreas comerciales es alrededor de 48.8 % mientras que en los experimentos es sólo 18%, una situación parecida se observa en el bórer y la roya, la población es otro factor de considerable importancia, este componente del rendimiento muestra comportamientos disímiles en ambos casos.

En condiciones experimentales se utiliza una densidad de 12 yemas/m lineal; y se es muy riguroso y exquisito para lograr el 100 % de brotación; eliminar la resiembra y obtener un buen sellaje. En la producción no siempre se obtienen altos porcentajes de población (mayor de 80 %); y en general existe despoblación en los campos comerciales debido a problemas con la plantación, las labores agronómicas y la cosecha mecanizada. Esta última influye en que generalmente el método de cosecha del productor ocasiona pérdidas mayores que el de los investigadores; ya que el agricultor hace la cosecha por lo general mecánicamente y los investigadores realizan una cosecha manual, más cuidadosa (Pineda et al., 2009).

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.

Calidad de la materia prima

La calidad de la materia prima, en cualquier fábrica, es un factor fundamental a considerar, cuando se analiza algún problema surgido en el proceso de producción. Sobre todo, cuando esta materia prima es de origen agrícola, pues estará afectada su calidad por factores de tipo climatológicos que no están en la mano del hombre controlarlos. Aunque también la calidad de la caña depende en gran medida de los procesos agrícolas y de cosecha – transporte.

La cosecha mecanizada hace que en ocasiones la industria tenga que enfrentarse a complejas situaciones de procesamiento de la caña deteriorada o con exceso de materias extrañas, la cual además de la calidad de la cosecha, depende en gran medida de las precipitaciones.

En años lluviosos el porcentaje de materias extrañas es superior a los años menos lluviosos en hasta un 10% por encima. Además este porcentaje afecta en gran medida el rendimiento industrial, la capacidad de molienda del central, aumenta el tiempo total de zafra y el costo de producción. Se plantea que en términos generales la materia prima es de buena calidad cuando la % de Pol es igual o mayor del 13%, el % de fibra es igual o menor que la Pol y la pureza de los jugos es superior del 83% (Santibáñez, 1983).

Tecnología azucarera

Según Santibáñez (1983) la tecnología azucarera es la ciencia que estudia los procesos que transforman la materia prima, caña de azúcar, en los productos finales como azúcares y mieles. El proceso agroindustrial de producción de azúcar de caña, explica el autor, involucra tres tipos de tecnologías, con características

bien definidas y diferentes: Tecnología Agrícola, tecnología de cosecha y transporte y tecnología de producción o industrial.

Cada proceso de producción, refiere Huggot (1967) involucra varios procesos tecnológicos. Estos son las diferentes etapas productivas, continúa explicando el, que conllevan a un cambio en el estado así como químico de la sustancia procesada. Refiere además el autor que pueden existir uno o varios procesos intermedios o tecnológicos dentro de un proceso de producción hasta obtener el producto final. Ejemplo de proceso tecnológico concluye el autor: Cuando la caña pasa a través de los molinos, se rompe la estructura original de la planta y ocurre la separación de sus componentes sólidos y líquidos (jugo y fibra).

Según Santibañez (1983) el proceso de fabricación de azúcar no es únicamente industrial, tiene componente agrícola e industrial, pues el azúcar (sacarosa), se forma en la planta conocida por caña de azúcar, durante el curso de su vida vegetativa. Refiere el autor que luego es cosechada y transportada a la fábrica, donde se le somete a la acción de un conjunto de procesos tecnológicos cuyos objetivos son aislar el azúcar. La cantidad de azúcar, continúa planteando el autor, que se obtiene por tanto depende de: la cantidad de azúcar que fabrica la caña, conocido como rendimiento agrícola o de la caña antes de ser cortada. Explica también que la cantidad de azúcar que realmente recibe la industria, está dado por la cantidad de azúcar de la materia prima y las pérdidas luego de ser cosechada. Concluye que la cantidad de esta azúcar que la fábrica es capaz de convertir en producto final.

La eficiencia del proceso agroindustrial, agrega Santibañez (1983) está definido por la fórmula:

$Ar = Ac - (Apc + Apf)$, donde:

Ar = Azúcar que se convierte en producto final.

Ac = Azúcar producida por la planta.

Apc = Azúcar perdida en cosecha y transporte.

Apf = Azúcar perdida en los procesos de la fábrica.

Según Santibañez (1983) pueden contarse 26 procesos tecnológicos en la fabricación de azúcar de caña entre los que se pueden señalar:

Procesos agrícolas: eliminación de malezas y obstáculos, roturación del suelo, desmenuzamiento y allanamiento del terreno, surcado, siembra y fertilización, cultivo, deshierbe, control de plagas, regadío, control del crecimiento y la maduración.

Procesos de cosecha y transporte: selección de campos y ubicación de medios, corte: manual o mecanizado, alza mecanizada (corte manual), transporte: automotor o ferroviario, proceso en centro de acopio, recepción en el batey.

Procesos industriales: descarga y manipulación; preparación de la caña, molienda; purificación; calentamiento; encalado; sedimentación; filtración; evaporación; cristalización; centrifugación; almacenamiento de azúcar; generación de termo energía (vapor) y generación de electro energía (electricidad)

Proceso de fabricación del azúcar de caña (Según Santibáñez, 1983)

El azúcar se obtiene de la planta de caña por la reacción de fotosíntesis debiéndose separarse en el proceso de fabricación otros componentes como pueden ser la fibra, las sales minerales, ácidos orgánicos e inorgánicos y otros, donde se obtiene una sacarosa de alta pureza en forma de cristal.

El azúcar es un producto básico, esencial y necesario en la dieta alimenticia y constituye la materia prima para numerosas industrias, tales como confiterías, panaderías, bebidas no alcohólicas y alcohólicas.

Recepción, descarga Y alimentación de la caña

Esta área del departamento de maquinaria recibe el nombre de Batey, las cañas a moler es transportada por diversos medios (remolques, camiones, vagones de ferrocarril, etc), las cuales son pesadas en básculas anexas a las fábricas, posteriormente las cañas se descargan a través de diferentes medios: Grúa Cañera, Grúa Puente, Volteadores Laterales o directamente a los conductores de caña.

El conductor principal de caña, que es largo y lleva la caña a la fábrica, el ancho del conductor es siempre igual al largo de las mazas de los molinos, el conductor consta de dos partes: una horizontal y una inclinada (15 a 22 grados), es movido por un motorreductor de velocidad variable.

Sobre el conductor de caña en muchos ingenios montan los niveladores de caña cuya función consiste en distribuir y en cierto modo nivelar la caña en el conductor. El nivelador consiste de un eje colocado transversalmente al conductor, en el cual van brazos curvos los que giran en sentido inverso al conductor. La uniformidad del colchón en el conductor permite variaciones mínimas de velocidad para la alimentación de caña a molinos.

Extracción del Jugo:

La caña es desmenuzada con cuchillas rotatorias y una desfibradora antes de molerla para facilitar la extracción del jugo que se hace pasándola en serie, entre los filtros, o mazas de los molinos. Se utiliza agua en contracorriente para ayudar a la extracción que llega a 94 o 95% del azúcar contenida en la caña. El remanente queda en el bagazo residual que es utilizado como combustible en las calderas, así como materia prima para la fabricación de tableros de bagazo. Esta constituye la primera etapa del procesamiento de fabricación de azúcar crudo.

En las prácticas de molienda, más eficientes, más del 95 % del azúcar contenido en la caña pasa a guarapo; este porcentaje se conoce como la extracción de sacarosa (por de la extracción, o más sencillamente, la extracción).

Molinos y conductores

La caña, una vez preparada según los pasos anteriores, cae al primer molino, de éste a través de un conductor intermedio pasa a un segundo molino y así sucesivamente atraviesa hasta el último molino según el tamaño de la batería (4 a 7 molinos los más usados).

El molino consta normalmente de 3 cilindros (2 inferiores y 1 superior entre y arriba de los dos primeros), su misión es la extracción del jugo de la caña, en un principio estos cilindros eran lisos pero posteriormente y hasta la fecha se datan de ranuras (o rayados), pues esto ayuda a la extracción y al agarre del bagazo, al pasar entre los cilindros (mazas) las ranuras varían en su paso y su altura pero en la actualidad se están optando por generalizar a los tamaños mayores usados (2" o 3") de paso.

Inicialmente los cilindros o mazas de un molino eran fijos unos respecto a otros, éstos presentan serios problemas pues al pasar cuerpos extraños (piedras,

pedazos de acero, etc.) su soporte, llamada virgen, cedía y ocasionaba grandes problemas además la presión que se ejercía sobre el bagazo quedaba determinada por la altura del colchón de caña a la entrada del molino. Para solucionar esto se comenzó la búsqueda de presiones elásticas, lo que condujo a la colocación de resortes de alto calibre sobre la maza superior, la cual podía levantarse o bajar (flotación), como medio para presionar sobre los apoyos del cilindro superior y es lo utilizado hasta la fecha.

Conductores

Son los encargados de llevar el bagazo de un molino a otro, existen varios tipos: los de cadena de arrastre o de rastrillo, los de tablilla persiana, de banda, etc.

Estos están provistos de clutch (o debería de estarlo) los cuales detienen el conductor intermedio (que también son movidos por el mismo molino) cuando cuerpos extraños como metal o piedras pasan a través del mismo o cuando se produce atoramiento o atascamiento (tacos), en los molinos, por tal su funcionamiento debe estar en la mejor forma. Las piedras y los metales causan daño en los cilindros sobre todo en la destrucción de los dientes lo que ocasiona problemas en la extracción y elevados costos de reparación.

