



Universidad de Cienfuegos sede:

“Carlos Rafael Rodríguez”

Facultad de Ciencias Agrarias

**Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero
Agrónomo**

***Título:* Influencia de variables meteorológicas sobre el desarrollo fenológico en caña de azúcar (*Saccharum officinarum spp.*) en Aguada de Pasajeros provincia Cienfuegos.**

Autor: Dailyn Rodríguez Moreira

Tutor: Msc.Freddys Ramírez Gonzáles

Msc. Marlene Ramírez Gonzáles

Cienfuegos, Cuba

2018

Dedicatoria

*A mis padres, por su apoyo y exigencia para
que me graduara de ingeniera, a mi familia toda
por su apoyo.*

*A mis profesores porque me brindaron los
conocimientos necesarios para ser una
profesional.*



Agradecimientos

Quiero agradecer a mi centro de estudio.

A mis profesores.

A mis compañeros de curso que han sabido compartir los buenos y los malos momentos en estos años.

A mi tutora Marlene Ramírez Gonzáles, por su ayuda en la investigación para graduarme como ingeniera.

Muchas gracias.



Resumen



Resumen

La investigación se realizó en el terreno de observación N. 1 de la Estación Agrometeorológica Aguada de Pasajeros con el objetivo de determinar la influencia de variables meteorológicas sobre el desarrollo fenológico de la caña de azúcar. Se utilizaron los datos de la norma histórica correspondiente al período 1980-2010 y las variables meteorológicas de los últimos seis años, a los que se les realizó un análisis de ANOVA de un factor con d. Tukey, además se determinaron las anomalías de todas las variables y su tendencia. Se realizó también un análisis multivariado de componentes principales y de regresión lineal múltiple. Los resultados indican que las condiciones meteorológicas de Aguada de Pasajeros se caracterizan por tener dos estaciones: de mayo a octubre (verano- período lluvioso) e invierno (poco lluvioso). Las temperaturas: media, mínima, diurnas y nocturnas; así como la humedad relativa media y a las 7.00am, tuvieron un comportamiento similar a la norma histórica y anomalías positivas. Muestran variabilidad en las anomalías: el resto de las temperaturas, las precipitaciones y los días con lluvias; mientras que la oscilación térmica exhibe una reducción significativa. Las temperaturas; la oscilación térmica, las precipitaciones, los días con lluvias y la humedad relativa resultan ser las variables que determinan las desviaciones totales; mientras que los días totales con lluvias, la temperatura mínima y la fase fenológica resultaron ser las que más influyen sobre el desarrollo fenológico en el modelo de regresión en la caña de azúcar.

Palabras clave: Variables meteorológicas, caña, desarrollo fenológico, anomalías.

Abstract



Abstract

The investigation was carried out in observation field N. 1 of the Aguada de Pasajeros Agrometeorological Station with the objective of determining the influence of meteorological variables on the phenological development of sugarcane. The data of the historical norm corresponding to the period 1980-2010 and the meteorological variables of the last six years were used, to which an analysis of ANOVA of a factor with Tukey test was carried out, in addition the anomalies of all the variables and their tendency. A multivariate analysis of principal components and multiple linear regression was also performed. The results indicate that the meteorological conditions of Aguada de Pasajeros are characterized by having two seasons: from May to October (summer-rainy period) and winter (little rainy). The temperatures: average, minimum, diurnal and nocturnal; as well as the average relative humidity and at 7.00am, they had a behavior similar to the historical norm and positive anomalies. They show variability in the anomalies: the rest of the temperatures, the precipitations and the days with rains; while the thermal oscillation exhibits a significant reduction. The temperatures; the thermal oscillation, the precipitations, the days with rains and the relative humidity turn out to be the variables that determine the total deviations; while the total days with rainfall, the minimum temperature and phenological phase were the ones that most influence the phenological development in the regression model in sugarcane.

Key words: Meteorological variables, cane, phenological development, anomalies.

Índice



Introducción	1
CAPITULO I. Revisión Bibliográfica	5
1.1. Características de la caña de azúcar	5
1.2 Las variaciones climáticas y su influencia en la agricultura	6
1.3. Relación de las variables climáticas con el desarrollo de la caña de azúcar	7
1.3.1 La luminosidad y su influencia en el desarrollo fisiológico de la caña de azúcar.....	9
1.3.2 La temperatura y su influencia en el desarrollo fisiológico de la caña de azúcar	9
1.3.3 Requerimientos de aguja en el desarrollo de la caña.....	11
1.3.4 Acción interrelacionada de las principales variables climáticas sobre la caña de azúcar. .	14
1.4 Fases fenológicas de la caña de azúcar y su relación con las variables climáticas.....	16
1.4.1 Brotación, crecimiento de hojas y ahijamiento en la caña de azúcar	17
1.4.2 El período de crecimiento y el ambiente en la caña de azúcar.	18
1.4.3 Maduración Fisiológica de la Caña de Azúcar	19
1.5 Caracterización de la Estación Meteorológica Aguada de Pasajeros	20
CAPITULO II. Materiales y Métodos.....	26
2.1 Caracterización de las variables meteorológicas de interés para la caña de azúcar.	27
2.2 Comparación del comportamiento de variables meteorológicas en los últimos seis años con respecto a la norma histórica.	28
2.3 Evaluación, mediante análisis multivariado, de las variables meteorológicas que más influencia ejercen en el desarrollo fenológico del cultivo de la caña de azúcar.	29
CAPÍTULO III. Resultados y Discusión	31
3.2 Comparación del comportamiento de variables meteorológicas en los últimos seis años con respecto a la norma histórica.	40
3.1Evaluación mediante análisis multivariado, de las variables meteorológicas que más influencia ejercen en el desarrollo fenológico del cultivo de la caña de azúcar.	46
Conclusiones.....	66
Recomendaciones.....	67
Bibliografía.....	52
Anexos	60

Introducción



Introducción

El cambio climático es uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo y supone una presión adicional para nuestras sociedades y el medio ambiente, el mismo ha sido definido como el problema ambiental más agudo del presente siglo, constituyendo una seria amenaza para el desarrollo sostenible. Sus efectos son de alcance mundial y de una escala sin precedentes (García, 2012).

Las emisiones cada vez más crecientes de gases de efecto invernadero a la atmósfera han intensificado los grandes impactos asociados a las inundaciones, las sequías, las tormentas severas, los fenómenos meteorológicos extremos, los deshielos, el ascenso del nivel medio del mar, la acidificación y el incremento de la temperatura de los océanos, las intensas olas de calor, la re-emergencia de enfermedades y la emergencia de otras. Los ecosistemas luchan por sobrevivir a las condiciones adversas del clima (Centella y Bezanilla, 2012).

El aumento de la temperatura del aire y del nivel del mar en las costas cubanas, así como la reducción de las lluvias, no son hipótesis sino realidades que vienen ocurriendo desde al menos, mediados del pasado siglo y las causas que las originan lejos de disminuir, aumentan, lo que tiende a reforzar las estimaciones de los límites extremos de la realidad futura (Villalón, 2012).

El cambio climático ha comenzado a impactar el sector agropecuario cubano en sus niveles más básicos, a escala fisiológica, con manifestaciones externas verificables y en la medida en que se realicen investigaciones sobre el tema, nuevos argumentos respaldarán tal aseveración (Acosta, 2013).

El sector agrícola está entre los sectores más vulnerables a los efectos del cambio climático y los extremos meteorológicos, debido principalmente a su dependencia de los recursos naturales como el agua y los servicios ecosistémicos. La relación entre el cambio climático y la agricultura es un camino bidireccional: la agricultura contribuye al cambio climático de varias formas importantes y el cambio climático en general afecta negativamente a la agricultura (Villalón, 2012).

Una parte muy importante de la variabilidad interanual de los elementos climáticos en Cuba es explicada por la presencia del Evento El Niño/Oscilación del Sur (ENOS); razón por la cual, varios trabajos han evaluado el impacto del mismo sobre el clima del país. Se ha demostrado que el ENOS provoca cambios importantes en un buen número de variables climáticas, particularmente sobre las precipitaciones invernales y la actividad ciclónica tropical (Acosta, 2013).

En Cuba los impactos más fuertes tienen lugar durante el invierno, o sea de noviembre a abril, período que se distingue por ser más lluvioso y menos frío. Cuando este evento se manifiesta, ocasiona considerables pérdidas en la producción azucarera, pues estas condiciones climáticas no contribuyen a la mayor concentración de sacarosa durante el período de cosecha. Estas pérdidas se pueden reducir con el empleo de medidas estratégicas, como el adelantamiento de la zafra y el empleo de variedades de superiores de caña(Rodríguez, 2001).

Para nuestro país las medidas de adaptación constituyen el principal curso de acción, ya que se requieren realizar con un enfoque integrado que tome en consideración no sólo los sectores económicos y la relación entre ellos, sino también las posibles afectaciones a las comunidades y a la sociedad, así como el estado de los ecosistemas en que se aplicarían estas acciones ya que se requiere reconocer que estamos inmersos en un medio ambiente antropizado (Lima, 2004).

La caña de azúcar (*Saccharum sp.*), más que un cultivo y una actividad empresarial, ha representado toda una cultura para los países productores, en virtud de que su presencia ha sido muy amplia e intensa desde el siglo XVI, ha acompañado los procesos de colonización y desarrollo de numerosos países; son muchas las formas y manifestaciones a través de las cuales esa planta y sus subproductos han intervenido en el quehacer de los pueblos (Aguilar, 2011).

Este cultivo tiene una alta dependencia de las variaciones ambientales de los sistemas agrícolas. Posee un período vegetativo muy variable, cuya duración depende básicamente de las características del material genético utilizado, y de la influencia que el clima ejerce en este proceso biológico y en la fotosíntesis (Pinna *et al.*.,1983).

Cada una de las regiones cañeras posee características ambientales y condiciones productivas singulares, que hacen que se produzcan variaciones significativas en el desarrollo de los procesos fisiológicos del cultivo, su potencial productivo, la expectativa de rendimientos agroindustriales y los costos de producción involucrados (Aguilar, 2011).

Justificación del estudio: La provincia de Cienfuegos en el municipio Aguada de Pasajeros cuenta con La Estación Agrometeorológica 78335. Esta prestigiosa instalación ha podido observar durante el transcurso de los años variabilidad en el desarrollo fisiológico de las plantas, principalmente en cuanto al desarrollo fenológico. La determinación de la influencia de las variables meteorológicas sobre dichas variaciones podrá contribuir a tener más elementos para establecer estrategias agronómicas que faciliten ir adaptando al cultivo a las variaciones meteorológicas.

Problema científico:

Son escasos los estudios realizados sobre la influencia de las variables meteorológicas en el desarrollo fenológico de la caña de azúcar, en el municipio Aguada de Pasajeros provincia Cienfuegos.

Hipótesis: La evaluación de la influencia de las variables meteorológicas sobre el desarrollo fenológico en caña de azúcar, contribuirá al establecimiento de estrategias agronómicas y varietales que posibiliten mayores adaptaciones a las anomalías meteorológicas en Aguada de Pasajeros provincia Cienfuegos.

Objetivo General

- Determinar la influencia de variables meteorológicas sobre el desarrollo fenológico de la caña de azúcar en Aguada de Pasajeros provincia de Cienfuegos.

Objetivos específicos

1. Caracterizar las variables meteorológicas de interés para la caña de azúcar en el municipio Aguada de Pasajeros provincia Cienfuegos.

2. Comparar el comportamiento de variables meteorológicas en los últimos seis años con respecto a la norma histórica en el municipio Aguada de Pasajeros provincia de Cienfuegos.
3. Evaluar, mediante análisis multivariado, las variables meteorológicas que más influencia ejercen en el desarrollo fenológico del cultivo de la caña de azúcar.

Impactos esperados:

- Caracterizadas las condiciones meteorológicas de Aguada de Pasajeros.
- Comparadas las variables meteorológicas en el período 2010-2016 con la norma histórica (1980 – 2010) en Aguada de Pasajeros.
- Determinado las posibles diferencias significativa en las variables meteorológicas entre el período 2010-2016 y la norma histórica (1980 – 2010).
- Analizada la desviación y tendencias de variables meteorológicas con respecto a la norma histórica, que indica la presencia de anomalías.
- Definidas las variables que determinan las variaciones del desarrollo fenológico en el cultivo de la caña de azúcar en Aguada de Pasajeros.
- Obtenido el modelo de regresión lineal para la predicción del comportamiento fenológico sobre la base de los valores de variables meteorológicas.

Novedad de la investigación: Los resultados de la investigación aportan información valiosa sobre las variaciones de variables meteorológicas de Aguada de Pasajeros en los últimosseis años con respecto a la norma histórica, así como evalúa la relación entre las variables meteorológicas y el desarrollo fenológico en el cultivo de la caña de azúcar en esa localidad, lo que permitirán contribuir a tener más elementos para establecer estrategias tanto agronómica como de variedades que faciliten ir adaptando al cultivo al cambio climático. Servirá como material de consulta para investigadores que realicen estudios similares.

Capítulo 1



CAPITULO I. Revisión Bibliográfica

1.1. Características de la caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum spp.*) es una planta que se cultiva y se desarrolla en zonas tropicales, en las que la planta encuentra las condiciones óptimas para su completo desarrollo y eficiente producción de sacarosa. Es una planta monocotiledónea con apariencia de hierba gigante, sus tallos son más o menos cilíndricos en su sección transversal, dividido en nudos y entrenudos (Martín, 1987).

Los distintos cultivares de caña que hoy se cultivan en el mundo con fines comerciales son especies e híbridos del género *Saccharum*, de la familia de las gramíneas (*Poaceae*). Es un cultivo de los llamados permanentes, que se cosecha en períodos que oscilan entre 12 y 24 meses. La duración de la cepa tiene como promedio entre 5 y 10 cosechas, aunque esto varía bastante entre regiones y según las distintas prácticas fitotécnicas (Díaz, 2004).