Para el mejoramiento de la extracción de jugo del bagazo se adopta (generalmente antes del último molino) la adición de agua al bagazo, en los molinos anteriores se echa jugo diluido del molino al cual precede y a esto se le llama imbibición (simple o compuesta). La imbibición suele causar problemas pues para el molino se hace más difícil tomar el bagazo imbibido que seco.

Purificación del Guarapo: Clarificación:

El jugo de color verde oscuro procedente de los molinos es ácido y turbio. El proceso de clarificación (o defecación), diseñado para remover las impurezas tanto solubles como insolubles, emplea en forma general, cal y calor agentes clarificante. La lechada de cal, alrededor de 16 (0,5 kg) (CaO) por tonelada de caña, neutraliza la acidez natural del guarapo, formando sales insolubles de calcio. El jugo clarificado transparente y de un color parduzco pasa a los evaporadores sin tratamiento adicional.

Evaporación:

El jugo clarificado, que tiene más o menos la misma composición que el jugo crudo extraído, excepto las impurezas precipitadas por el tratamiento con cal, contiene aproximadamente un 85 % de agua. Dos terceras partes de esta agua se evapora en evaporadores de vacío de múltiple efecto, con esta operación se convierte en matadura. Los evaporadores trabajan en múltiples efectos, y el vapor producido por la evaporación de agua en el primer efecto es utilizado para calentar el segundo y así, sucesivamente, hasta llegar al quinto efecto que entrega sus vapores al condensador. El condensador es enfriado por agua en recirculación desde el estanque de enfriamiento. Todo este proceso de ebullición ocurre al vacío.

Clarificación del Jugo Crudo:

El proceso es similar a la fosfatación del refundido en unas refinerías de azúcar. En este caso, se añaden al jarabe o meladura cal y ácido fosfórico, luego se airea junto con la adición de un polímero floculante.

Cristalización

La meladura pasa a los tachos donde continúa la evaporación de agua, lo que ocasiona la cristalización del azúcar. Es decir que, al seguir eliminando agua, llega un momento en el cual la azúcar disuelta en la meladura se deposita en forma de cristales de sacarosa. Los tachos trabajan con vacío para efectuar la evaporación a baja temperatura y evitar así la caramelización del azúcar.

En este momento se añaden semillas a fin de que sirvan de medio para los cristales de azúcar, y se va añadiendo más jarabe según se evapora el agua. El crecimiento de los cristales continúa hasta que se llena el tacho.

La templa (el contenido del tacho) se descarga luego por medio de una válvula de pie a un mezclador o cristalizador.

Centrifugación o Purga; Reebullición de las Mieles:

En los tachos se obtiene una masa, denominada masa cocida, que es mezcla de cristales de azúcar y miel. La separación se hace por centrifugación en las maquinas destinadas a esa labor. De las centrífugas sale azúcar cruda y miel. La miel se retorna a los tachos para dos etapas adicionales de cristalización que termina con los conocimientos, o melaza. El azúcar de tercera se utiliza como pie

para la cristalización del segundo conocimiento y el azúcar de segunda para el conocimiento de primera.

El tambor cilíndrico suspendido de un eje tiene paredes laterales perforadas, forradas en el interior con tela metálica, entre éstas y las paredes hay láminas metálicas que contienen de 400 a 600 perforaciones por pulgada cuadrada. El tambor gira a velocidades que oscilan entre 1000-1800 rpm. El revestimiento perforado retiene los cristales de azúcar que puede lavar con agua si se desea. El licor madre, la miel, pasa a través del revestimiento debido a la fuerza centrífuga ejercida (de 500 hasta 1800 veces la fuerza de la gravedad), y después que el azúcar es purgado se corta, dejando la centrífuga lista para recibir otra carga de masa cosida. Las máquinas modernas son exclusivamente del tipo de alta velocidad (o de una alta fuerza de gravedad) provistas de control automático para todo ciclo. Los azúcares de un grado pueden purgarse utilizando centrífugas continuas.

Algunas definiciones generales de la caña de azúcar

Definiciones básicas del proceso industrial de azúcar (Según Huggot, 1967 y Santibáñez, 1983)

Brix: es la suma de todos los sólidos disueltos (azúcar y no azúcar) expresada como % en peso. Es aplicable al jugo y cualquier otra disolución que contenga azúcar. Ejemplo si en 100 partes en peso de jugo están contenidas 12 partes de sólidos disueltos y el resto (88) son de agua, ese jugo contiene 12 % de sólidos solubles, o sea, 12 grados Bx.

Para medir este valor se utiliza en hidrómetro o areómetro, concebido por el químico austriaco Brix; su escala indica o coincide con el % de sacarosa en disoluciones totalmente puras. En todo material azucarero (jugo, mieles, etc.) el grado Brix es siempre mayor que el valor de Pol.

Mientras que en materiales de elevada pureza como los licores de una refinería la diferencia entre estos indicadores es despreciable.

Pol: Es la sacarosa contenida en una disolución, expresada como % en peso, determinado analíticamente con un polarímetro o sacarímetro.

En disoluciones puras % Pol equivale exactamente a % de sacarosa, mientras que en otras impuras como el jugo de caña y las mieles, que contienen otras sustancias óptimamente activas, existe una diferencia entre estos dos valores, diferencia que será mayor, cuanto más impura sea la disolución. Por esta razón el valor de Pol es aceptado internacionalmente como sacarosa aparente.

Pureza: Es la cantidad de sacarosa contenida en 100 partes de sólidos totales, expresada en tanto por ciento.

En la práctica, la pureza aparente se calcula con los valores de Pol y de Brix, mediante la expresión siguiente:

$$\text{Pureza} = \text{Pol} / \text{Bri} \times 100$$

La pureza da la medida de la cantidad o proporción de impurezas disueltas en el jugo, que será necesario eliminar en procesos posteriores, de ahí su interés. Ejemplo en un jugo con 80 % de pureza habrá un 20 % de impurezas.

No-Azucares: son todas las sustancias que no son sacarosa y que forman parte del jugo de caña como sólidos disueltos. En este término se incluyen otros azúcares (azúcares reductores). La presencia de estas es indeseable para el proceso de fabricación de azúcar, por lo que será necesario eliminarlas durante los diferentes procesos tecnológicos, a los que serán sometidos la materia prima y materiales intermedios. En la práctica, no azúcares es simplemente la diferencia entre Brix y Pol:

$$\text{No-azúcar} = \text{Brix} - \text{Pol}$$

Caña: es la materia prima normalmente suministrada a la fábrica y que comprende la caña propiamente dicha, la paja, el agua y otras materias extrañas:

Paja: es la materia seca, insoluble en agua, de la caña

Jugo Absoluto: son todas las materias disueltas en la caña, más el agua total de la caña.

Bagazo: es el residuo después de la extracción del jugo de la caña por cualquier medio, molino o presa.

Jugo Residual: es la fracción de jugo que no ha podido ser extraída y que queda en el bagazo.

Recobrado: es 87% un indicador esencial de eficiencia de conjunto con el rendimiento industrial, donde se establece un valor porcentual de la cantidad de azúcar que se recupera del total que entra en la caña. Para medir el recobrado se tienen implícitas las pérdidas en el proceso fabril donde parte del azúcar contenida en la caña se pierde en los productos finales como el bagazo, la cachaza y la miel final; así como por pérdidas indeterminadas por salideros, derrames entre otros.

Materias extrañas: % de impurezas que entran al central con la caña limpia. Se consideran impurezas: la paja seca, hojas verdes, renuevos, raíces, tierra, malezas, ente otras. Estas incrementan el peso de la caña y no producen azúcar lo cual deteriora considerablemente los indicadores de eficiencia de la fábrica (recobrado y rendimiento industrial).

El clima cubano

El clima cubano se caracteriza por temperaturas y humedades elevadas la mayor parte del año. El promedio de las temperaturas de bulbo seco máximas diarias es superior a 30 °C durante 7 meses del año, siendo el promedio anual de 30,1 °C. El promedio anual de las temperaturas de bulbo seco es menor (25,1 °C) pero en dicho promedio se incluyen las temperaturas nocturnas cuando la mayoría de los trabajadores no están trabajando. Aun el promedio de las temperaturas durante la jornada laboral diurna es engañoso puesto que el trabajador no siente el promedio sino la temperatura en cada momento y no le alivia que enero tenga un promedio de 22,4 °C cuando durante agosto la temperatura es de 33 °C En este sentido resulta más representativo el valor máximo de la temperatura que casi de manera absoluta ocurre dentro del horario laboral para la mayoría de los trabajadores (Viña, 2005).

Betancourt (1983) agrega que la humedad relativa promedio, con las mismas insuficiencias del promedio de las temperaturas, es mayor del 80% en 8 meses del año y que en trabajos a la intemperie (construcciones, agricultura, por ejemplo) tiene fuerte influencia la radiación solar.

I.2 Estado actual del conocimiento del problema de investigación

Estudios realizados sobre los rendimientos agrícolas e industrial en la caña de azúcar

Gálvez (2010) explica que la industria azucarera a partir de la caña de azúcar ha evolucionado en sus rendimientos mayormente a partir de la década 1950-1960. Sin embargo, refiere el autor que cuando se habla de los rendimientos es importante precisar que el componente final de azúcar por área es el producto de rendimiento en caña por área y el del porcentaje de azúcar recuperado y que sobre ambos componentes se ha trabajado en la investigación en forma permanente, ya que estos a su vez son el producto de muchas y complejas variables que pueden ser modificadas mediante el manejo agronómico y la genética (Cox, *et al.*, 2000; Lawes y Lawn, 2005).