Saccharum officinarum spp. tiene su origen genético en Nueva Guinea. Es una planta C4 con alta eficiencia fotosintética (entre 150 y 200% sobre la media de otras plantas). Es un cultivo duradero y auto compatible. Según variedad y condiciones locales, la planta forma entre 4 y 12 tallos que pueden crecer hasta cinco metros de altura (Miller y Gilbert, 2010).

El ápice se caracteriza por presentar gran cantidad de sustancias melasigénicas y azúcares reductores, razones por las que no parece necesaria ninguna conversión de sacarosa que favorezca la brotación de yemas axilares encargadas de dar origen a un nuevo tallo por división indirecta. De esta manera, se garantiza la reproducción por vía agámica, la más usual en el cultivo de la caña de azúcar, por lo que si estas yemas se exponen a condiciones favorables de humedad y temperatura se originará otro tallo con características idénticas al que le dio origen (Martín, 1987).

Para la nación cubana, la caña y el azúcar forman parte integrante de la historia, la cultura y las tradiciones del pueblo. Una historia que estuvo caracterizada por la

injusticia social y que alcanzó su más cruel expresión durante la etapa colonial, con la introducción de esclavos africanos para los trabajos en las plantaciones cañeras y la operación de los trapiches de azúcar (Gálvez, 1992).

1.2 Las variaciones climáticas y su influencia en la agricultura

El cambio climático es un cambio significativo y perdurable de la distribución estadística de los patrones climáticos durante los períodos que van desde décadas a millones de años. El clima es una medida del patrón medio de la variación de la temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, precipitaciones, recuento de partículas en la atmósfera y otras variables meteorológicas en una región determinada durante períodos largos de tiempo. El clima es variable, como se muestra en la falta de regularidad en las estaciones de un año para otro, lo cual es normal (Centella y Bezanilla, 2012).

Es debido a la variación de las corrientes oceánicas, actividad volcánica, radiación solar y otros componentes del sistema climático que no comprendemos totalmente aún. Nuestro clima tiene también episodios extremos (como por ejemplo inundaciones, granizo, tornados, huracanes etc.), los cuales pueden ser devastadores. En las últimas décadas, muchos de los indicadores y estudios han señalado que el calentamiento global ha sido alarmante a nivel mundial (Villalón, 2012).

El clima de Cuba se encuentra condicionado por su ubicación geográfica, dentro de la porción norte de la zona tropical, muy cerca del límite entre las zonas tropical y subtropical, hacia el lado occidental del Océano Atlántico. La marcha anual de los elementos meteorológicos, que oscilan entre una temporada cálida y lluviosa y otra menos cálida y poco lluviosa, está vinculada a los cambios estacionales en la posición e intensidad del Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte (Planos, 2012).

La característica más importante de la fluctuación estacional es la disminución de la influencia sobre Cuba en el invierno. Tal hecho permite la irrupción de los sistemas meteorológicos extratropicales que imponen una significativa frecuencia de eventos frontales, invasiones de aire frío y otros eventos propios de latitudes más altas, que incrementan considerablemente el contraste estacional entre los elementos climáticos (Acosta, 2013).

El cambio climático está modificando nuestra economía, salud y comunidades de formas diversas. Es uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo y supone una presión adicional para nuestras sociedades y el medio ambiente. Desde pautas meteorológicas cambiantes, que amenazan la producción de alimentos, hasta el aumento del nivel del mar, que incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas, los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes (Planos, 2012).

En algunas zonas del país, existe una carestía relativa de agua, para suplir todas las necesidades económicas, sociales y ambientales. Esta carestía relativa se ha agravado por la ocurrencia de fenómenos naturales; sequías prolongadas, variaciones en el régimen estacional, y otros inducidos por causas antrópicas; intrusión salina, sobreexplotación y contaminación, entre otras (Villalón, 2012).

En el deterioro de la calidad, la carestía y falta de disponibilidad del recurso para todos sus usos, influyen sobre otros elementos naturales y antrópicos, como la contaminación; los déficit de cobertura boscosa; la no siempre adecuada planificación, uso y ordenamiento; la salinización; el empleo de tecnologías inadecuadas; el escaso recurso y reciclaje del agua; el mal estado de las redes hidráulicas de distribución; así como, la aún insuficiente cultura de ahorro y uso racional. Todo ello, afecta su disponibilidad actual para los usos agrícolas, industriales y para la población (INSMET, 2017a).

El cambio climático, que se está produciendo en un período de creciente demanda de alimentos, semillas, fibra y combustible, podría dañar irreversiblemente la base de recursos naturales de la que depende la agricultura (García, 2012). La relación entre el cambio climático y la agricultura es un camino bidireccional: la agricultura contribuye al cambio climático de varias formas importantes y el cambio climático en general afecta negativamente a la agricultura (Lima, 2004).

1.3. Relación de las variables climáticas con el desarrollo de la caña de azúcar

Si bien el crecimiento y la maduración ocurren simultáneamente durante gran parte del ciclo del cultivo, hay predominancia de uno sobre otro en función de la influencia de

distintos factores ambientales. La temperatura y las precipitaciones se han reportado como los factores climáticos de mayor incidencia sobre la concentración de sacarosa y la maduración. Se reconoce el efecto beneficioso de las bajas temperaturas sobre la calidad del jugo, y como régimen de agua más efectivo para promover la maduración, aquel que plantea las mayores restricciones al crecimiento, mientras mantenga un sistema normal para la síntesis, translocación y acumulación de azúcares (Romero, 2010).

Marcano (2005) expuso que las condiciones más convenientes para la acumulación de sacarosa en la caña, son las de temperaturas altas durante el día y frescas por la noche durante el período de maduración, y con respecto a la humedad expone que el exceso retarda el período de maduración y por el contrario, cuando existe una deficiencia en el suelo, la planta acelera la maduración y concentra más la sacarosa. Otros factores de esta índole que inciden en la concentración de sacarosa y la maduración son la intensidad luminosa, el fotoperiodo y la fertilidad del suelo.

Para entender la relación e interdependencia entre los factores del clima y el desarrollo fisiológico en los cultivos y dentro de ellos la caña de azúcar se constatan los criterios desobres las leyes del mínimo y el máximo para cada factor ya que existe un rango donde se establecen valores en que su acción es favorable para las plantas tanto directa como indirectamente según (Reynoso, 1862).

Arcenaux (1948) introduce el término holocenótico para expresar las relaciones dinámicas entre los factores ambientales. (Pinna *et al.*(1983) coinciden con muchos autores 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. La acción del sol y la temperatura prevaleciente en el área, proveen de energía a la planta, el agua hace posible que la planta se apropie de este nivel de energía; así como el suelo satisface a la planta de anclaje, agua común y los nutrientes que necesita. De esta manera la planta los va obteniendo poco a poco mientras crece.

Palacios y Mercado (2015) estudiaron la interrelación de la evapotranspiración con los factores climáticos: temperatura, humedad y luz, 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.

1.3.1 La luminosidad y su influencia en el desarrollo fisiológico de la caña de azúcar

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, la misma es la fuente principal de energía para la fotosíntesis, y la caña de azúcar es uno de los cultivos que mejor la aprovecha. La disminución en la intensidad de la luz trae como resultado una reducción en la elaboración y el almacenamiento de azúcares, y una acumulación de almidones en las hojas.

Humbert (1970) demostró que al disminuir la intensidad de la luz aumenta la altura de los tallos primarios; el desarrollo de los tallos secundarios se retarda; las hojas se tornan angostas, alargadas y quebradizas; el desarrollo de las raíces se reduce; aumenta la clorofila en las hojas hasta cierto nivel y después empieza a decrecer, ocasionando una reducción en el porcentaje de materia seca.

1.3.2 La temperatura y su influencia en el desarrollo fisiológico de la caña de azúcar

La temperatura es un índice indicativo del calentamiento o enfriamiento del aire que resulta del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra. La temperatura indica en valores numéricos el nivel de energía interna que se encuentra en un lugar en ese momento (Planos, 2012).

Temperatura media. Se trata de los promedios estadísticos obtenidos entre las temperaturas máximas y mínimas. Con las temperaturas medias mensuales (promedio de las temperaturas medias diarias a lo largo del mes) se obtienen las tendencias históricas del comportamiento de las temperaturas medias de un lugar para un año determinado. Por otro lado, se pueden hacer referencias al mayor valor de la temperatura de una zona a lo largo de un período extenso de tiempo, de manera que se determine la temperatura máxima absoluta (Segeer y Villodas, 2006).

Temperatura mínima: Opuesto al caso anterior, es la menor temperatura registrada en un lugar a lo largo de un día, mes o año.

La temperatura máxima: Es la mayor temperatura registrada durante un periodo de tiempo dado. La temperatura máxima es registrada mediante el uso de termómetros de mercurio, en los que una contracción en el tubo capilar, sólo permite el ascenso de la columna mercurial.

Oscilación o amplitud térmica: Es la diferencia entre la temperatura más alta y la más baja registrada en un lugar o zona, durante un periodo de tiempo que puede ser un día, un mes, un año, etc. En las series climáticas la amplitud térmica es la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la del más frío. En general, los climas que corresponden a zonas costeras o cercanas al mar presentan oscilaciones térmicas bajas, por los efectos moderadores o suavizadores de la masa hídrica. Por el contrario los climas de zonas interiores o continentales suelen presentar una fuerte oscilación térmica tanto diaria como anual, con la excepción de las zonas ecuatoriales o tropicales, donde las altas temperaturas son constantes. Puede considerarse una amplitud térmica baja hasta los 10°C, media de 10 a 18°C y alta por encima de los 18°C. Se suele distinguir entre la oscilación térmica anual y la oscilación térmica diaria.

Desafortunadamente, los factores climáticos, en especial la temperatura, no se pueden controlar, pero sí se conocen sus cambios a través del tiempo; por lo tanto, es posible manejar el ciclo del cultivo, adaptándolo a las condiciones del clima. Este factor es, quizás, el que más influye en la maduración de la caña de azúcar.

La temperatura afecta la absorción de agua y nutrientes por la planta, limitando o acelerando su crecimiento y desarrollo. En las zonas subtropicales, las bajas temperaturas en el invierno reducen, casi totalmente el crecimiento de la caña debido a que afectan la formación de la clorofila y la absorción de nitrógeno y potasio, aun cuando los niveles de estos nutrientes sean adecuados en el suelo.

Las altas temperaturas favorecen, hasta un máximo de 30°C, el ahijamiento y el crecimiento de la caña (Yan y Tinker, 2006). (Gonzalez y Cruz, 1987) 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 temperatura el ciclo se reduce hasta 9 meses, mientras que a mayor temperatura puede durar hasta 36 meses en países tropicales como Hawái.

Existe una estrecha y directa relación entre la temperatura y la emergencia final, las tasas medias de emergencia, la elongación de los tallos primarios y la aparición de hojas verdes liguladas/ tallo primario. Además, aseguró la existencia de relaciones inversas altamente significativas entre la temperatura y la duración de la emergencia y la elongación caulinar, así como con el tiempo requerido para la aparición foliar. Estas variables mostraron asociaciones no lineales con la temperatura, pero con respuestas diferenciales según la edad de la plantación y el rango de temperatura media del aire (Romero, 2010).

La temperatura afecta la absorción de agua y nutrientes por la planta, limitando o acelerando su crecimiento y desarrollo. En las zonas subtropicales, las bajas temperaturas en el invierno reducen, casi totalmente el crecimiento de la caña debido a que afectan la formación de la clorofila y la absorción de nitrógeno y potasio, aun cuando los niveles de estos nutrientes sean adecuados en el suelo (Longel, 2016).

1.3.3 Requerimientos de agua en el desarrollo de la caña.

En Cuba como en la generalidad de la zona tropical se observan dos períodos pluviales fundamentales: el período poco lluvioso (noviembre-abril), y el período lluvioso (mayo-octubre). Esta forma de describir la estacionalidad en la zona tropical depende del comportamiento de la precipitación y no de la temperatura, y está fuertemente relacionada con las condiciones de circulación atmosférica y sus variaciones (Planos, 2012).

La cantidad de días con lluvia de distinta magnitud constituye una temática de gran interés en investigaciones y aplicaciones de carácter climático vinculadas con la agricultura y otras ramas de la economía, incluida su relación con el cambio climático. Algunos estudios realizados en Cuba y el Caribe afirman que las precipitaciones presentan variaciones importantes, y que las tendencias climáticas observadas en las últimas décadas muestran un aumento de la frecuencia y la intensidad del fenómeno sequía, por lo que una determinación rápida y acertada de su manifestación en espacio y tiempo resulta esencial para la reducción de los riesgos asociados con esta (Centella y Bezanilla, 2012).

Para Cuba, existe un estrecho vínculo entre el desarrollo de eventos de sequía significativos y el establecimiento de una influencia persistente de sistemas anticiclónicos fuertes sobre el área. Estos procesos no solo influyen en la frecuencia y las trayectorias de los sistemas organizados productores de lluvia que transitan sobre el país, sino también en el predominio de condiciones meteorológicas generales desfavorables para el desarrollo de lluvias de cualquier magnitud (Longel, 2016).

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.

Reynoso (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 *et al.*, 2009).

Clements y Kubota (1942) 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.

Arcenaux (1948), 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.

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 (Rodríguez, 2001).

Lima (2004) plantea 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 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 (Sáenz, 2004)

Según (Julien., *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.

También 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.

1.3.4 Acción interrelacionada de las principales variables climáticas sobre la caña de azúcar.

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 (Finlay y Wilkinson, 1963) citado por(Aguilar, 2011) 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 (Matsuoka, 1938) 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.

Sánchez (2011) estudió la interrelación de la evapotranspiración con los factores climáticos: temperatura, humedad y luz. (Dillewijn, 1975) 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, 1975).

1.3.5 Fenómenos meteorológicos severos y valores extremos de variables meteorológicas y su influencia en la caña de azúcar

La forma más dramática en la que las variaciones climáticas afectan a la sociedad y la economía es a través de los eventos extremos. Los recientes y notables impactos de los ciclones tropicales alrededor de todo el mundo, entre los que se incluyen las temporadas ciclónicas del Océano Atlántico en los años 2004 y 2005, conmovieron a la opinión pública mundial y a la comunidad científica dedicada al estudio de dichas tormentas. Las recientes décadas han sido testigos del incremento de los daños económicos y de las pérdidas de vida debido al golpe de los ciclones tropicales (Guerra, 1961).

Debido a lo antes expresado, durante los últimos años las investigaciones relativas a la variabilidad y la posible influencia del cambio climático sobre la actividad ciclónica se han incrementado notablemente. Sin embargo, la gran variabilidad multianual y la calidad de las series históricas de los ciclones tropicales, anteriores a la entrada en operaciones de los satélites meteorológicos, complican la detección de las tendencias a largo plazo.

Pérez *et al.* (2004) explican que en los últimos 30 años se han registrado frecuentemente anomalías climáticas destacándose la severidad de los eventos de naturaleza extrema y dentro de estos la sequía y los huracanes, los que no solo duplicaron su frecuencia sino que también registraron un aumento considerable en el número de casos extremos.

Se define la sequía como un periodo de condiciones meteorológicas anormalmente seca, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un desequilibrio hidrológico grave (PMA y IPF, 2001). Hay Sequía Agrícola cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas de agua del suelo y las pérdidas debidas a la evaporación se combinan para causar disminuciones considerables del rendimiento de los cultivos y del ganado (Rodríguez, 1997).

De acuerdo con las pérdidas en caña de azúcar en Cuba las mayores afectaciones de los huracanes se deben a los vientos cuyas daños son mayores en los suelos rojos y arenosos que en los arcillosos pues ofrecen menos anclajes al cultivo. Las cepas que más se afectan son las de ciclo largo (frio, primaveras quedadas y retoños quedados) (Villalón, 2012)

En las primaveras quedadas los daños se producen en las raíces, plantones arrancados y cañas partidas. Evidentemente, esta cepa fue la más afectada en Cuba. En los retoños quedados los daños se atribuyen más bien a deficiencias en la recogida de la caña acamada por las combinadas, en las cepas restantes 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 (Acosta, 2013).

1.4 Fases fenológicas de la caña de azúcar y su relación con las variables climáticas.

La caña de azúcar tiene esencialmente cuatro fases de crecimiento: a) fase de establecimiento; la cual implica germinación y emergencia, ya sea en plantación o en rebrote o retoños (socas y resocas) de los cuales crecerán nuevos tallos

(macollamiento), b) fase de ahijamiento, formativa o reposo fisiológico, c) fase de crecimiento rápido, y d) fase de maduración y cosecha (Humbert, 1970).

Aguilar (2011), caracteriza a la germinación como la iniciación del crecimiento a partir de las yemas presentes en los tallos plantados o en los que quedan en pie después de la cosecha del cultivo anterior, al ahijamiento como el proceso fisiológico de ramificación subterránea múltiple, que se origina a partir de las articulaciones nodales compactas del tallo primario, este le da al cultivo un número adecuado de hojas activas y tallos, los cuales permiten obtener un buen rendimiento.

Así mismo Casanova (1994) plantea que el crecimiento comprende desde el cierre del campo hasta el inicio del periodo de madurez de los tallos. Según el autor esta es la fase más importante del cultivo, en la que se determinan la formación y elongación real de la caña y su rendimiento y se caracteriza por el aumento de biomasa y del número de tallos por área. En esta fase ocurre un crecimiento rápido de los tallos con la formación de 4-5 nudos por mes, así como una foliación frecuente y rápida hasta alcanzar un Índice de Área Foliar (IAF) de 6-7. Este mismo autor define la maduración de la caña de azúcar como la culminación del proceso fisiológico que conlleva a la máxima acumulación de sacarosa en la planta.

1.4.1 Brotación, crecimiento de hojas y ahijamiento en la caña de azúcar

La rápida emergencia de un elevado número de tallos primarios, el desarrollo adecuado del sistema radicular y una alta tasa de aparición y expansión foliar contribuyen decisivamente al establecimiento exitoso del cultivo y proveen las bases para un futuro seguro y productivo. La brotación de la caña de azúcar requiere de condiciones adecuadas de temperatura y humedad. Además para las variedades subtropicales resultan óptimas las temperaturas del aire entre 26-32°C y una disponibilidad hídrica sin limitaciones (Rivacoba y Morín, 2005).

La fase de ahijamiento comienza alrededor de los 40 días después de la plantación y puede extenderse hasta los 120 días; es el proceso fisiológico de ramificación subterránea múltiple, que se origina a partir de las articulaciones nodales compactas del tallo primario, le da al cultivo un número adecuado de tallos, que permitan obtener un

buen rendimiento; así como es afectado por diversos factores, tales como la variedad, la luz, la temperatura, el riego (humedad del suelo) y las prácticas de fertilización (Humbert, 1970).

La luz es el factor externo más importante, la incidencia de una iluminación adecuada en la base de la planta de caña durante el período de ahijamiento es de vital importancia. De esta forma una temperatura cercana a 30°C es considerada como óptima para este proceso, temperaturas inferiores a 20°C lo retardan (Romero, 2010).

Los hijuelos o retoños que se forman primero dan origen a tallos más gruesos y pesados, los retoños formados más tarde en la temporada mueren o se quedan cortos o inmaduros. A los 90-120 días después de la plantación se alcanza la población máxima de retoños. A los 150-180 días, por lo menos el 50% de los tallos mueren y se determina la población final de tallos (Reynoso, 1862).

Manejos culturales como el espaciamiento, la época de fertirrigación, la disponibilidad de agua y el control de las malas hierbas afectan al ahijamiento; aunque se formen entre 6-8 retoños de una yema, solo 1.5 a 2 retoños por yema llegan a formar cañas. Además un cultivo de socas produce más retoños tempranos que un cultivo de plantillas de caña. Así mismo la promoción de un buen ahijamiento es importante para lograr una población adecuada de (Cabrera *et al.*, 2009).

1.4.2 El período de crecimiento y el ambiente en la caña de azúcar.

El período 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(Sáenz, 2004).

Existe una metodología propuesta por (Sáenz, 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 periodo 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.

Sáenz (2004), explica que el crecimiento tanto en la planta de caña 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 adversa de 120 a 80 días de duración y esto repercutirá indudablemente en el rendimiento.

Está demostrado que el crecimiento de la caña es consecuencia directa de la respiración, pues libera energía proveniente de los hidratos de carbono (desasimilación) acumulados por la planta (glucosa), para ser utilizados luego en activar su elongación. De manera que para favorecer la acumulación de sacarosa debe impedirse el crecimiento y favorecer la inversión de azúcares reductores (asimilación) (García, 2012).

1.4.3 Maduración Fisiológica de la Caña de Azúcar

Humbert (1970) describe este proceso en dos etapas: la primera incluye el engrosamiento y cese de crecimiento de los entrenudos, acompañados por un incremento de la materia seca, y la segunda está relacionada con la acumulación de la sacarosa en los entrenudos totalmente desarrollados.

Esta última etapa depende de factores nutricionales y ambientales, si el agua y el nitrógeno son abundantes, la planta no madura y la fertilización con altas dosis de nitrógeno es la causa principal de las bajas acumulaciones de sacarosa en la caña, aunque este nutrimento puede incrementar la capacidad potencial de almacenamiento de una determinada variedad. Por otro lado la absorción excesiva de potasio influye en el ciclo biológico de la planta, ocasionando el adelanto de la maduración y un aumento de sacarosa, en comparación con un cultivo que crece en condiciones normales (Humbert, 1970).

La sacarosa constituye alrededor de 50% del total de la materia seca del tallo maduro de la caña de azúcar, y su contenido en el tejido parenquimatoso de almacenamiento es aproximadamente el 20% de su peso fresco.

El contenido de humedad en los tallos durante el período de maduración y cosecha es importante para asegurar una óptima concentración de los azúcares. Cuando decrece el contenido de humedad en la planta, la deshidratación conduce a la conversión de los azúcares reductores en sacarosa (Torres *et al.*, 1984).

1.5 Caracterización de la Estación Meteorológica Aguada de Pasajeros

El desarrollo de la Meteorología en Cienfuegos en la primera mitad del siglo XX estuvo muy vinculado al trabajo del Observatorio del Colegio Monserrat creado por el padre Jesuita Benito Viñez. Con el triunfo de la revolución cubana la meteorología constituyó una disciplina de connotado interés para nuestro gobierno, un considerable impulso para ella en el territorio central de Cuba constituyó el Proyecto de las Naciones Unidas “Cuba 507”, que fue desarrollado entre los años 1972 y 1976, el cual permitió la construcción de dos estaciones meteorológicas: la estación de Cienfuegos ubicada en Cantarrana (a la salida de la ciudad) y la estación meteorológica de Aguada de Pasajeros.

La Estación Meteorológica Aguada de Pasajeros se identifica a nivel internacional con el código 78335, la misma se encuentra ubicada a los 22.23° de latitud Norte y 80.51° de longitud Oeste, a una altura de 26.34 m sobre el nivel medio del mar, su categoría es de primer orden suplementaria de apoyo climático, de tipo sinóptica-AgrometeorológicaSinóptica: porque estudia los fenómenos meteorológicos en tiempo real, basándose en las observaciones realizadas a la misma hora y anotadas sobre mapas geográficos con el objeto de predecir el estado del tiempo futuro yAgrometeorológica pues observa las condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas relacionándolas con las condiciones meteorológicas(Ramos y Rodríguez, 2013).

Su misión consiste en suministrar información meteorológica y climática autorizada, confiable y oportuna sobre el estado y comportamiento futuro de la atmósfera. Esta información está dirigida a velar por la seguridad de la vida humana y a la reducción de las pérdidas de bienes materiales ante desastres naturales de origen meteorológico, contribuyendo al bienestar de la comunidad y al desarrollo socioeconómico sostenible.

La estación comienza a realizar sus primeras observaciones climatológicas en 1978, al inicio con observaciones durante doce horas diarias y más tarde en 1979 cada veinticuatro horas, no obstante los primeros datos meteorológicos medidos en esta localidad fueron realizados a partir del año 1965, en la actual escuela primaria Antonio Maceo donde radicaba el observatorio local, integrado por un jefe y dos observadores y solo contaba con un pluviómetro, garita meteorológica, evaporímetro y algunos termómetros. En 2004 en esta estación se inician las observaciones de agro meteorología las que continúa realizando hasta la actualidad (INSMET, 2017b).

Según (INSMET, 2017c) la temperatura es una magnitud que refleja el nivel térmico de un sistema, ella mide la capacidad para ceder o ganar energía calorífica. El calor es la energía que se pierde o se gana en ciertos procesos, por transferencia radiactiva en primera instancia. En la atmosfera la energía se transforma por radiación y la fuente principal es el sol. Por su parte la humedad relativa es el vapor de agua que existe en una masa de aire expresado como un porcentaje de la cantidad total que existiría si el aire estuviese saturado a esa misma temperatura y presión.

Para la medición de la temperatura del aire y la humedad relativa de la atmósfera en esta estación se utilizan los termómetros de máxima, de mínima, termómetro de bulbo seco y termómetro de bulbo húmedo ubicado en el Psicrómetro Tipo August, todos los termómetros son de mercurio excepto el de mínima que es de alcohol. Todos proporcionan lecturas directas, además cuenta con el Higrotermógrafo que es un instrumento múltiple al cual se le incorpora el higrógrafo y el termógrafo registrando de forma simultánea y continua estas variables en el tiempo. Todos estos instrumentos se encuentran ubicados en la garita meteorológica (INSMET, 2017a).

La radiación solar del sol, de las nubes, del suelo y de los objetos circundantes pasa a través del aire sin afectar apreciablemente su temperatura en las capas más bajas. En cambio, un termómetro expuesto libremente por lo común absorbe la radiación completamente y, en consecuencia, su temperatura puede diferir con respecto a la temperatura verdadera del aire. Por eso, es necesario proteger los termómetros contra la radiación directa de fuentes exteriores, precipitación, accidentes etc., y permitir una circulación libre alrededor de los mismos, todo lo cual se logra con la garita

meteorológica (INSMET, 2017b). En la estación esta se encuentra ubicada a 1.50 m sobre el nivel del suelo en la plazoleta meteorológica.

La precipitación es un hidrometeoro integrado por un conjunto de partículas, líquidas o sólidas, cristalizadas o no, que caen de una nube o de un grupo de nubes y llegan al suelo, según lo cual puede revestir diferentes formas que permitan clasificarla en tipos (chubasco, lluvia, llovizna, nieve, etc.). El volumen total de las precipitaciones que llegan al suelo durante un período determinado se expresa en función del nivel o espesor que alcanzaría sobre una superficie horizontal impermeable, en la que no se produzcan pérdidas por efecto de la evaporación (INSMET, 2017c).

Para la medición de la misma en esta estación se utiliza el pluviómetro el cual proporciona la lectura directa y el pluviógrafo que es un equipo registrador. El pluviómetro es de tipo ordinario, consiste en un recipiente cilíndrico de metal, de 67 cm de altura, integrado por el embudo colector, la probeta, el tanque, el trípode y la regla de medición, este se encuentra instalado en la plazoleta meteorológica. El pluviógrafo es de flotador modelo P-1, está compuesto por un embudo colector de 500 cm³ de superficie, la cámara de flotación, el mecanismo de drenaje, el sifón, recipiente, cilindro con pluviograma enrollado, la base y la cubierta protectora, este equipo registra en un diagrama el nivel alcanzado por la precipitación en el tiempo y permite además clasificar el tipo de precipitación. El mismo se encuentra ubicado también en la plazoleta meteorológica al lado del pluviómetro (INSMET, 2017c).