Rodríguez (1989) refiere que hoy en día es reconocido que el mejoramiento genético, con su resultado final, las nuevas variedades han influido en los aumentos de los rendimientos alrededor del 50 % o más. Sin embargo la contribución del nuevo germoplasma y la de los nuevos avances de la tecnología en el manejo del cultivo son bastante complejos de estimar (Edme y *et al.*, 2005), pues intervienen además de las herramientas tecnológicas variables de tanta importancia como los suelos y la lluvia que recibe el cultivo anualmente (Rodríguez, 1989).

Gálvez (2010) indica que no es común la utilización de los datos que la industria puede proveer para asistir en las decisiones a tomar para el manejo de esta, que los pocos trabajos con suficiente rigor realizados con datos de la industria han revelado que existen tendencias sistemáticas en el comportamiento del rendimiento por área, en caña y en azúcar, donde a pesar de estos éxitos aislados, no existen análisis rutinarios usando los datos de la industria, menos aun utilizando las modernas técnicas de la estadística (Lawes y Lawn, 2005)

Gálvez (2010) sostiene que en Cuba se han realizado análisis aislados de los rendimientos con los datos de la industria, sobresaliendo los de Acosta (2000), que han sido realizados con propósitos muy específicos y resultados interesantes, aunque sin utilizar técnicas modernas de estadística. Sin embargo existe una gran cantidad de datos que brinda la industria que pueden ser utilizados de forma más moderna. Por su parte Soto (2003) y Gálvez *et al.*, (2004 a; 2004 b; 2006) han utilizado datos de producción de la provincia La Habana de un periodo de 22 años

para modelar el rendimiento en la caña de azúcar. Sin embargo el tema demanda de un trabajo más amplio por la importancia que puede tener para la toma de decisiones de la industria de la caña de azúcar en Cuba (Rodríguez, 1989).

Gálvez (2010) asegura que en el rendimiento en caña de azúcar de Cuba la ganancia es de 22 t caña. ha⁻¹ o de 0,55 t caña.año⁻¹ o de 1,54 % anual sobre el valor inicial y que en azúcar por área la ganancia total resulta 1,55 t azúcar.ha⁻¹ o sea 0,84 % de ganancia anual. Para conocer la magnitud de estos valores los comparó con el país Australia que ha tenido una ganancia de 28 t caña.ha⁻¹ y de 4 t azúcar. ha⁻¹ o sea 0,1 t azúcar.ha.año⁻¹ (BSES, 2000). Donde llegó a la conclusión que la ganancia total de Australia fue de 2,9 veces mayor en azúcar por área que la de Cuba; además Australia partió de valores más altos que Cuba pues tenía 8 t azúcar.ha⁻¹ en 1950, mientras que Cuba tenía en la misma época 4,6 t azúcar.ha⁻¹, lo anterior significa que es más complejo aumentar los rendimientos en la situación de industria como la de Australia.

Rodríguez (1989) explica que en el caso de Cuba es obvio que el aumento obtenido en azúcar por área, a través de los años, es debido casi totalmente al aumento en el rendimiento agrícola pues los valores de recobrado en sacarosa que promediaban 12,65 de 1951 a 1968, este comenzó a decrecer casi sistemáticamente a partir de esa fecha para obtener un promedio de 11,06 entre 1970 y 1990, es decir alrededor del 14 % menos del valor de sacarosa, rendimiento agrícola, que indica una asociación positiva, pero con una determinación de tiempo sobre el rendimiento solo del 37,66 %. Más adelante concluye que la interpretación de este resultado indica que hubo una tendencia a aumentar el rendimiento con el tiempo, pero que esta tendencia tuvo fluctuaciones anuales, debida seguramente a factores de manejo.

Álvarez (2001) agrega que especialmente la cantidad de área que se reponía anualmente y a la época del año en que se hacía, así como también la lluvia tanto total como por periodos puede ejercer gran influencia. Soto (2003) y Gálvez *et al.* (2004 a y b.), hallaron que la lluvia, tanto el total anual, como por diferentes periodos era un factor de gran importancia a tener en cuenta como componente del rendimiento agrícola y por lo tanto del rendimiento en azúcar por área.

Gálvez (2010) expone que la fertilización total también tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento agrícola, aunque con mayores fluctuaciones que el tiempo, así como también los problemas de manejo con los propios fertilizantes, su forma de usarlo, cantidades, formas de aplicación y otros factores pueden tener un efecto de importancia sobre el rendimiento, además de otros factores como la lluvia y el manejo de las épocas de siembra entre otros (Cuéllar *et al.*, 2002). Se concluye que el mayor efecto de los fertilizantes mayores ocurre sobre el rendimiento agrícola tal como ha reportado Sulroca, (1995) y que a su vez las t caña.ha⁻¹ tienen una determinación muy fuerte sobre las t pol.ha⁻¹ en coincidencia con lo planteado por Castro, (1992).

Rodríguez (1989) explica que el efecto de la mecanización sobre el recobrado fue prácticamente nulo ya que su R² fue solamente de 0,01 en el modelo de regresión lineal y que existe la creencia entre muchos productores en Cuba de que el incremento de la mecanización trajo consigo el decremento del recobrado, particularmente por la introducción de materias extrañas que trajo consigo la mecanización. Sin embargo, continúa el autor debe apuntarse que la introducción de la cosecha mecanizada no influyó negativamente en el recobrado en azúcar de otros países como Australia que tiene prácticamente un 100 % de cosecha mecanizada desde hace más de 25 años y sus valores de recobrado no han disminuido (BSES, 2000). Concluye Gálvez (2010) que si se mantiene el porcentaje de materias extrañas bajo, se procesa la caña con menos de 18 horas y se cosechan variedades de alto contenido azucarero en el momento adecuado, no debe haber tendencias a decrecer el recobrado.

(Cuéllar *et al.*, 2002) expresa que dos aspectos de gran importancia en el manejo no han sido tomados en consideración en el análisis de los rendimientos agrícolas e industrial: el efecto de las variedades, es decir el efecto genético y el de la humedad del suelo, tanto del riego como de la lluvia y que ambos efectos son complejos de medir en sus efectos.

Gálvez *et al.* (2004) utilizando el análisis de componentes principales y la regresión lineal múltiple para modelar el rendimiento de 22 cosechas en la provincia La Habana, hallaron que el efecto de las 3 variedades más azucareras

era de alta importancia para definir el rendimiento. Posteriormente Edmé et al. (2005) hallaron importantes contribuciones a los aumentos del rendimiento del germoplasma de Canal Point a la industria de la caña de azúcar en la Florida por un periodo de 33 años.

El autor se propone continuar con esta temática utilizando técnicas analíticas estadísticas más sofisticadas como la modelación entre otras.

Crossa, J. (1990) y Jones *et al.* (2004) sugieren que para disminuir los sesgos en que se incurren cuando se analizan datos en que las causas pueden estar confundidas por la multiplicidad de factores a tener en cuenta en los resultados finales.

I. 3 Carencia que se quiere llenar con la investigación

La UEB de atención al productor Antonio Sánchez se encuentra ubicada en la región más suroccidental de la provincia de Cienfuegos, en el municipio de Aguada de Pasajeros, limitando al Norte con el poblado de Real Campiña; al Sur con la Ciénaga de Zapata, de la provincia de Matanzas, al Este con el municipio de Abreus y por el Oeste también con la cabecera municipal, Aguada de Pasajeros. La industria propiamente dicha comenzó a construirse en el año 1902, realizando su primera zafra en el año 1905. En el año 1919 se realizan nuevas inversiones en el central consistentes en un tándem, dos juegos de centrífugas, dos condensadores y una planta eléctrica con tres turbogeneradores de 5600 Kw cada uno, lo que provocó un incremento en los niveles de producción, muy buenos para aquella época. El hecho de que pudieran haber quedado constituidos como productores de azúcar, hizo que el central comenzara a expandir su negocio por lo que nuevas inversiones se realizaron con la construcción de un ramal de ferrocarril a través de la Ciénaga de Zapata y con ello, comienza una explotación indiscriminada de las riquezas de la zona, obteniendo grandes dividendos.

En este municipio, la UEB de atención al productor Antonio Sánchez, se ha convertido en su principal rubro económico. Tómese en cuenta que antes del proceso de reestructuración del Ministerio del Azúcar, el municipio contaba con otro central, el “Primero de Mayo”, central de mucha mayor capacidad de molienda que éste; sin embargo, la carencia de materia prima hizo que fuera demolido por

no contar con las áreas cañeras suficientes como para enfrentar las zafras que se hacen necesarias; de ahí que el “Antonio Sánchez” quedara solo en el municipio para la producción de azúcar crudo. El mismo revista vital importancia, ya que desde hace algún tiempo se ha convertido en un complejo agroindustrial casi completo a los efectos, no solo de la producción de azúcar, sino también la de derivados. En el territorio en donde está enclavado el central se encuentran también una fábrica de alcoholes finos (ALFICSA) que produce a partir de las mieles, no solo las de esta empresa, sino de muchos otros centrales del país, dada su gran capacidad de procesamiento; con los mostos de la destilería, más algo de miel, se produce la levadura Torula, considerado un muy completo alimento animal, fundamentalmente para la rama porcina y una fábrica de ron que produce tanto para el consumo nacional como para el mercado en divisas del país. Adjunto a la planta de levadura Torula se instaló una planta de envase de CO₂ aprovechando la característica de la fábrica de alcoholes finos, ya que sus fermentadores son herméticos, por lo que ese sub producto se envía por tuberías y se envasa en la planta en cuestión.