Además de los instrumentos descritos anteriormente en la estación meteorológica existen otros, como por ejemplo: barómetro de mercurio y el microbarógrafo ambos miden la presión atmosférica, el primero es de lectura directa y el segundo es un equipo registrador, ambos están situados en el interior de la estación.

Para medir la velocidad y dirección del viento utilizan el Anemógrafo Dines, ubicado también dentro de la estación. Además cuentan con el taque estadounidense de evaporación "Clase A" para medir la evaporación, el cual se encuentra ubicado en la plazoleta, al igual que el Heliógrafo que mide la insolación. También para medir la altura, dirección y velocidad del movimiento de las nubes cuentan con el nefoscopio, y

para determinar la visibilidad horizontal tienen como punto de referencia a la vaquería Aguada I la cual se encuentra a 0.5 km al ENE, la torre de ETECSA ubicada a 3.0 km al NW y la Torre del Central 1ro de Mayo a 5.0 km a ESE.

Esta estación, como bien se describe anteriormente es de tipo sinóptica-Agrometeorológica. La Meteorología Agrícola es una ciencia aplicada que estudia la influencia del tiempo atmosférico y el clima sobre la agricultura en su sentido más amplio. Su misión fundamental es mejorar la producción agrícola en cantidad y calidad y contribuir al desarrollo sostenible de la región en la que ésta se aplique, mediante la información oportuna y veraz de las condiciones agrometeorológicas (Lima, 2004).

Las observaciones agrometeorológicas tiene como objetivo observar las condiciones de crecimiento y desarrollo de las plantas y relacionarlas con las condiciones meteorológicas, de forma que se puedan establecer relaciones que sirvan para el pronóstico, racionalizar el manejo, elevar la eficiencia de las labores, etc. (GARE, 2004). Según las observaciones fenológicas se realizan en terrenos de observación seleccionados, en los campos cultivados, plantaciones frutales y pastizales. Los terrenos de observación deben representar las condiciones de los campos por una parte, y poseer condiciones similares a los de la plazoleta meteorológica por la otra.

En la estación se seleccionaron ocho campos característicos de la región en cuanto al tipo de suelo, clima, relieve, entre otros. Se localizaron en cada campo cuatro parcelas, que estuvieran situadas hacia las esquinas, pero sin llegar a incluir los bordes, sobre las cuales se realizan las observaciones. En cada parcela se seleccionan dos hileras del cultivo contiguas y se escogen cinco plantas en cada una de forma que se localicen cinco plantas en una hilera y las otras cinco en la otra hilera y a continuación de la última planta escogida.

Las plantas se marcan con alguna tela, polietileno, con pintura indeleble, con estacas, etc. Si alguna de las plantas muere, se sustituye por otra que se localice en la misma hilera y que presente condiciones similares a la anterior. La frecuencia de las observaciones se realiza en dependencia del tipo de cultivo y de la fase fenológica en que se encuentre, que puede ir desde días alternos hasta cada cinco días. Los

resultados obtenidos se suman y promedian, siendo este valor final el representativo de la población observada.

A estos campos o terrenos de observación se le realizan las siguientes observaciones agrometeorológicas: temperatura del suelo en la superficie y en las profundidades (10 cm), humedad visual del suelo, fases de desarrollo de los cultivos agrícolas, pastos, árboles frutales y silvestres y arbustos, el estado de las plantas de cultivo, altura y población de los sembrados, el grado de invasión por plantas indeseables, su deterioro a causa de los fenómenos meteorológicos desfavorables, las plagas y las enfermedades, el incremento de la masa vegetal, la formación de los elementos de productividad; la apreciación general del estado de los sembrados, así como los trabajos de campo realizados en el período.

Para la realización de éstas observaciones, el observador cuenta con: termómetros de mercurio, cinta métrica, Pie de Rey, barrena taladradora de suelo de 1.0 m, barrena taladradora de suelo de 20 cm, vasija de porcelana y lupa. Todos los equipos e instrumentos de medición que se utilizan en la estación están certificados por el Laboratorio.

De los ocho terrenos de observación seleccionados: cinco son de caña de azúcar, dos de plátanos y uno de mango, además cuenta con 11 productores individuales, los cuales son miembros de la Red de Gestión de Información Agrometeorológica, estos productores con la ayuda del observador agrometeorológico informan sobre el estado de sus cultivos, afectaciones por plagas y enfermedades y fenómenos meteorológicos, las labores que le realizan y las producciones obtenidas y a su vez reciben asesoramiento técnico especializado por parte del observador, lo que les ayuda a mejorar sus producciones y a realizar un mayor ahorro de los recursos naturales y financieros.

Además la estación brinda diferentes servicios a la agricultura, tales como: avisos sobre los fenómenos del tiempo peligrosos para la agricultura y otros tipos de información sinóptica emitida por el Instituto de Meteorología, información diaria sobre el comportamiento de las variables meteorológicas de interés para los productores y la

población en general y su pronóstico para la tarde- noche, boletín semanal sobre el comportamiento de las variables de interés para los productores agropecuarios en la semana, y su relación con las plantas y los animales, así como su pronóstico para los próximos cinco días, además se informa en este boletín las fases en que se encuentra la luna, (a todas las informaciones se le incluyen recomendaciones técnicas especializadas), también se emite el Boletín Agrometeorológico Decenal del municipio dirigido a los directores de todas Empresas (Agropecuarias, AZCUBA, Granos), a varias dependencias del Poder Popular y al Delegado de la Agricultura con el comportamiento de los datos meteorológicos en la decena, peculiaridades agrometeorológicas, cuestiones sobre la ganadería y perspectivas agrometeorológicas para la próxima decena.

Capítulo 2



CAPITULO II. Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el municipio Aguada de Pasajeros utilizando el terreno de observación N. 1 de la Estación Agrometeorológica 78335 (Tabla 1), el cual corresponde a la Unidad Básica de Producción Agropecuaria (UBPC) María Victoria, perteneciente a la UEB Antonio Sánchez de la Empresa Azucarera Cienfuegos.

Caracterización del terreno de observación en estudio

Tabla 1 Principales características del terreno de observación en estudio

Área de la Parcela	6.0 ha
Tipo de Suelo:	Ferralítico Rojo Típico
Variedad:	C 86-56
Fecha de siembra	06/08/07
Campaña	Frío/07
Régimen de riego:	Secano

El terreno se encuentra ubicado a menos de 100 m de la Estación Meteorológica Aguada (Figura 1), por lo que los valores de las variables emitidos por dicha estación corresponden con los valores de las variables de dicho campo.



Figura1. Croquis de los campos de observación Estación Aguada de Pasajeros (INSMET, 2017b)

2.1 Caracterización de las variables meteorológicas de interés para la caña de azúcar.

Para el cumplimiento del primer objetivo, caracterización de las variables meteorológicas de interés para la caña de azúcar en Aguada de Pasajeros se utilizaron los datos de la norma histórica mensual correspondiente al período 1980-2010 (INSMET, 2017a), analizándose las variables:

1. Temperatura Media (°C)
2. Temperatura máxima (°C)
3. Temperatura Mínima (°C)
4. Oscilación Térmica (°C)
5. Temperatura Diurna (°C)
6. Temperatura Nocturna (°C)
7. Precipitaciones (mm.)
8. Días con lluvias (días)
9. Días con lluvia >5 mm (días)

10. Humedad relativa media (%)
11. Humedad relativa 7:00 am (%)
12. Humedad relativa 1:00 pm (%)
13. Nubosidad (optas)
14. Dirección del viento predominante
15. Velocidad media en dirección predominante ($m*s^{-1}$)
16. Evaporación (mm)
17. Insolación media mensual(h)

La norma histórica (1980-2010) se recopiló del sistema SAROM de la Estación Agrometeorológica Aguada de Pasajeros (INSMET, 2017a), ubicado en los archivos del Centro Meteorológico Provincial Cienfuegos.

Se analizaron gráficamente todas las variables. Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables oscilación térmica y las temperaturas: media, mínima y máxima, así como la correlación entre la evaporación y temperatura diurna. Todos estos análisis se realizaron con la ayuda del tabulador Electrónico Microsoft Excel 2013.

También se analizaron los Valores Extremos Mensuales de las variables Meteorológicas de la Estación Agrometeorológica de Aguada de Pasajeros en el período 1976-2017, así como los Fenómenos Meteorológicos Severos reportados en esa Estación el Período 1977-2017 recopilados también del sistema SAROM de la Estación Agrometeorológica Aguada de Pasajeros ubicado en los archivos del Centro Meteorológico Provincial Cienfuegos.

2.2 Comparación del comportamiento de variables meteorológicas en los últimos seis años con respecto a la norma histórica.

Para darle cumplimiento al objetivo dos se utilizaron las siguientes variables en el período 2011-2016:

1. Temperatura Media (°C)
2. Temperatura máxima (°C)
3. Temperatura Mínima (°C)

4. Oscilación Térmica (°C)
5. Temperatura Diurna (°C)
6. Temperatura Nocturna (°C)
7. Precipitaciones (mm)
8. Días con lluvias (días)
9. Días con lluvia >5 mm (días)
10. Humedad relativa media (%)
11. Humedad relativa 7:00 am (%)
12. Humedad relativa 1:00 pm (%)

La base de datos sinóptica del período 2011-2016 se recopiló del sistema SAROM de la Estación Agrometeorológica Aguada de Pasajeros (INSMET, 2017a), ubicado en los archivos del Centro Meteorológico Provincial Cienfuegos. Estos datos constituyen las medias decenales de todas las variables, a los mismos se les realizó un análisis de ANOVA de un factor con dócima de Tukey para $p \leq 0.05$, utilizando la norma como testigo y los años como factor, el número de réplicas ($n= 36$), el cual se corresponde con las decenas que tiene cada uno de los años en los que se realizaron las mediciones de las variables, para ello se empleó el Paquete Estadístico IBM SPSS Statistics 22.0.

Además se determinaron las desviaciones (positivas o negativas) con respecto a la norma histórica (anomalías) de todas las variables, las que se analizaron gráficamente, incluyendo la tendencia de las mismas. Se usó para ello el tabulador Electrónico Microsoft Excel 2013.

2.3 Evaluación, mediante análisis multivariado, de las variables meteorológicas que más influencia ejercen en el desarrollo fenológico del cultivo de la caña de azúcar.

Para evaluar la influencia de las variables meteorológicas sobre el desarrollo fenológico del cultivo de la caña de azúcar (objetivo tres), se utilizaron las variables analizadas en el objetivo anterior, Además se incluyeron las fases fenológicas y su duración (días).

El análisis se realizó con las medias de cada variable en el tiempo de duración de cada fase fenológica (brotación, ahijamiento, rápido crecimiento y maduración), según la clasificación realizada por (Humbert, 1970).

Estos datos fueron recopilados de los resúmenes anuales por terrenos (INSMET, 2017a), emitidos por el departamento de Agrometeorología de la Estación Agrometeorológica Aguada.

Para conocer la participación de las variables en las desviaciones totales del desarrollo fenológico de la caña de azúcar, se realizó un análisis multivariado de componentes principales con rotación Varimax y normalización Kaiser, donde se seleccionaron las variables con coeficiente superior a 0.70. (Miller *et al.*, 2005)

A los datos de las variables de más peso obtenidas en el análisis anterior se les aplicó regresión lineal múltiple por el método de pasos sucesivos donde se incluyó la duración de las fases fenológicas como variable dependiente. Para los cálculos se empleó el Paquete Estadístico IBM SPSS Statistics versión 22 (Gauch, 2007).

Capítulo 3



CAPÍTULO III. Resultados y Discusión

3.1 Caracterización de las variables meteorológicas de interés para la caña de azúcar

Análisis de variables relacionadas con la temperatura y la evaporación

Al analizar la norma histórica de las temperaturas: máxima, mínima y media; así como la oscilación térmica por meses (Figura 1) se distingue como dentro del año se presenta cierta estacionalidad en el régimen térmico, con dos temporadas conocidas como: verano, de mayo a octubre, donde julio y agosto son los meses más calurosos; e invierno, de noviembre a abril, donde enero y febrero son los meses más fríos, lo que coincide con las condiciones climáticas generales del archipiélago cubano señaladas por (Pérez, 2012).