Todo esto quiere decir que es una de las pocas instalaciones industriales que no emite ningún elemento a la atmósfera y aprovecha todos los elementos que la gramínea ofrece: al efectuarse la primera separación de la materia prima, la fibra (bagazo) se utiliza como combustible en la generación de vapor y de electricidad, aunque en estos momentos no se está haciendo, pueden aprovecharse también los excedentes de bagazo en la producción de madera artificial o en pulpa de papel, sirviendo como tributario de esas industrias; el jugo de la caña es procesado en la fábrica de azúcar (el central), del cual se separa la cachaza que es utilizada como fertilizante orgánico en las plantaciones cañeras de la propia empresa (en una etapa se estuvo utilizando también, mezclada con bagazo, como alimento animal); continúa el proceso y se produce el azúcar que es enviada a la terminal de azúcar a granel de Cienfuegos “Tricontinental” para su exportación y la miel es enviada a la fábrica de alcoholes finos; allí es utilizada para la producción de dicho producto y, como ya se dijo, el CO₂ que genera se envía a la planta aledaña, mientras que los mostos son utilizados en la producción de levadura

Torula (se ahorran tres toneladas de miel por tonelada de Torula con su utilización); la levadura es envasada y utilizada como alimento animal, mientras que sus mostos son enviados a una laguna de oxidación, ya muy débiles como para hacer daño al medio y se utiliza para fertilizar las áreas cañeras que se encuentran en el área de incidencia de este riego, por lo que se puede decir que se cierra el ciclo de la caña de azúcar sin que vaya nada a afectar al medio ni se pierda nada de lo que ella ofrece, ya que ese mosto regresa al suelo y se utiliza en la producción cañera, tal y como se muestra en el anexo

Durante la etapa capitalista, el central cambió de propietario en dos ocasiones, hasta el triunfo revolucionario, época en que fue nacionalizado.

Durante esta última etapa, el central fue transitando por varias estructuras organizativas, primero dependiente del Ministerio de Industrias y posteriormente del Ministerio de la Industria Azucarera, mientras que la parte agrícola era dirigida por el Ministerio de la Agricultura, por tanto, eran dos unidades completamente diferenciadas e independientes una de la otra, hasta que se crearon los complejos agroindustriales azucareros, por lo que continuaron comenzó a cambiar la estructura organizativa de la unidad.

Ya en 1984 fueron fusionadas por fin las empresas industriales y cañeras y se crearon los llamados complejos agroindustriales azucareros. Por supuesto que en ese mismo año se fusionaron las empresas cañera y azucarera “Antonio Sánchez” y se creó el complejo agroindustrial azucarero con el mismo nombre.

Misión de la empresa

Dirigir y controlar la producción de caña de azúcar, alimentos y sus derivados, con altos rendimientos agrícolas e industriales, disminuyendo los costos y con la calidad requerida. Alcanzar una óptima reparación y mantenimiento en la industria, la maquinaria y el transporte, con una adecuada capacitación y atención al hombre para que la producción azucarera ocupe un lugar destacado en la economía del país y así contribuir al desarrollo paulatino del mismo, con la sostenibilidad que demanda el medio ambiente. Para de esta forma consolidar el Sistema de Gestión y Dirección

Visión de la empresa

Los incrementos en los rendimientos agrícolas y en la producción de caña de azúcar y derivados de una forma medioambientalmente sostenible, así como la eficacia en las actividades de reparación y mantenimiento de las maquinarias y medios agrícolas e industriales y una política de ahorro integral, permiten una reducción de los costos y un aumento de la calidad. El incremento de la producción de alimentos alcanzara los niveles suficientes para el autoabastecimiento territorial con una alta eficiencia y calidad en las producciones. La consolidación de la política de ahorro así como las mejoras continuas del sistema energético nos permitirán el autoabastecimiento de energía durante todo el año. La eficiente gestión de los Recursos Humanos logra una mayor identificación del hombre con su trabajo y fortalece las relaciones entre todos los miembros de la organización, con un fortalecimiento en la atención al hombre y a su entorno.

Con independencia de la fusión de las empresas cañera e industrial azucarera “Antonio Sánchez”, la división del trabajo de ninguna de ellas sufrió cambio alguno. En el presente trabajo no es objeto de estudio la parte agrícola, por lo que se dedicará solamente a análisis del área industrial, razón de ser de todo el andamiaje empresarial dedicado a la producción de azúcar a partir de la materia prima (caña).

II. Materiales y métodos

El municipio de Aguada de Pasajeros que forma parte de los ocho territorios que integran la provincia de Cienfuegos (Figura 1), situado en su porción oeste, en los 22° 21'de latitud norte y los 80° 47'de longitud oeste. Limita al norte con el municipio Los Arabos de la provincia de Matanzas, al este con los municipios de Rodas y Abreu, al sur con el municipio Ciénaga de Zapata y al oeste con el de Calimete, ambos de la provincia Matanzas. El relieve está representado mayoritariamente por la llanura de Cienfuegos y su porción norte en la llanura de Manacas. Ocupa una superficie de 680.2 Km² que representan el 16.27 % de la provincia.

La Unidad de Atención al Productor Antonio Sánchez está ubicada en el consejo popular Torula del municipio Aguada de Pasajeros, específicamente en el poblado de Covadonga. Cuenta con 8 entidades productoras de caña, distribuidas a lo largo de todo el municipio.

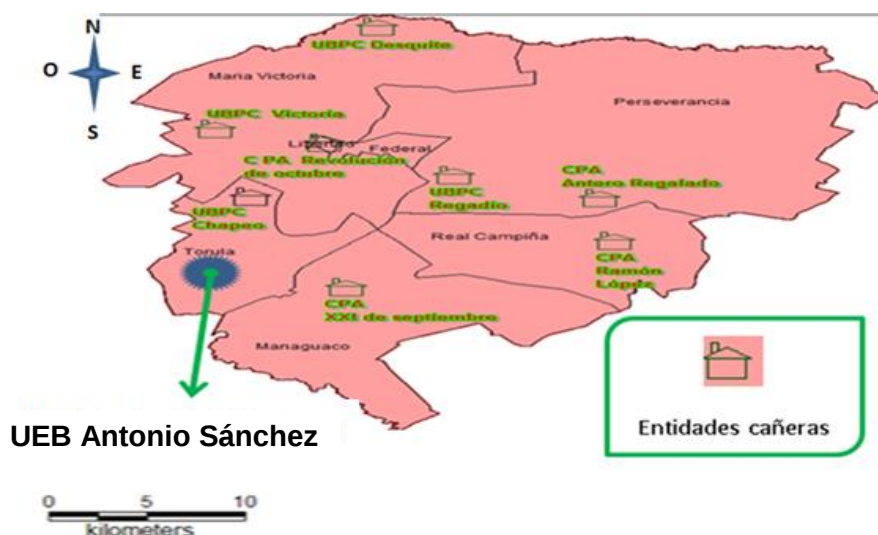


Figura 1 Mapa de la ubicación de las entidades cañeras dentro del municipio Aguada de Pasajeros Fuente: Proyecto ESPIM, 2012.

La presente investigación se desarrolló en la fábrica de azúcar "Antonio Sánchez" del municipio Aguada de Pasajeros, provincia de Cienfuegos. Durante las campañas 2008– 2013, donde se desarrolló una investigación no experimental de tipo explicativa en condiciones de producción.

II.1 Caracterización de las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez

Para el análisis de las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez, se obtuvieron de la estación meteorológica municipal las siguientes variables:

- ✓ Temperatura media anual (°C)
- ✓ Promedio de temperatura máxima anual (°C)
- ✓ Promedio de temperatura mínima anual (°C)
- ✓ Humedad relativa media anual (%)
- ✓ Precipitaciones totales (mm).

Se calculó, además el indicador de sequía propuesto por Tecnociencia (2006) conocido como método de porcentaje de la precipitación normal (PPN) que parte de establecer la división porcentual entre las precipitaciones acumuladas anuales en 8 años y la precipitación media anual para el agro ecosistema en estudio.

II.2 Caracterización de los indicadores del proceso productivo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez

Para la caracterización de los indicadores productivos de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez se recopilaban en 6 años de los datos de las siguientes variables de la base de datos de la UEB atención al productor del mismo nombre:

- ✓ Área molible (ha)
- ✓ Rendimiento agrícola ($t \cdot ha^{-1}$)
- ✓ Producción de caña (t)
- ✓ Índice de cultivo ($Pases \cdot ha^{-1}$)
- ✓ Índice de limpia manual ($Pases \cdot ha^{-1}$)
- ✓ Índice riego de herbicidas ($Pases \cdot ha^{-1}$)
- ✓ Índice fertilización P y K ($Pases \cdot ha^{-1}$)
- ✓ Índice de fertilización con N ($Pases \cdot ha^{-1}$)
- ✓ Cepas de ciclo largo (%)
- ✓ Cepas de ciclo corto (%)
- ✓ Rendimiento de Pol en Caña (%RPC)
- ✓ Brix (%)

- ✓ % de Pol
- ✓ Toneladas de Pol por ha (Pol.ha^{-1})
- ✓ Pureza (%)
- ✓ Materias extrañas (%)
- ✓ Recobrado (%)
- ✓ Rendimiento industrial (%)
- ✓ Caña molida (t)
- ✓ Toneladas de azúcar por hectárea (t azúcar.ha^{-1})
- ✓ Azúcar producida (t)
- ✓ Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)
- ✓ Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)
- ✓ Temperatura media ($^{\circ}\text{C}$)
- ✓ Humedad relativa (%)
- ✓ Precipitaciones anuales (mm)

Los datos de los variables fueron confrontados con la literatura para llegar a un diagnóstico de la eficiencia industrial de la fábrica en análisis.

2.2.3 Evaluación de la Influencia del clima y la calidad de la materia prima sobre el recobrado y el rendimiento industrial de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.

Para el logro de este objetivo a los datos de las variables se le aplicó estadística multivariada de componentes principales (INIFAT; 2001), y de conglomerados (Clusters) donde se usó el sistema computarizado SPSS versión 15.0.