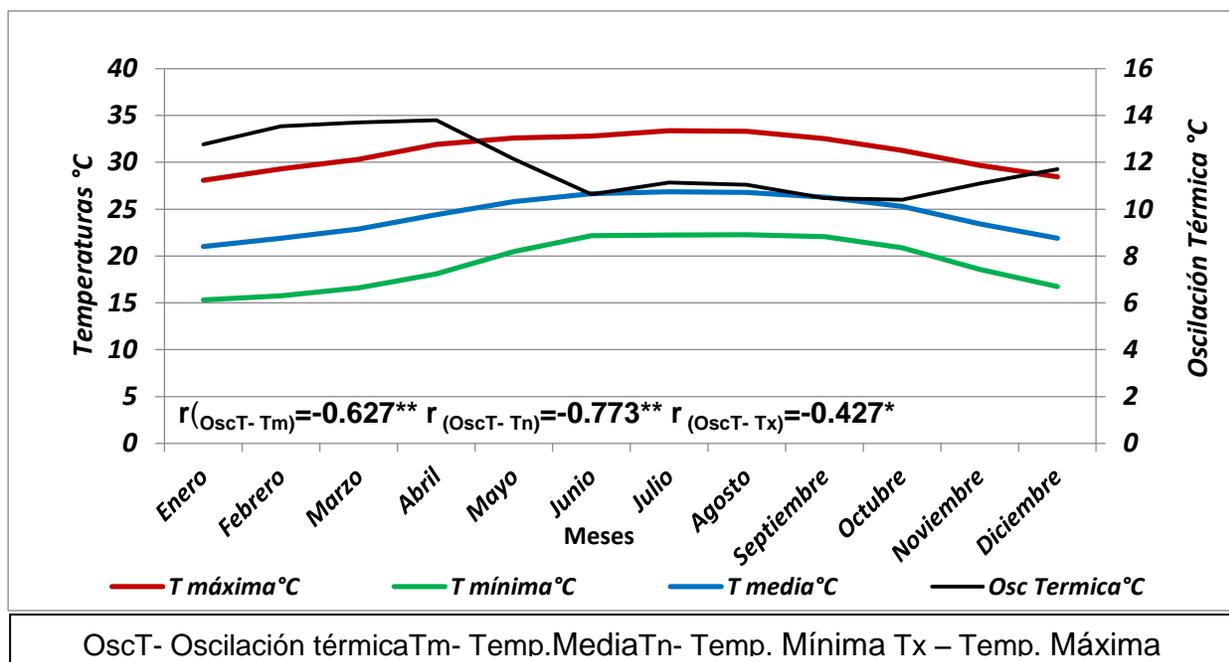


Figura 1. Comportamiento de la Norma histórica de temperaturas: máxima, mínima y media; así como la oscilación térmica (INSMET, 2017a) y la correlación lineal entre las variables oscilación térmica y las temperaturas.

Además se observa correlación negativa y significativa entre las variables oscilación térmica y temperaturas (media, mínima y máxima), lo que indica que en la medida que se incrementan las temperaturas analizadas disminuye la oscilación térmica y viceversa. Este resultado coincide con lo obtenido por (Centella y Bezanilla, 2012) que refieren una elevada dependencia a nivel del suelo de la temperatura media atmosférica con la oscilación térmica; donde considera a este factor de conjunto con otros como la humedad media y el viento, son determinantes en las oscilaciones térmicas que se producen en las capas más bajas de la atmósfera. También que en Cuba en los últimos años se ha observado un pequeño incremento en la temperatura mínima promedio que puede conllevar a que la misma tenga cierta influencia sobre las oscilaciones térmicas atmosféricas.

El desarrollo fenológico de la caña de azúcar se enmarca en correspondencia a las temperaturas y humedad del suelo, donde la fase de rápido crecimiento ocurre entre los meses de mayo a octubre donde se manifiestan las temperaturas más elevadas y la de maduración a partir de noviembre donde comienzan a disminuir las mismas, coincidiendo este último período con la mayor oscilación térmica (Chávez, 1982). Cuando la diferencia entre las temperaturas máximas y mínima es elevada estimula el almacenamiento de sacarosa.

La temperatura tiene también importantes efectos sobre el ritmo de crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar, debido a su significativa influencia en las tasas de emergencia, de aparición de tallos y hojas y de la elongación caulinar meristemática (Perumal, 1989; INSMET, 2017).

En las variables temperaturas diurnas y nocturnas (Figura 2) se observa un comportamiento similar al de las temperaturas media, máximas y mínimas, con los valores más elevados entre los meses de mayo a octubre.

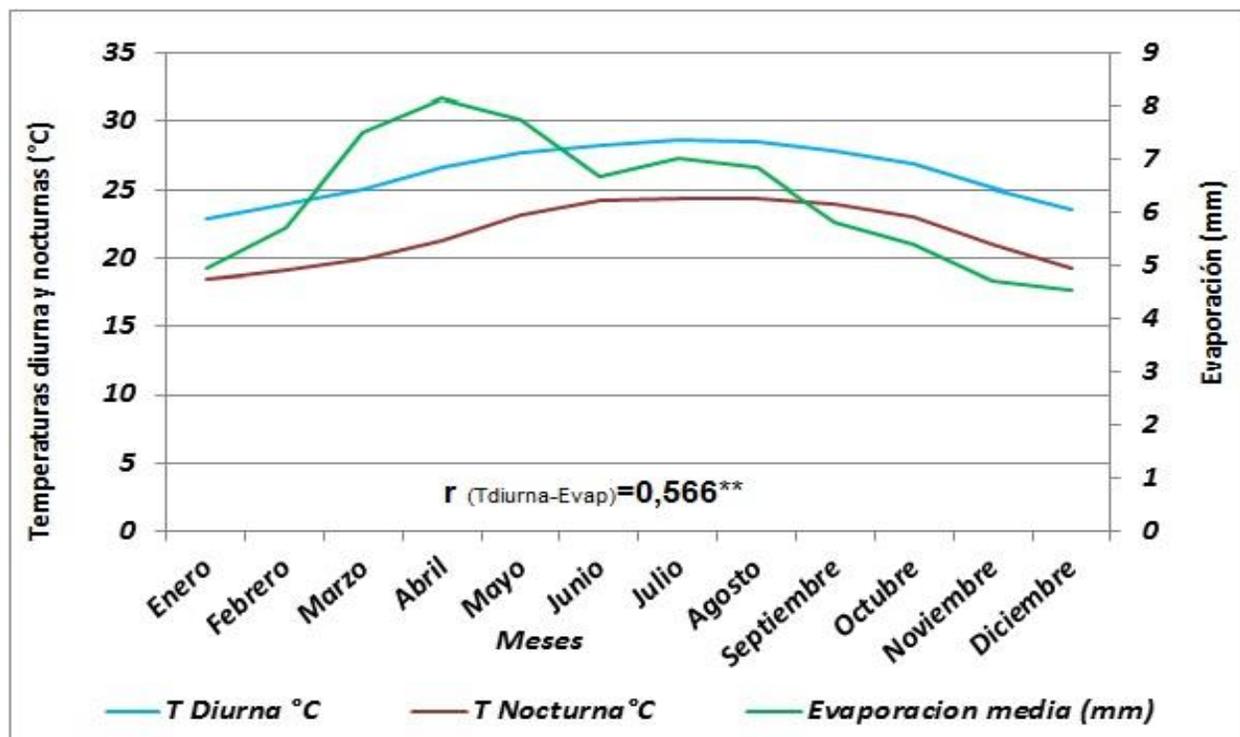


Figura 2. Comportamiento de la Norma histórica de temperaturas: diurna y nocturna; así como la evaporación (INSMET, 2017a) y la correlación lineal entre la temperatura diurna y la evaporación.

Además se distingue correlación altamente significativa entre la evaporación y la temperatura diurna. Esta relación se debe a que la evaporación ocurre a cualquier temperatura, pero que aumenta cuando se incrementa la temperatura porque se requiere de menor energía para la absorción del agua por la planta. Debido a esto en la caña de azúcar la programación y pronóstico del riego de agua es más factible cuando se realiza el pronóstico utilizando el método bioclimático basado en la evaporación (Palacios y Mercado, 2015).

Análisis de las variables relacionadas con las precipitaciones

En el análisis de las precipitaciones (Figura 3), se obtienen resultados similares a los de las temperaturas donde se evidencian dos períodos en el régimen hídrico, uno conocido como: lluvioso, de mayo a octubre, y el otro como poco lluvioso de noviembre a abril, que coincide con los valores de temperaturas más altos y más bajos respectivamente.

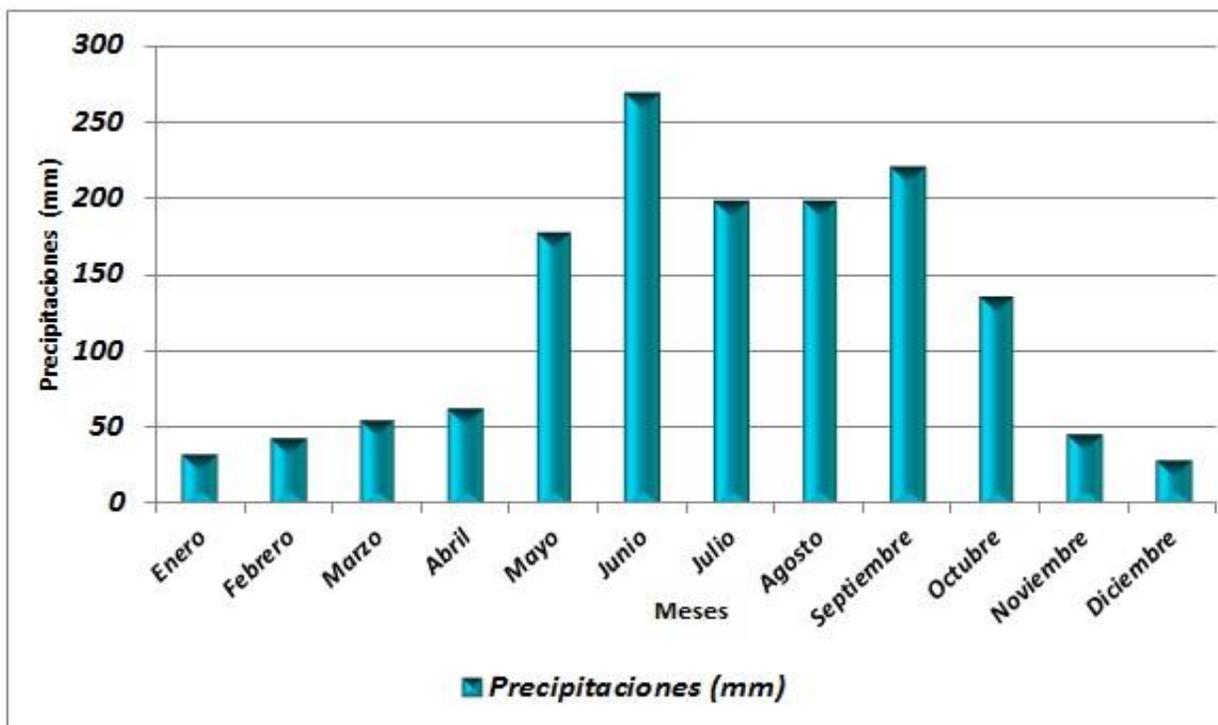


Figura 3. Comportamiento de la Norma histórica de las precipitaciones (INSMET, 2017a).

Estos resultados se corresponden con la descripción de la estacionalidad de la zona tropical, incluida Cuba, realizada por (Pérez, 2012) al clasificar los dos períodos pluviales fundamentales en función de la precipitación. Lo cual se cumple también para la determinación de las diferentes fases fenológicas de la caña de azúcar (González, 1976). El clima ideal para la caña de azúcar es un verano largo y caliente, con lluvias abundantes durante el periodo de crecimiento; así como un clima seco, soleado y frío en las fases de maduración y cosecha (Blume, 1983).

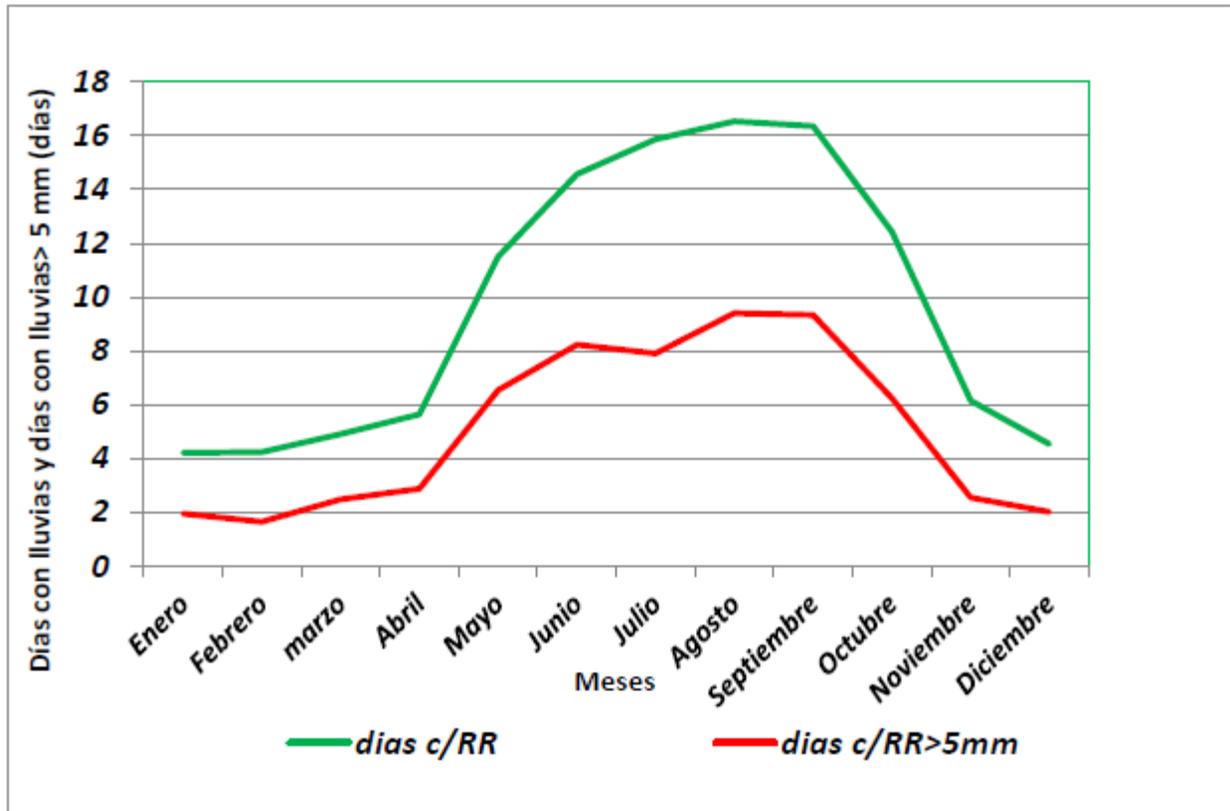


Figura 4. Comportamiento de la Norma histórica de los días con lluvias (días c/RR) y días con lluvia >5 mm (días c/RR>5 mm) (INSMET, 2017a)

Los resultados obtenidos en los días con lluvias y los días con lluvias menores de 5 mm (Figura 4) coinciden con los obtenidos en las precipitaciones, pues muestran que varían de acuerdo al periodo del año que se analiza. La disminución de días lluviosos con acumulados superiores a 5 mm asociados a una menor frecuencia de procesos lluviosos de escala sinóptica, con independencia de los procesos convectivos locales (Ramos y Rodríguez, 2013).