Las variables analizadas fueron: Área molible (ha), Rendimiento agrícola (t.ha^{-1}), Producción de caña (t), Índice de cultivo (Pases.ha^{-1}), Índice de limpia manual (Pases.ha^{-1}), Índice riego de herbicidas (Pases.ha^{-1}), Índice fertilización P y K (Pases.ha^{-1}), Índice de fertilización con N (Pases.ha^{-1}), Cepas de ciclo largo (%), Cepas de ciclo corto (%), Rendimiento de Pol en Caña (% RPC), Brix (%), % de Pol, Toneladas de Pol por ha (Pol.ha^{-1}), Pureza (%), Materias extrañas (%), Recobrado (%), Rendimiento industrial (%), Caña molida (t), Toneladas de azúcar por hectárea (t azúcar.ha^{-1}), Azúcar producida (t),

Temperatura máxima (°C), Temperatura mínima (°C), Temperatura media (°C), Humedad relativa (%) y Precipitaciones anuales (mm).

Este análisis nos permitirá extraer las componentes y las variables de mayor peso dentro de la fábrica. Los datos de las variables de mayor peso en las variaciones totales fueron procesados mediante regresión lineal múltiple por el método de variables introducidas y se establecieron los modelos donde se ubican a las variables que más aportan a las variaciones del rendimiento industrial y el recobrado, indicadores de la eficiencia industrial usados como variables dependientes en el análisis.

III. Resultados y discusión

III.1 Caracterización de las condiciones climáticas en que se desarrolla la producción de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez

Como se observa (Figura 2) en el territorio las condiciones climáticas se caracterizan por tener un promedio de temperatura máxima de 31.83 °C, donde los valores más elevados se observan los años: 2011 (36.17°C), 2008 (32.01°C) y 2012 (31.26°C). La temperatura mínima promedio anual es de 20.01°C, donde los años 2009 (21.26°C) y 2011 (20.21°C). La temperatura promedio anual es de 24.77 °C, donde los valores más elevados se perciben en los años: 2009 (25.75°C) y 2008 (25.04°C). El valor promedio de temperatura en el municipio sugiere un clima cálido en cuanto a las temperaturas máximas y promedios, lo cual se corresponde con lo planteado por González (1976) y Blume (1983) que plantean como clima ideal para la caña de azúcar un verano largo y caliente, mientras que se requiere de un día soleado y frío en la época de maduración y cosecha, lo cual no se manifiesta en el estudio de los años evaluados por lo que podría afectar la eficiencia industrial por mala calidad de la materia prima que se exterioriza en climas con dichas temperaturas (Santibáñez, 1983 y Gálvez, 2010) .

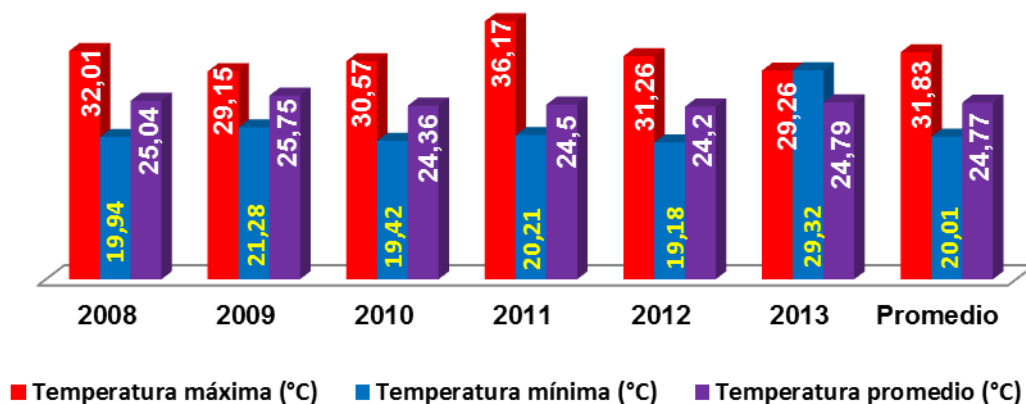


Figura 2 Temperaturas registradas en los años estudiados en el municipio Aguada de Pasajeros.

Como se percibe (Figura 3) en el territorio las condiciones climáticas se caracterizan por tener un promedio de humedad relativa del 77.02%, donde los años con los valores más elevados son: 2009 (79.83%), 2012 (79.00%) y 2010 (77.09%). Estos valores son considerados elevados por Viña (2005), quien considera elevada la humedad relativa con valores superiores al 75%; así por Gálvez (2010) quien además refiere que la elevada humedad ambiental afecta la calidad de la materia prima que llega a la fábrica, pues incrementa el % de materias extrañas que la componen, lo cual conlleva a que se afecte el recobrado que es un indicador esencial de la eficiencia industrial.

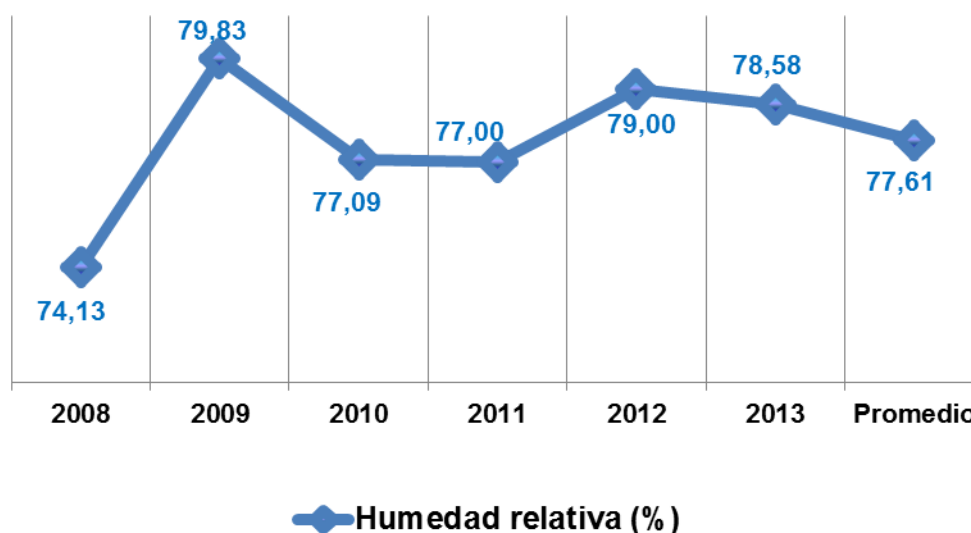


Figura 3 Humedad relativa de los años estudiados en el municipio Aguada de Pasajeros.

En la figura 4 se muestran las precipitaciones totales en los años estudiados en el municipio Aguada de Pasajeros. La media de precipitaciones anuales es de 1289 mm, donde los años más lluviosos son: 2012 (1996 mm) y 2011 (1139 mm). Lo cual está por debajo de los 1500 mm mínimos que requiere la caña para obtener un rendimiento agrícola aceptable (Srinivasan, 1983). Aunque es favorable para la obtención de un rendimiento industrial elevado, donde se requieren precipitación bajas en el periodo de maduración y cosecha (González, 1976).

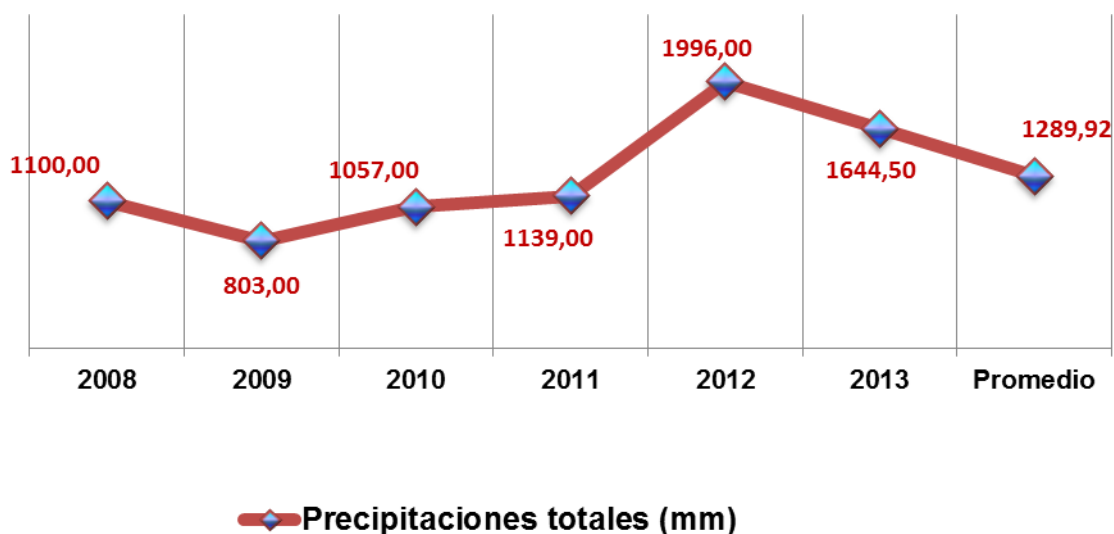


Figura 4 Precipitaciones totales en los años estudiados en el municipio Aguada de Pasajeros.

En la figura 5 se muestra el Porcentaje de precipitaciones normales (PPN) en los años estudiados en el municipio Aguada de Pasajeros. Se observa que llovió por debajo de la media histórica en los años 2008 (-14.72%), 2009 (-37.75%), 2010 (-18.06%) y 2011 (-11.70%), donde clasifica como sequía moderada el año 2009. Los años 2012 (54.74%) y 2013 (27.49%) llovió por encima de la media histórica. Estos resultados indican que en los años que llovió por encima de la media (2012 y 2013) se pudo ver afectada la calidad de la materia prima que se recibe en la fábrica pues según Gálvez (2010) en los años lluviosos se eleva el % de materia extrañas que afecta el recobrado y disminuye la Pol pues la concentración de sacarosa disminuye al incrementarse la cantidad de agua en el jugo extraído de los tallos. Todo lo cual reduce la eficiencia industrial de la fábrica (Santibáñez, 1983).