Análisis de las variables relacionadas con la humedad relativa

La norma histórica de la humedad relativa (Figura 5), muestra gran homogeneidad en la máxima; mientras que la media y la mínima presentan los valores más elevados de mayo a octubre, meses en que se producen las precipitaciones y temperaturas más elevadas. Esto se debe a que al producirse mayores lluvias y temperaturas se incrementa el contenido de vapor de agua en suspensión en el aire.

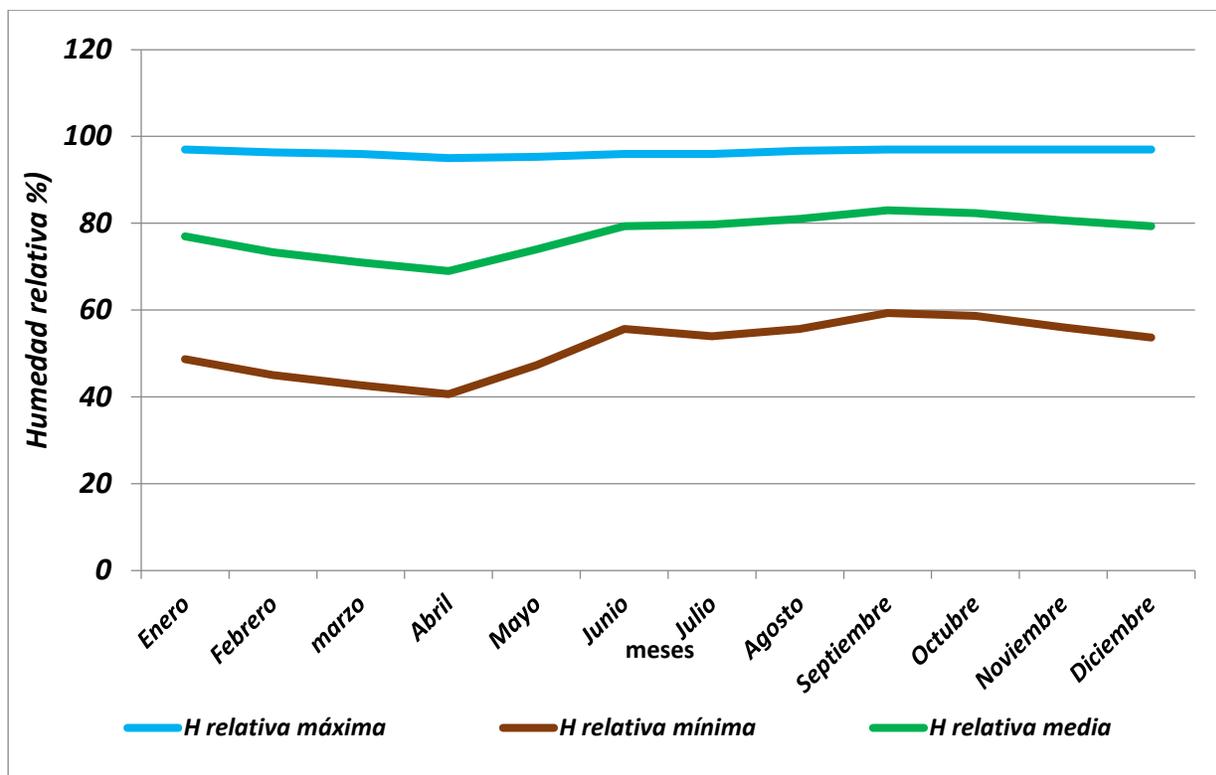


Figura 5. Comportamiento de la Norma histórica de la humedad relativa: máxima, media y mínima (INSMET, 2017a).

La caña durante los meses de mayo a octubre desarrolla la fase fenológica de mayor crecimiento por las condiciones de alta humedad (80 - 85%) que favorecen una rápida elongación de la caña; mientras que valores moderados, de 45-65%, acompañados de una disponibilidad limitada de agua, son beneficiosos únicamente durante la fase de maduración (Romero, 2010). Así mismo (Dillewijn, 1951) sugiere, que la caña cuenta con una asombrosa capacidad de absorción de humedad por sus partes aéreas, así como es capaz de conducir esta humedad a las raíces y descargarla en el suelo por medio de estas.

Análisis de variables: insolación, nubosidad y velocidad y dirección del viento

En el análisis de la nubosidad media mensual (Figura 6), se aprecia que ésta se incrementa a partir del mes de mayo coincidiendo con el período lluvioso. Así mismo la insolación muestra sus mayores valores en los meses de febrero, marzo y abril, donde en este último se presenta la mayor cantidad de horas de insolación. En cuanto al

viento predominante en la localidad, prevalecen los vientos del Este de mayo a septiembre, y de octubre a abril del noreste coincidiendo con el período lluvioso y poco lluvioso respectivamente, no obstante octubre está considerado en el período lluvioso del territorio y sin embargo la dirección predominante es del noreste.

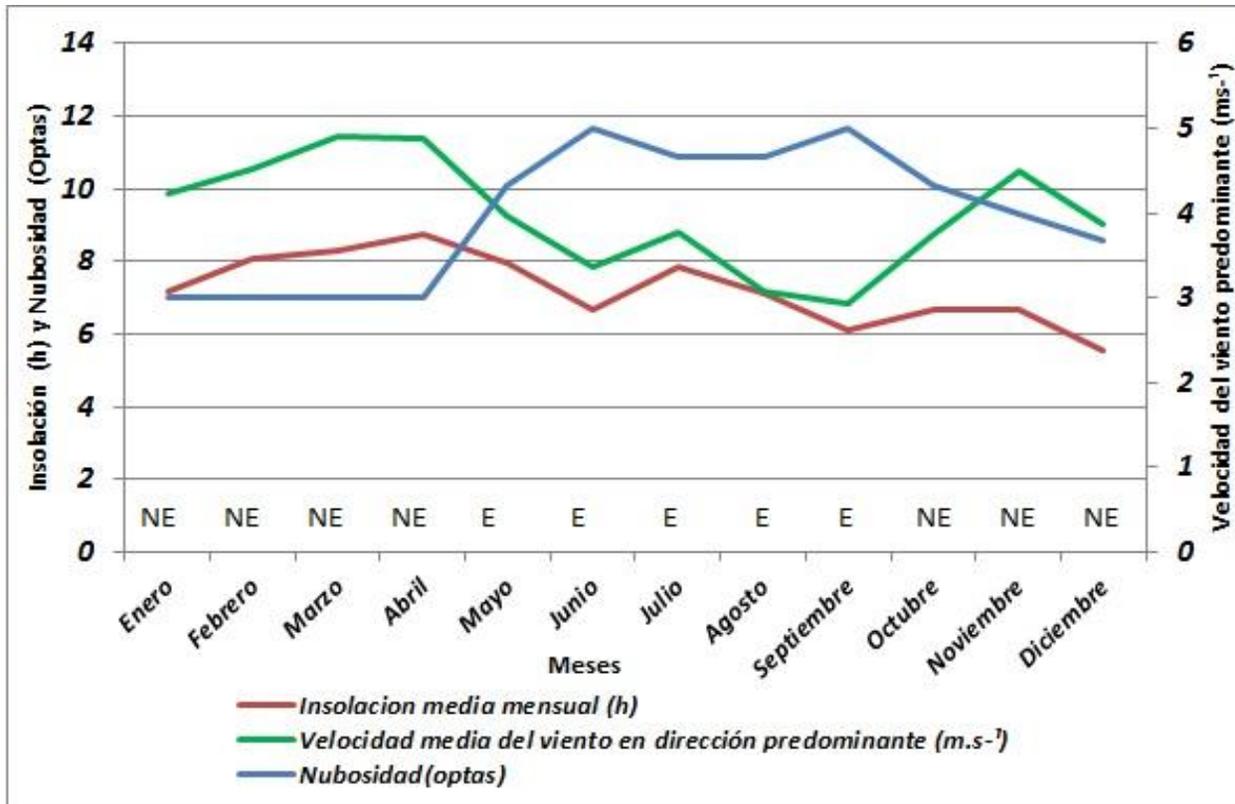


Figura 6. Comportamiento de la Norma histórica de la insolación, la nubosidad, velocidad media del viento en dirección predominante y la dirección del viento (INSMET, 2017a).

En la caña de azúcar la luz solar es la causa fundamental de las diferencias en el rendimiento, mucho más, que por el efecto de las temperaturas (Humbert, 1970). Por lo que la caña de azúcar crece bien en áreas que reciben alta energía solar, por ser una planta C4 es capaz de altas tasas fotosintéticas y este proceso tiene un alto valor de saturación de luz (Pinna *et al.*, 1983). También el ahijamiento es influenciado por la intensidad y la duración de la radiación solar. Una alta intensidad y larga duración de la

irradiación lo estimulan, mientras que condiciones de clima nublado y días cortos lo afectan adversamente (Lima *et al.*, 2013). Los valores más altos de velocidad del viento corresponden con la temporada de invierno, situación que puede ser explicada por los vientos asociados a los frentes fríos que ocurren en esta temporada. También la presencia de sistemas de bajas presiones extra tropicales al norte de Cuba, preceden la entrada de los frentes fríos, provocando vientos fuertes de regiones sur, secos y calientes, los cuales son muy molestos y a su vez dañinos para los cultivos, incluyendo la caña de azúcar (Pérez, 2012).

- **Análisis de fenómenos meteorológicos severos en el municipio Aguada de Pasajeros relacionados con la caña de azúcar.**

Si se observan los fenómenos meteorológicos severos de interés para la caña de azúcar en el período 1977-2017 (Anexo 1), se percibe que se han reportado 21 lluvias intensas, todas con más de 100mm en 24 h, la mayoría se enmarcan en los meses correspondientes al período lluvioso, solo dos se han efectuado fuera de ésta época, ambas en marzo (el 27 en 1986 y el 17 en el 2003).

Se han reportado también seis turbonadas con granizos, las cuales han presentado rachas máximas entre 94 - 100 km*h⁻¹, además de caída de granizos y actividad de tormenta eléctrica. Estas también han ocurrido en la temporada de verano.

Los granizos son otro de los fenómenos meteorológicos severos que han acaecido en la localidad en el período (1977-2017), los mismos han consistido en la caída granizos durante varios minutos (entre 6 y 16 min.), acompañados de actividad de tormentas eléctricas. Se han presentado en los meses de mayo a julio.

Han ocurrido también 21 turbonadas, las cuales han presentado rachas máximas entre 91 y 112 Km*h⁻¹, y no han tenido una época específica para suceder.

La temporada ciclónica se encuentra enmarcada del 1ro de junio al 30 de noviembre. El municipio ha sido afectado en el período histórico analizado por siete ciclones tropicales, tres como tormenta tropical (Kate, Fay e Irma) y cuatro como Huracanes en diferentes categorías (Lili, Michelle, Dennis e Ike), los mismos han ocurrido en el

período julio a noviembre. El 2008 fue el año con mayor actividad ciclónica, de los cuatro ciclones tropicales que azotaron la Isla dos afectaron el territorio (Tormenta Tropical Fay y Huracán Ike).

Acosta (2013) refiere que altas velocidades de viento, superiores a 60 km/hora, son perjudiciales para cañas ya crecidas, al causar acame y rompimiento de los tallos. Además, el viento favorece la pérdida de humedad de las plantas, agravando así los efectos dañinos del estrés hídrico.

- **Análisis de valores extremos de variables Meteorológicas en el municipio Aguada de Pasajeros relacionados con la caña de azúcar.**

En los valores extremos de las variables Meteorológicas en la Estación Agrometeorológica de Aguada de Pasajeros en el período 1976-2017 (Anexo 2), se registra como la temperatura máxima ocurrida en la localidad 37,8 °C el 2 de junio del 2004, como temperatura máxima más baja 14,8 °C, el 25 de diciembre de 1989, la temperatura mínima más alta 25,6°C el 6 de junio de 2016 y la más bajas 2,7°C, el 15 de diciembre del 2010.

En cuanto a la lluvia, la máxima reportada en 24 h fue 198,2 mm que ocurrió el 14 de octubre de 1999 y la lluvia máxima mensual 573,5 mm en el mes de junio de 1976.

La humedad relativa mínima ocurrió el 5 de mayo del 2006 con un 11 %. La racha máxima de viento registrada fue de 192 Km*h⁻¹ asociado al Huracán Dennis, de componente sureste y ocurrió el 8 de julio del 2005. La máxima oscilación térmica diaria registrada es de 23,4°C que sucedió el día 12 de febrero del 2005 y la mínima oscilación térmica reportada 1,4°C el 12 de noviembre de 1999.

Estos resultados corroboran lo planteado por (Torres *et al.*, 1984) quien refiere que la mayoría de los valores extremos se asocian a ciclones tropicales, frentes fríos, tormentas locales severas y ondas tropicales. También que las variables meteorológicas se relacionan estrechamente con el desarrollo de la caña de azúcar pues existe para cada factor un rango, donde se establece un mínimo y un máximo en que su acción es favorable para las plantas tanto directa como indirectamente.

3.2 Comparación del comportamiento de variables meteorológicas en los últimos seis años con respecto a la norma histórica.

Como se aprecia en la Tabla 1, en las variables: temperatura media, temperatura mínima, temperatura diurna y temperatura nocturna no hay diferencia significativa entre la norma histórica de la estación, ni entre los años.

Tabla 1. Comportamiento de las temperaturas y la oscilación térmica respecto a la norma histórica del municipio Aguada de Pasajeros.

Años	Temp. Media (°C)	Temp máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Oscilación Térmica (°C)	Temp. Diurna (°C)	Temp. Nocturna (°C)
Norma	24,42a	31,12ab	19,26a	11,88c	26,21a	21,83a
2011	24,54a	31,06ab	19,43a	11,63bc	26,47a	21,89a
2012	24,49a	30,58a	19,68a	10,90ab	26,31a	21,99a
2013	24,81a	30,87ab	20,23a	10,64a	26,59a	22,33a
2014	24,60a	31,40ab	19,64a	11,76bc	26,52a	21,89a
2015	25,25a	31,94b	20,38a	11,56bc	26,99a	22,68a
2016	24,70a	31,22ab	19,87a	11,36abc	26,58a	22,13a
Es ±	0,136	0,134	0,176	0,108	0,122	0,136
CV (%)	2,159	2,12	2,801	1,717	1,929	2,152

Letras diferentes en las columnas difieren para un nivel de significación de $p < 0.05$ para la prueba de Tukey

Al analizar la temperatura máxima se observa que los años no presentan diferencia significativa con la norma histórica, pero sí se aprecia que los años 2012 y 2015 difieren significativamente entre sí, correspondiendo con el menor y el mayor valor respectivamente. Estos resultados coinciden con los obtenidos por (Centella y Bezanilla, 2012) los cuales plantean que aunque el patrón estacional del clima en el archipiélago cubano es bastante estable, de año en año se producen anomalías de la temperatura que pueden provocar un impacto apreciable sobre muchas actividades socioeconómicas.

En la oscilación térmica se percibe que solo los años 2012 y 2013 difieren de la norma histórica, así como los valores del año 2013 difieren de los años 2011, 2014 y 2015. Como consecuencia del comportamiento de la temperatura máxima, se ha registrado variaciones en la oscilación térmica media decenal, coincidiendo con lo obtenido por (Centella y Bezanilla, 2012) en las evaluaciones sobre las variaciones observadas en los registros de la temperaturas superficial del aire en Cuba, además refieren que las variaciones observadas en la temperatura de Cuba, son consistentes con el incremento de la temperatura media superficial global que ha sido reportado en las últimas evaluaciones del (IPCC, 2007). Según Romero (2010) una alta oscilación térmica estimula la concentración de sacarosa en la caña de azúcar.

Tabla 2. Comportamiento de las precipitaciones respecto a la norma histórica del municipio Aguada de Pasajeros.

Años	Precipitaciones (mm)	Días con lluvia (días)	Días con lluvia >5mm (días)
Norma	41,14 a	3,47 a	1,81 a
2011	35,68 a	3,31 a	1,61 a
2012	49,43 a	3,61 a	1,97 a
2013	41,63 a	3,39 a	1,61 a
2014	35,82 a	3,61 a	1,64 a
2015	43,45 a	3,92 a	1,72 a
2016	38,48 a	3,89 a	1,42 a
Es ±	2,771	0,147	0,097
CV (%)	47,03	2,491	1,647

Letras iguales en las columnas no difieren para un nivel de significación de $p < 0.05$ para la prueba de Tukey

Al analizar las variables: precipitaciones, días con lluvias y días con lluvias >5mm (Tabla 2), se observa que no existe diferencia significativa con la norma histórica de la estación, ni entre los valores de los años, resultados similares fueron obtenidos por

(Centella y Bezanilla, 2012) al analizar la serie de valores anuales de precipitación en Cuba del período 1961-2007, los cuales no mostraron una tendencia significativa estadísticamente. Sin embargo, revelaron un ligero, pero continuo aumento de las anomalías positivas. Estas anomalías, según Rodríguez (2001), favorecen el rápido crecimiento de la caña de azúcar.

Tabla 3. Comportamiento de la Humedad Relativa media respecto a la norma histórica del municipio Aguada de Pasajeros.

Años	Humedad relativa media (%)	Humedad relativa 7:00 Am (%)	Humedad relativa 1:00 Pm (%)
Norma	77,36 a	93,78 a	52,39 a
2011	77,22 a	94,04 a	50,44 a
2012	78,08 a	93,78 a	52,78 a
2013	78,78 a	94,58 a	53,42 a
2014	78,33 a	94,58 a	51,81 a
2015	78,92 a	94,64 a	53,92 a
2016	78,03 a	93,72 a	51,56 a
Es ±	0,343	0,124	0,516
CV (%)	5,444	1,961	8,199

Letras iguales en las columnas no difieren para un nivel de significación de $p < 0.05$ para la prueba de Tukey

La humedad relativa (Tabla 3) muestra un comportamiento similar a las precipitaciones, donde los valores de los años no difieren con la norma histórica de la estación, ni entre sí. Resultados similares obtuvo Plano (2012), desde inicios de los años 90, el cual evidenció que a pesar de no haber diferencia significativa en la humedad del aire se apreciaba un ligero aumento en los valores anuales, y que el mismo estaba condicionado fundamentalmente por las variaciones ocurridas en el período estacional poco lluvioso, constituyendo un ambiente negativo, según Palacios y Mercado (2015), para la fase de maduración de la caña de azúcar, la cual debe ocurrir en este período.

- **Análisis de las anomalías de las variables**

Las anomalías de la temperatura media y mínima (Figura 7) se percibe que en ambas variables es positiva en todos los años evaluados, con tendencia al incremento, en la temperatura máxima hasta el año 2013 es negativa y a partir de éste año pasa a positiva y con tendencia también al incremento. Estos resultados coinciden con lo obtenido por (Centella, 2002), el cual confirma la existencia de una tendencia hacia un clima más cálido, y que el mismo está fuertemente condicionado por el incremento de los valores de la temperatura mínima principalmente en el período diciembre- febrero, meses en los cuales debe ocurrir la fase de maduración de la caña de azúcar y según Núñez (2014) este proceso fisiológico en la caña de azúcar demanda de temperaturas frescas.

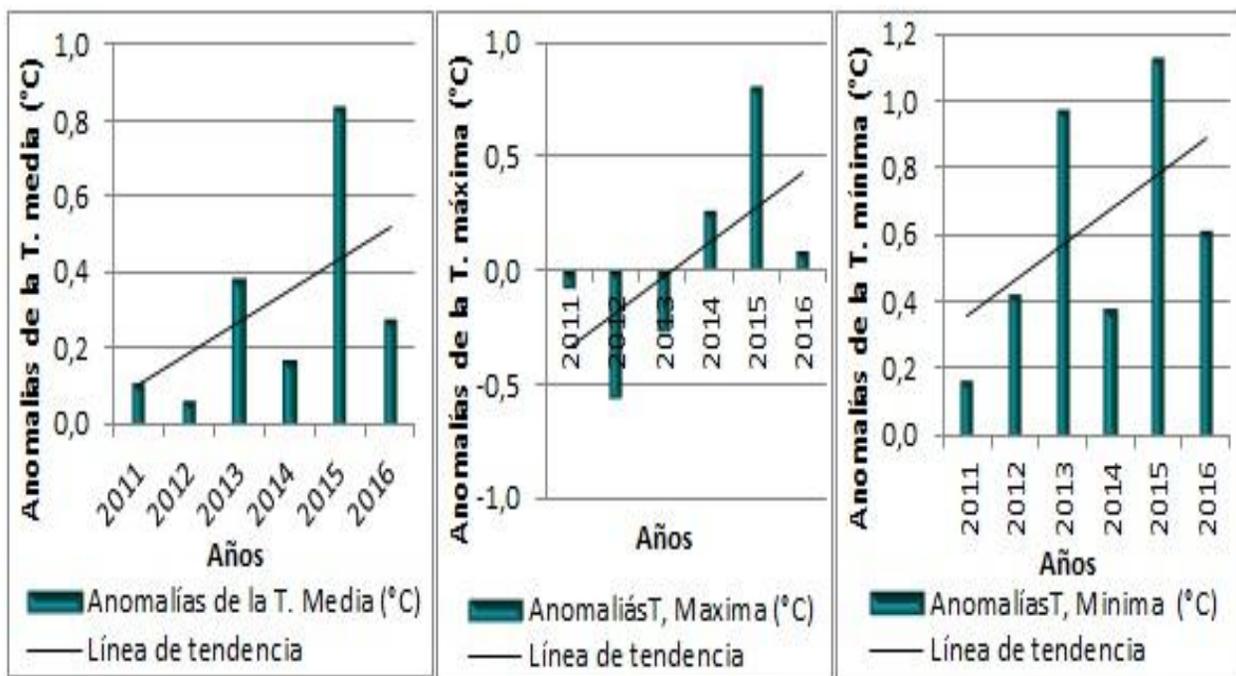


Figura 7. Comportamiento de las anomalías de las temperaturas: media, máxima y mínima la oscilación térmica y sus líneas de tendencia, respecto a la norma histórica.

Quando se analizan las anomalías de la oscilación térmica (Figura 8), se observa que en todos los años es negativa, aunque con tendencia al incremento, mientras que las anomalías en las temperaturas diurnas y nocturnas son positivas también con tendencia

a seguir incrementando. Esto corrobora los resultados de estudios realizados en La Estación Meteorológica de Casablanca por (Centella, 2002) que indican que el calentamiento observado en las estaciones de serie larga se inició desde antes y se ha mantenido durante los últimos cien años, sólo interrumpido por variaciones de carácter multianual, durante períodos limitados. Las anomalías negativas en la oscilación térmica, así como el incremento de las temperaturas nocturnas, según Marcano (2005), pueden incidir en el proceso de maduración de la caña de azúcar la cual requiere de noches frescas y días más cálidos.

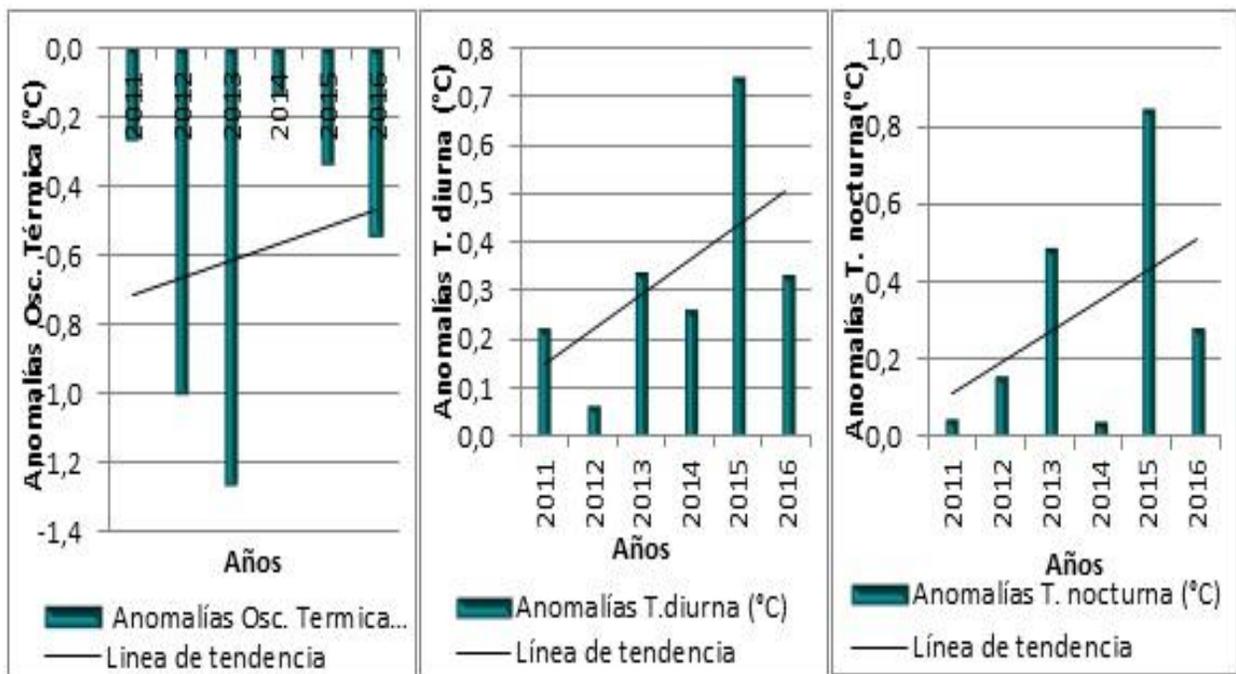


Figura 8. Comportamiento de las anomalías de la oscilación térmica, la temperatura diurna, la temperatura nocturna y su línea de tendencia, respecto a la norma histórica.

Las anomalías en las precipitaciones, los días con lluvias y los días con lluvias >5mm (Figura 9), muestran variabilidad respecto a los años. En cuanto a las tendencias las precipitaciones y los días con lluvias >5mm muestran tendencia negativa sin embargo los días totales con lluvias la tendencia es positiva. Estos resultados coinciden con los obtenidos por (Pérez, 2012) al analizar la serie de valores anuales de precipitación para Cuba del período 1961-2007, la cual no mostró una tendencia significativa estadísticamente, sin embargo, en el período lluvioso del año la distribución de las

anomalías de precipitación dejó ver un cambio en los valores medios durante las décadas recientes, pero con una tendencia al predominio de anomalías medias negativas. Este hecho se asocia a una mayor frecuencia de afectación de los eventos ENOS en nuestro país que produce esta variabilidad en las precipitaciones, creando condiciones de inestabilidad en el proceso fisiológico de la caña de azúcar (Lima, 2004).