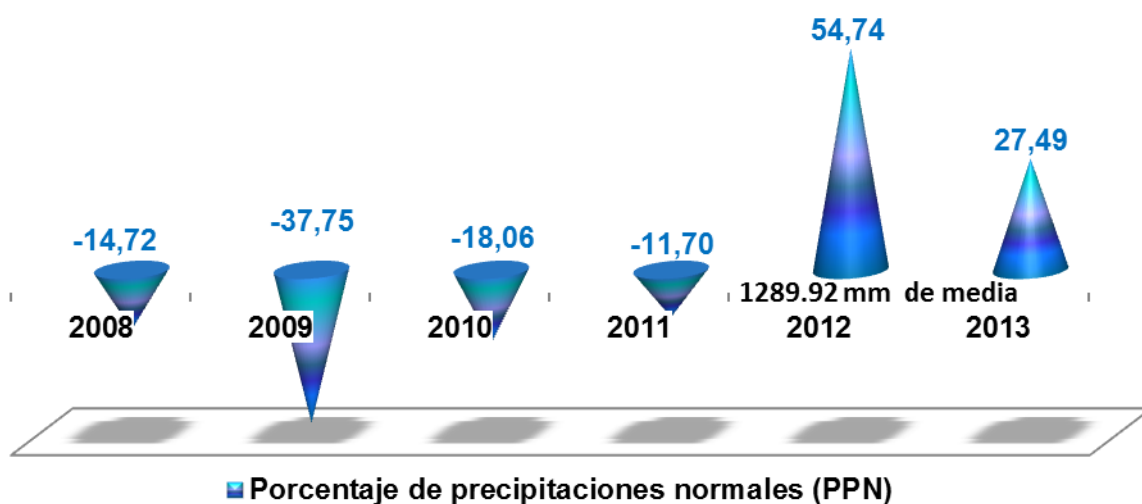


Figura 5 Porcentaje de precipitaciones normales (PPN) en los años estudiados en el municipio Aguada de Pasajeros.

III.2 Caracterización de los indicadores del proceso productivo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.

La calidad de la materia prima en la fábrica Antonio Sánchez aparece en la Tabla 1:

Tabla 1 Cantidad y calidad de la materia prima en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez

Años	Área cosechada (ha)	Rendimiento caña (t.ha ⁻¹)	Rendimiento Azúcar (t.ha ⁻¹)	Rendimiento Pol (t.ha ⁻¹)	Pureza (%)	RPC (%)	% de materias extrañas
2008	6670	30,1	3,24	3,65	91,63	12,17	8,53
2009	5483	34,8	4,04	3,96	89,10	11,69	9,12
2010	5675,4	36,47	4,29	4,81	91,95	12,26	8,56
2011	5637,45	45,75	4,42	8,07	88,94	12,26	8,62
2012	6008,68	50,39	4,69	8,87	87,59	12,01	8,04
2013	5752,17	51,26	4,60	8,79	87,40	11,94	11,67
Media	5871,12	41,46	4,21	6,36	89,43	12,06	9,09

Como se percibe (Tabla 1) la fábrica Antonio Sánchez como promedio recibe materia prima de 5871.12 ha, el área molible oscila entre 5483 ha (2009) y 6670 ha (2012). El aumento del área molible según Sulroca, (1995) puede elevar la producción de azúcar si aumenta la cantidad de materia prima que llega a la fábrica, lo cual no quiere decir que se eleve el rendimiento industrial que solo depende de la calidad de la misma que llega al basculador y de la eficiencia fabril (recobrado).

El rendimiento cañero promedia 41.46 t.ha⁻¹, el cual se observa que se incrementa de un año a otro, donde oscila de 30.1 t.ha⁻¹ (2008) a 51.26 t.ha⁻¹ (2013), que según Rodríguez (1989) al estar por encima de la 50 t.ha⁻¹ se puede considerar que está elevado.

El rendimiento en azúcar promedia 4.21 t.ha⁻¹, el que oscila entre 3.24 t.ha⁻¹ (2008) y 4.69 t.ha⁻¹ (2012), que según Gálvez (2010) es bajo pues países como Australia obtienen alrededor de 8 t.ha⁻¹ de azúcar y que en Cuba el incremento de este indicador a través de los años se debe casi exclusivamente al incremento del rendimiento agrícola y no al recobrado pues la elevación de las áreas con cosecha mecanizada incidió negativamente en este indicador de eficiencia, lo contrario de lo que sucedió en otros países con indicadores de mecanización más elevados (Rodríguez, 1989).

El rendimiento en Pol por hectárea promedia 6.36 t.ha⁻¹ que muestra un incremento en los últimos años, indica una mayor concentración de sacarosa en la materia prima que llega a la industria, sin embargo la pureza (89.43%) del jugo se reduce en los últimos años, lo cual indica una elevada concentración de no-azúcares, que puede deberse otros factores que producen un incremento de los azúcares reductores y que atentan contra la eficiencia de la fábrica (Santibáñez, 1983). Sin embargo el % de pureza que se obtiene en la fábrica es superior al mínimo establecido por Gálvez (2010) del 83%.

La concentración de sacarosa en la caña que llega al ingenio (RPC) promedia un 12.06 %, donde oscila entre 11.69 % (2009) y 12.26 % (2010 y 2011). Este

contenido es inferior al mínimo establecido por Santibáñez (1983) quien refiere que para que no se afecte la eficiencia industrial el RPC debe ser igual o mayor al 13%.

El porcentaje de materias extrañas que llega a la industria promedia 9.09% y oscila entre 8.04 % (2012) y 11.67% (2013). Se destaca que estos valores son superiores al 7% recomendado por (Santibáñez, 1983) para el logro de un eficiencia industrial óptima.

Los índices de labores agrícolas que se le aplican en la producción de la materia prima de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez aparecen en la Tabla 2:

Tabla 2 Índices de labores agrícolas que se le aplican en la producción de la materia prima de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.

Años	Índice de cultivo	Índice de limpia manual	Índice de aplicación de herbicidas	Índice de fertilización con P y K	Índice de fertilización con N
2008	1,90	2,30	0,56	0.94	0,83
2009	2,53	2,83	2,85	0.53	0,86
2010	1,44	1,29	1,28	1.74	0,89
2011	1,81	1,62	2,58	1.68	0,90
2012	2,83	1,49	2,22	1.74	0,88
2013	2,70	1,69	2,09	1.85	0,89
Promedio	2,20	1,87	1,93	1.41	0,88

Se advierte (Tabla 2) que el índice de cultivo mecanizado a la caña promedia 2.2 pases por hectárea, donde oscila entre 1.44 (2010) y 2.83 (2012), cuyos valores están por debajo de los tres pases por hectárea recomendados por Castro (1992) refiere que estas labores van encaminadas al control de malezas, poda de raíces y descompactación del suelo (en retoños) lo cual contribuye a elevar el rendimiento agrícola y por ende el rendimiento de azúcar por hectárea.

El índice de limpia manual promedia 1.87 pases por hectárea, que oscila entre 1.29 (2010) y 2.83 (2012), mientras que el índice de aplicación de herbicidas promedia 1.93 pases por hectárea que oscila entre 0.56 (2008) y 2.85 (2009), estos valores están por debajo de lo estipulado por Montero (2007) que asegura que se deben ejecutar entre tres y cinco labores para el logro de un buen control de malezas y que ambas labores de conjunto con el cultivo forman parte de la limpia integral cuyo objetivo principal es el control de malezas, que compite con la caña en nutrientes, humedad y luz; así como puede reducir el rendimiento agrícola. Álvarez (2004) explica que varias investigaciones demuestran que las malezas no controladas 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. La incidencia de las malezas sobre el rendimiento agrícola se revierte en la producción de azúcar por hectárea, además elevan el % de materias extrañas que inciden sobre el rendimiento industrial.

El índice de fertilización con fósforo y potasio promedia 1.41 pases por hectárea, donde oscila entre 0.53 (2009) y 1.85 (2013) que es bajo pues no se llega a aplicar estos dos elementos esenciales a todas las áreas en ninguno de los años evaluados.

De igual manera ocurre con la fertilización nitrogenada que promedia 0.88 pases por hectáreas y oscila entre 0.83 (2008) y 0.90 (2011). El mayor efecto de los fertilizantes mayores o macro elementos, ocurre sobre el rendimiento agrícola tal como ha reportado Sulroca, (1995) y que a su vez las t caña.ha⁻¹ tienen una determinación muy fuerte sobre las t pol.ha⁻¹ en coincidencia con lo planteado por Castro, (1992).

Los indicadores productivos de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez aparecen en la tabla 3:

Tabla 3 Indicadores productivos de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez

Años	Brix (%)	Pol (%)	Recobrado (%)	Rendimiento industrial
2008	13,78	12,12	85,15	10,75
2009	12,94	11,38	82,80	11,60
2010	15,01	13,20	85,45	11,75
2011	19,83	17,63	85,46	11,38
2012	20,09	17,60	81,07	9,90
2013	19,62	17,15	78,79	8,97
Promedio	16,88	14,85	83,12	10,73

Como se percibe en la fábrica Antonio Sánchez el Brix del jugo absoluto, promedia 16.88% y oscila entre 12.94% (2009) y 20.09 % (2012). Este resultado indica que el Brix está bajo pues para el logro de un buen rendimiento industrial este indicador debe estar alrededor del 20% (Santibáñez, 1983). Por su parte la Pol en el jugo extraído promedia un 14.85% y oscila entre 11.38% (2009) y 17.63% (2011). Mientras que el recobrado promedia el 83.12% y oscila entre 78.79 % (2013) y 85.46 % (2011) estos valores están por debajo del 87% propuesto por Santibáñez (1983) quien refiere, además, que este es un indicador elemental de la eficiencia industrial y que está relacionado con las materias extrañas (calidad de la cosecha) y con las pérdidas en el proceso de fabricación (Gálvez, 2010).

El rendimiento industrial promedia 10.73 % y oscila entre 8.97 (2013) y 11.75% (2010). Estos valores están por debajo de porcentaje establecido por (Santibáñez, 1983) quien refiere que una buena eficiencia industrial debe lograr rendimientos industriales por encima del 12%.

III.3 Evaluación de la Influencia del clima y la calidad de la materia prima sobre el recobrado y el rendimiento industrial de la fábrica de azúcar

Antonio Sánchez

El dendograma de los indicadores (Figura 6) muestra la formación de dos clusters o grupos homogéneos, donde en el primer grupo aparecen ubicadas la mayoría de los indicadores lo que demuestra la gran relación que existe entre las mismas en las condiciones de la investigación. En el segundo grupo que muestra una distancia euclidiana superior, aparecen el recobrado, el área molible, la producción de caña, el azúcar producido y las temperaturas máximas, aunque todos estos indicadores aparecen incluidos en el primer grupo.

***** HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS *

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

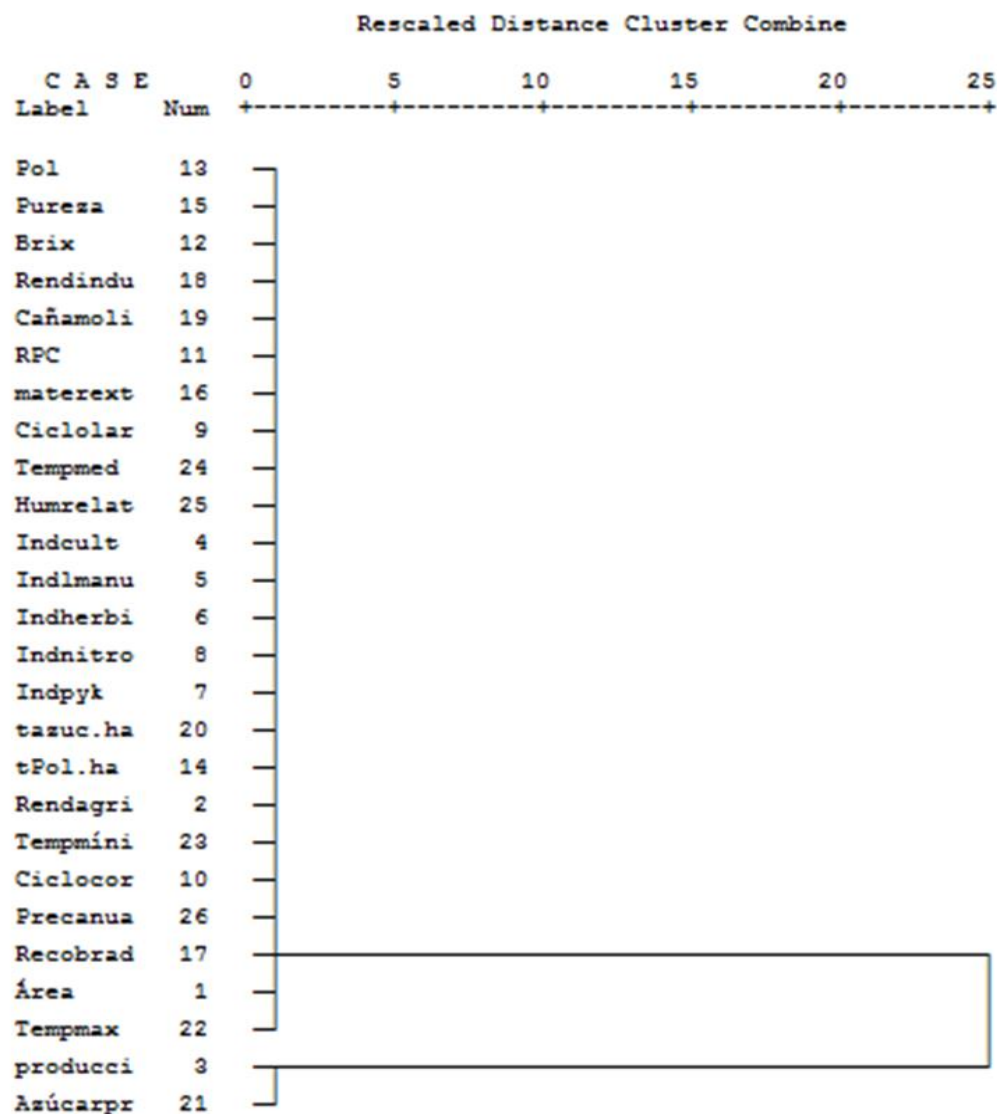


Figura 6 Dendrograma de los indicadores evaluados en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.

La matriz de componentes rotados (Varimax) en el municipio Aguada de Pasajeros aparece en la Tabla 4:

Tabla 4 Matriz de componentes rotados en el municipio Aguada de Pasajeros.

Indicadores evaluados	Matriz de componentes rotados(a)		
	1	2	3
Área molible (ha)	-0,052	-0,091	-0,994
Rendimiento agrícola (t.ha ⁻¹)	0,932	0,207	0,274
Producción de caña (t)	0,976	0,169	0,008
Índice fertilización con P y K (pases.ha ⁻¹)	0,806	0,116	0,099
Cañas de ciclo largo cosechadas (%)	0,925	0,313	0,080
Cañas de ciclo corto cosechadas (%)	-0,925	-0,313	-0,080
Rendimiento de Pol en Caña (%)	0,194	-0,846	-0,305
Brix del jugo absoluto (%)	0,976	0,086	0,104
Pol del jugo absoluto (%)	0,970	0,073	0,112
Toneladas de Pol por ha (t Pol.ha ⁻¹)	0,969	0,150	0,177
Pureza del jugo absoluto (%)	0,970	0,073	0,112
Materias extrañas en caña (%)	0,146	0,970	0,153
Recobrado industrial (%)	-0,808	-0,245	-0,295
Rendimiento industrial (%)	-0,861	-0,557	0,334
Toneladas de azúcar por hectáreas (t azúcar.ha ⁻¹)	0,861	0,044	0,628
Azúcar producida (t)	0,886	0,333	-0,052
Temperatura máxima (°C)	0,941	-0,025	0,180
Temperatura media (°C)	0,239	0,952	0,106
Precipitaciones anuales (mm)	0,034	0,352	0,837
% acumulado de las variaciones	51,386	68,585	83,892
Método de extracción: Análisis de componentes principales.			
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.			

Se observa (Tabla 4) que se formaron tres componentes que explican más del 83% de las variaciones totales, donde en la componente uno aparecen el mayor número de variables ubicadas y que estas se relacionan con las características de la materia prima que llega a la fábrica en cantidad y calidad. De igual manera

aparecen en la primera componente los indicadores de eficiencia fabril evaluados: recobrado y rendimiento industrial, así como las temperaturas máximas, lo cual indica un fuerte vínculo entre ellos en las condiciones en que se realizó la investigación.

Se destaca como la composición de cepa jugó un fuerte papel en las variaciones totales, lo cual coincide con lo reportado por Pineda *et al.* (2009) quien refiere que las cepas de ciclo largo juegan un importante rol en el incremento del rendimiento agrícola y de la cantidad de materia prima que llega a los ingenios azucareros. Está demostrado que las cañas que más azúcar por hectárea aportan son los fríos y las primaveras quedadas (Gálvez, 2010). Otro aspecto que se resalta es la influencia de la fertilización con fósforo y potasio que según Rodríguez (1989) en coincidencia con Castro (1992) revelan que la mayor influencia de esta labor agrotécnica sobre la eficiencia industrial está dada por su incidencia sobre: el rendimiento agrícola y la cantidad de Pol por hectárea que produce.

La inclusión de la calidad de la materia prima en cuanto a % de Pol, % de Brix y % de pureza corrobora lo planteado por Santibáñez (1983) sobre la importancia de mantener estos indicadores de calidad en los niveles establecidos para el logro de una buena eficiencia fabril que se mide a través del recobrado y del rendimiento industrial.

En la segunda componente aparece el RPC y el % de materias extrañas que Gálvez (2010), así como Santibáñez (1983) coinciden en afirmar que juegan un gran papel en la eficiencia fabril. En los resultados obtenidos se pudo confirmar que ambos indicadores muestran valores fuera de los niveles para el logro de una eficiencia fabril óptima.

El área molible y las precipitaciones aparecen en la componente tres. El primero influye directamente en el rendimiento de azúcar por hectárea más que en la eficiencia industrial. La inclusión de las lluvias corrobora lo planteado por Cuéllar *et al.*, 2002) quien refiere que aunque es complejo medir los efectos de estas sobre la eficiencia industrial se conoce por estudios realizados que el contenido de

agua en los tallos disminuye la concentración de sacarosa (la Pol) lo cual afecta el rendimiento industrial. También los resultados obtenidos en la caracterización de las variables climáticas en el municipio arrojó una elevada humedad ambiental debido a las precipitaciones lo cual es favorable para el rendimiento agrícola y desfavorable para el industrial (Srinivasan, 1983).

Los Modelos de regresión lineal múltiple donde se usan los indicadores de eficiencia fabril como variables dependientes en el municipio Aguada de Pasajeros aparecen en la tabla 5:

Tabla 5 Modelos de regresión lineal múltiple donde se usan los indicadores de eficiencia fabril como variables dependientes en el municipio Aguada de Pasajeros.

indicadores	Recobrado			Rendimiento industrial		
	R	R ²	Sig.	R	R ²	Sig.
	0,918(a)	0,821	,01(a)	0,921(a)	0,893	,016(a)
Ecuación del modelo	$Y=147.964 + 0.200 X_1 + 0,515 X_2 + 1.147 X_3 - 0.991 X_4$ Donde: $X_1 \Rightarrow$ Índice de fertilización con fósforo y potasio. $X_2 \Rightarrow$ % de materias extrañas $X_3 \Rightarrow$ Cantidad de caña molida (ha) $X_4 \Rightarrow$ Precipitaciones anuales (mm)			$Y= -0.019 - 0,001 X_1 - 0,005 X_2 - 0,996 X_3 - 0.002 X_4.$ Donde: $X_1 \Rightarrow$ Índice de fertilización con fósforo y potasio. $X_2 \Rightarrow$ % de materias extrañas $X_3 \Rightarrow$ Rendimiento agrícola (t.ha⁻¹). $X_4 \Rightarrow$ Precipitaciones anuales (mm)		

Como se puede apreciar (Tabla 5) se obtuvieron dos modelos, uno para cada indicador que explican entre el 82 y el 89.3% de las variaciones de estos. En las condiciones de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez las variables índice de fertilización con fósforo y potasio, % de materias extrañas y Precipitaciones

anuales (mm) determinan tanto el recobrado como el rendimiento industrial, así como la caña molida es predictora del recobrado y el rendimiento agrícola del rendimiento industrial. Estos resultados en el recobrado coinciden con lo planteado por Gálvez (2010) quien refiere que este indicador está determinado por la calidad de la cosecha y dentro de esta el % de materias extrañas lo afecta directamente. También con lo explicado por Santibáñez (1983) quien refiere que la materia prima, su cantidad y calidad es decisivo en los indicadores de eficiencia fabril.

IV. Conclusiones:

1. La eficiencia industrial de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros está determinada por la cantidad y calidad de la materia prima que llega al basculador; así como por las precipitaciones.
2. La producción de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros se desarrolla en condiciones de elevadas: temperaturas, humedad relativa y precipitaciones, lo cual influye desfavorablemente sobre su eficiencia industrial.
3. Los indicadores del proceso productivo de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez se caracterizan por incrementos en los valores de área molible y rendimiento agrícola, con bajos niveles de: RPC, brix y recobrado; así como con elevados % de materias extrañas y de pureza en el jugo absoluto, lo que conlleva a que el rendimiento de azúcar y pol por hectárea sea bajo al igual que el rendimiento industrial.

V. Recomendaciones:

1. Tener presente las influencias sobre el recobrado y el rendimiento industrial descritas para el establecimiento de estrategias que eleven la eficiencia de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros.
2. Validar los modelos de regresión lineal obtenidos de la fábrica de azúcar Antonio Sánchez del municipio Aguada de Pasajeros para el pronóstico de los indicadores de eficiencia: recobrado y rendimiento industrial.

Referencias bibliográficas

- Acosta, P.P. (2000) Compendio Azucarero. Habana. Zafras (1977-1999).
Publicación interna del Ministerio de la Industria Azucarera.
- 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.
- Álvarez, A. (2001). Las primaveras del año nunca han tenido quince. Revista ATAC, No. 1(2):, p:1-4.
- Álvarez, J. y Pena, L. (2001).Cuba's Sugar Industry. Gainesville, Florida. University Press of Florida.
- 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).
- Betancourt del Monte, M. (1983) Sugar and climate. Proceedings XVII Congress. 21-26 February (1983). Volume 2. International Society of Sugar Cane Technologist. Ciudad Habana.
- Blume, H. (1983). Environment and cane sugar yield. International Society of sugar cane technologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p 277-290.

- Cox, M., Hogarth, M.D., and G. Smith.,(2000.) Cane Breeding and Improvement. BSES Manual of Cane Growing, Chapter 5, pp: 95-108,
- Crossa, J. (1990).Statistical analyses of multilocation trials. Advances in Agronomy, V 44, pp: 55-85.
- Cuellar, I, Villegas, R. De León, M. y Pérez, H. (2002) Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. Editorial PUBLINICA.
- Cuesta S., A. (1999) Tecnología de G.R.H / A.C. Santos.- La Habana: Edith. Acalde- P 121-125.
- Domingos, G.P.; Magalhães, G.P.S. (2005). Monitoreos de rendimientos en caña de azúcar. ASAE papernumber: 051154.ASAE Annual International meeting- Tampa, Florida, USA.17-20 de julio.
- Edme, S. J., Miller, J.D., Glaz, B., Tai, P. and Comstock, J. (2005). Genetics contributions to the Florida sugarcane industry across 33 years. Crop Science, 45: 92-97.
- Gálvez, (2010). Análisis del rendimiento de la caña de azúcar en cuba. Periodo 1950-1990. Universidad de la Habana.
- Gálvez, G. (2000). Notas del Curso de Genética Cuantitativa. Curso de maestría de Biología Vegetal, Facultad de Biología de la Universidad de la Habana, Versión electrónica.
- Gálvez, G. y Sigarroa, A. (2004). Los Sistemas de Información en Apoyo a la Producción Sostenible de la Caña de Azúcar. Seminario de las Cátedras Azucareras de las Universidades Cubanas. La Habana, Cuba, Junio 10-11. Publicada en CD, ISBN: 959-16-0257-7.
- Gálvez, G., Ortega, E.,Rodés, R. y Sigarroa, A.(2006) Modelación del rendimiento de la caña de azúcar en Cuba. Casos de Estudio. Segundo Seminario de las Cátedras azucareras de las Universidades Cubanas 23 y 24 de junio, 2006. Memorias en Disco Compacto. ISBN: 959-16-0430-0.

- Gálvez, G., Soto, O. y Sigarrosa, A.(2004) La Modelación del rendimiento agrícola en la caña de azúcar. Caso de estudio. Diversificación. Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados de la Caña. Memorias. Disco Compacto. ISBN: 959-7165-17-1,
- Gálvez. G., Ortiz, R. y Espinosa, R.(1985) Análisis de las asociaciones entre diferentes cosechas en experimentos de caña de azúcar (*Saccharum* sp. híbridos). Cultivos tropicales, V 7, No 1/, pp: 85-89.
- González, E. (1976).Guía cañera. Dpto. de Investigaciones Internacionales. CIDA. INRA. La Habana.
- González, M. M.; Tuero, S.; Bouzo, L. (2007). Diagnóstico del agroecosistema de una unidad de producción cañera método para alcanzar un desarrollo sostenible. Jornada Científica – Productiva INICA celebrada en Jovellanos.
- Huggot, E. (1967) Manual para ingenieros azucareros. Ed. Revolución..
- Humbert, R. P. (1965).El cultivo de la caña de azúcar. Editora Universitaria. La Habana.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G. And Traore, P.C.S.(2004). Experiments and Data for Model Applications. Documento interno. Universidad de la Florida,
- 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.
- Lawes, R.A. and Lawn, R.J. (2005). Applications of industry information in sugarcane production systems. Field Crops Research 92: 353-363,.
- 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.

- Montero, B. (2009). Evaluación geoquímica de un vertisuelo sometido a cultivo continuado de caña de azúcar. Disponible en <http://www.santiago.cu/hosting/etica/sede40/tec/+40.htm>. Consulta: mayo, 2009.
- Moreno, X. A.(2006). Ejes estratégicos para el ordenamiento territorial de la gestión de los agroecosistemas del municipio de Aguada de Pasajeros. Tesis de grado para optar por el Título de master en ciencias. CETAS. UCF.
- Muñoz, J.J.; Castañeda, G.(2004). Producción de biomasa y capacidad de diferenciación en cultivos in Vitro de caña de azúcar sometidos a estrés por cloruro de sodio y kanamicina Biotecnología aplicada 2004.
- 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, 2014.
- Pacheco,J.; Alonso, N.; Gutierrez, A.(1983). A study of the sugar cane evapotranspiration in Cuba. . International Society of sugar cane technologist. Proceeding XVIII congress. C. Habana Vol.I p 380- 387.
- Pérez, S.; Dora. (2004). Presentan modelo para evaluar la sequía. Juventud Rebelde (CU), abril 8, 8.
- 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.
- Reinoso, A. (1862). Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar. Publicaciones azucareras. La Habana. 1998.

- Rodríguez, J. I. (1989). Breve análisis sobre la problemática de las zafras azucareras en Cuba. Publicación Interna del Ministerio del Azúcar., 25 p + Anexos.
- 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.
- Santibáñez, M. C. (1983). Tecnología Azucarera. Tomos I y II. Centro Nacional de Capacitación Azucarera MINAZ. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Soto, O. (2003). Estudio y modelación de algunas variables que influyen en el rendimiento agrícola de la caña de azúcar. Tesis de Diploma para obtener el título de Licenciado en Ciencias Biológicas, Facultad de Biología. Universidad de la Habana, 43 p + anexos,.
- Sulroca, F. (2006). Las transformaciones en la agroindustria de la caña de azúcar y sus perspectivas para el nuevo siglo. Presentado al Segundo Seminario de las Cátedras Azucareras de las Universidades Cubanas. Editado en Disco Compacto, ISBN: 959-16-0430-0. Universidad de la Habana,.
- 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.
- Torres, J. C.; Pérez, E.; Ortega, R. (1984). Manual de fundamentos de Agronomía. Facultad de Agronomía. MES. ISCAH.
- Vásquez, B. E.; Torres, G. S. (1982). Fisiología vegetal. Editorial Pueblo y Educación.

Viña, S; Rodríguez, I.; Siscal, W.;Dópico, E. (2005). Ergonomía. Capítulo 8.
Ventilación.P255-369.