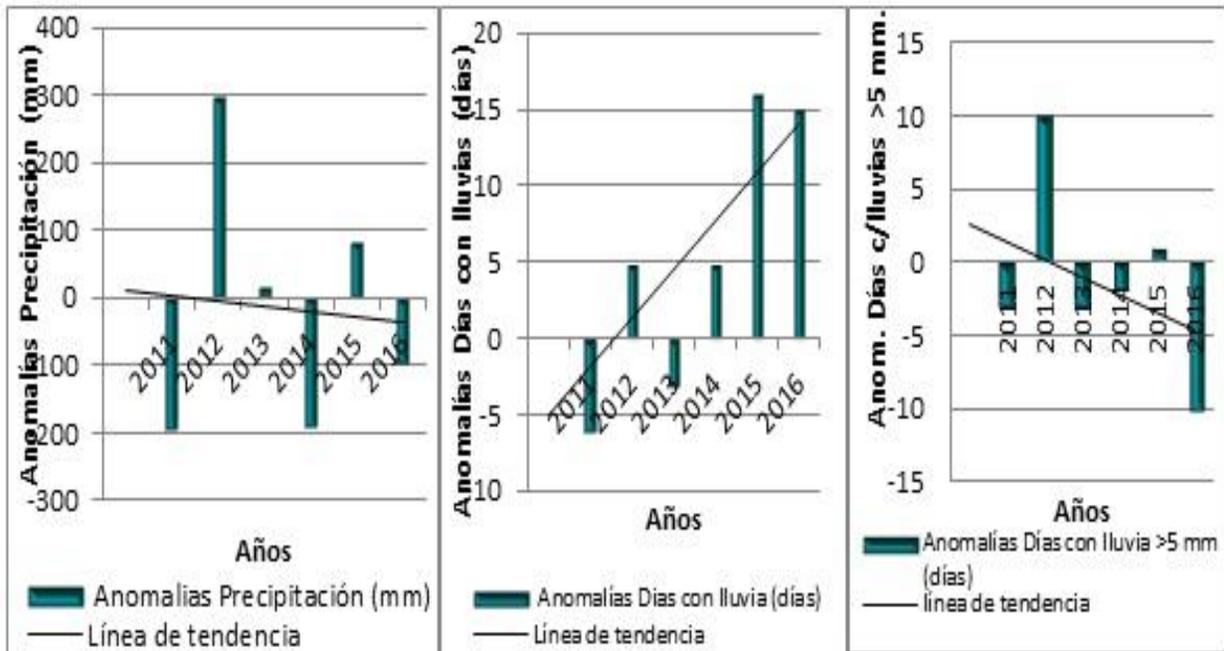


Figura 9. Comportamiento de las anomalías de las precipitaciones, días con llluvias y días con llluvias >5mm y su línea de tendencia, respecto a la norma histórica.

En la humedad relativa media y humedad relativa a las 7.00 am (Figura 10), las anomalías son positivas en todos los años y con tendencia a continuar incrementándose. En el caso de la humedad relativa a la 1.00 pm se aprecia variabilidad en cuanto a las anomalías, los años 2011, 2014 y 2016 muestran anomalías negativas coincidiendo con lo observado en el análisis de las anomalías de las precipitaciones, corroborando la relación entre estas dos variables.

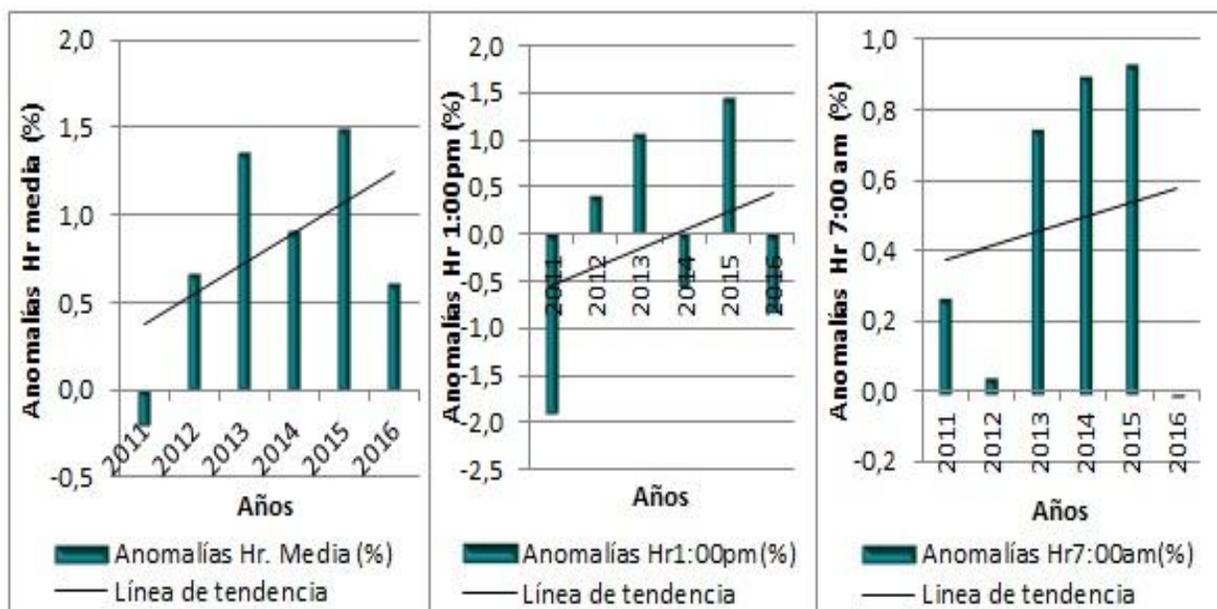


Figura 10. Comportamiento de las anomalías de la Humedad relativa y su línea de tendencia, respecto a la norma histórica.

Estos resultados coinciden con lo obtenido por Centella *et al.*, (1997) al analizar los procesos atmosféricos que conducen a la sequía, donde combina la escasez de humedad atmosférica, con la insuficiencia de sistemas generadores de lluvia, cuyas causas según estos autores deben ser estudiadas, sin dudas, en el contexto de la circulación general de la atmósfera. Según Pinna *et al.*, (1983) el balance hídrico en la caña de azúcar 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.

3.1 Evaluación mediante análisis multivariado, de las variables meteorológicas que más influencia ejercen en el desarrollo fenológico del cultivo de la caña de azúcar.

En el análisis realizado de componentes principales (Tabla 4) se aprecia que las variables se agrupan en cuatro componentes que explican el 100 % de las variaciones totales del terreno de observación.

Tabla 4. Matriz de componente rotado de las variables meteorológicas.

	Componente			
	1	2	3	4
Fase fenológica	0,007	0,934	0,323	0,152
Duración de las fases fenológicas	0,858	0,347	0,377	0,038
Precipitaciones	0,928	0,299	0,216	0,051
Días con lluvias Totales	0,914	0,303	0,267	0,033
Días con lluvias > 5mm	0,926	0,287	0,241	0,038
Temperatura media	0,565	0,779	-0,062	-0,265
Temperatura máxima	0,911	0,042	0,367	0,183
Temperatura mínima	0,983	-0,093	-0,144	0,066
Oscilación térmica	-0,148	-0,264	-0,926	-0,225
Temperatura diurna	0,806	0,070	-0,115	0,576
Temperatura nocturna	0,840	0,159	0,060	0,515
Humedad relativa media	0,234	0,885	0,298	0,271
Humedad relativa 7.00 am	0,157	0,167	0,156	0,961
Humedad relativa 1.00 pm	0,201	0,235	0,949	-0,068
% de la varianza	46,4	22,4	19,2	12,1
% acumulado	46,4	68,7	87,9	100

En el primer componente se agrupan el desarrollo fenológico, las precipitaciones, los días totales con lluvias, los días con lluvias > 5mm, la temperatura máxima, la temperatura mínima, la temperatura diurna y la temperatura nocturna, las cuales responde al 46.4 % de las variaciones totales. Lo anterior corrobora lo planteado por

(González, 1976) en cuanto a que la temperatura afecta la absorción de agua y nutrientes por la planta, limitando o acelerando su crecimiento y desarrollo. Las altas temperaturas favorecen, hasta un máximo de 30°C, el ahijamiento y el crecimiento de la caña (Yan y Tinker, 2006). También (Clements y Kubota, 1942) 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. El agua en la caña es un elemento determinante 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 (Torres *et al.*, 1984).

El análisis de regresión lineal (Figura 11), permitió obtener un modelo de ecuación estandarizada que explica más del 97% de las variaciones del desarrollo fenológico en el terreno de observación, donde las variables: días totales con lluvias, temperatura mínima y la fase fenológica en que se encuentre el cultivo resultaron ser las que más influyen sobre el desarrollo fenológico. Estos resultados corroboran lo obtenido por (Reinoso, 1862) el cual demostró que la temperatura constituye el factor que prácticamente determina en el ritmo y la duración de la emergencia y del crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar, además Cabrera *et al.*, (2009) refieren que el crecimiento de la caña está regido principalmente por la cantidad y distribución de las precipitaciones.

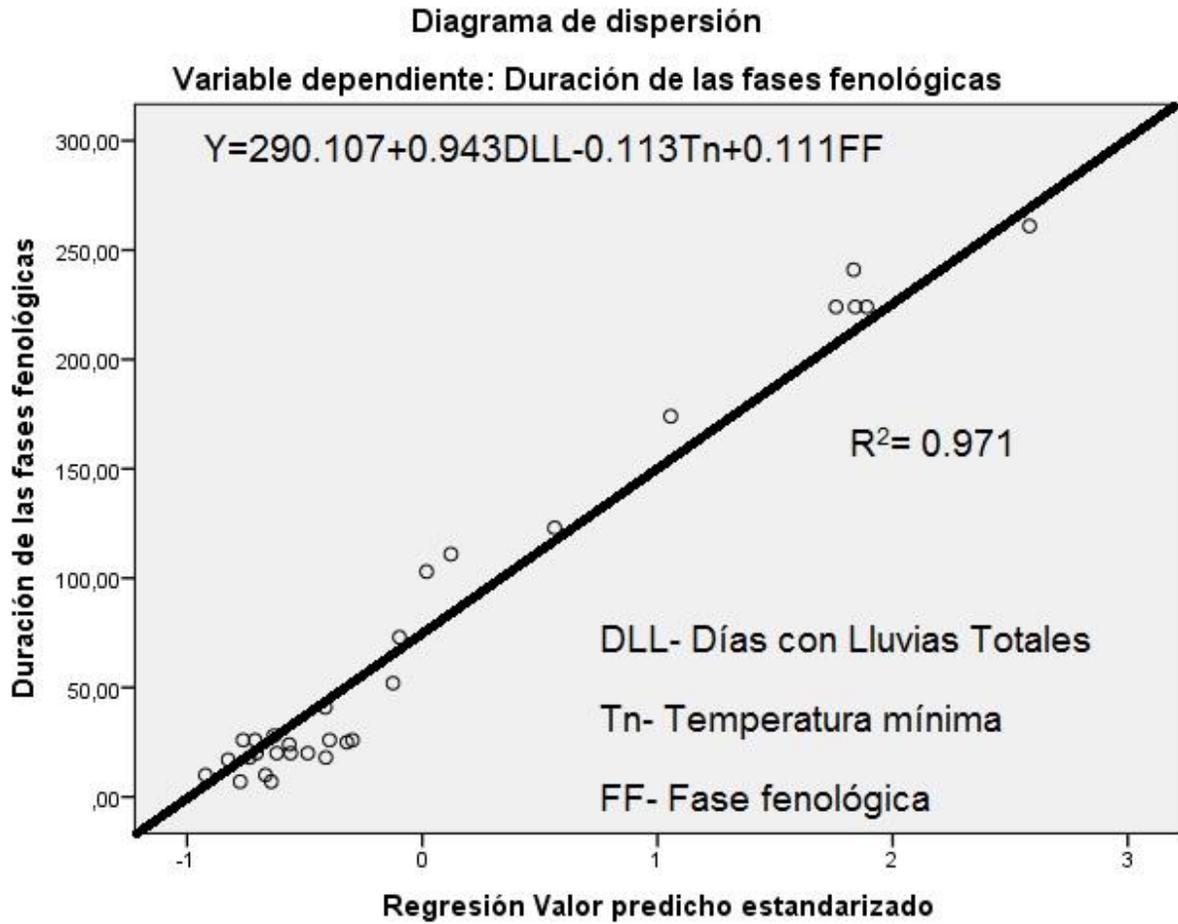


Figura 11 Diagrama de dispersión de los datos donde la variable dependiente es la duración media de las fases fenológicas.

Conclusiones



Conclusiones

1. Las condiciones meteorológicas de Aguada de Pasajeros se caracterizan por tener dos estaciones: de mayo a octubre (verano- período lluvioso) donde se registran temperaturas y precipitaciones elevadas e invierno (poco lluvioso) en el que estas variables presenta valores inferiores, coincidiendo con las necesidades fenológicas de la caña de azúcar.
2. Las temperaturas: media, mínima, diurnas y nocturnas; así como la humedad relativa media y a las 7.00 am, a pesar de tener un comportamiento similar a la norma histórica, presentan anomalías positivas; sin embargo muestran variabilidad en las anomalías: la temperatura máxima, la humedad relativa a la 1:00 pm, las precipitaciones, los días con lluvias totales y los > 5mm; mientras que la oscilación térmica exhibe una reducción significativa, en los últimos seis años en el municipio Aguada de Pasajeros.
3. Las temperaturas: media, máxima, mínima, diurna y nocturna; así como la oscilación Térmica, las precipitaciones, los días con lluvias totales, los días con lluvia >5 mm y la humedad relativa: media, a las 7:00 am y a la 1:00 pm resultan ser las variables que determinan las desviaciones totales; mientras que los días totales con lluvias, la temperatura mínima y la fase fenológica resultaron ser las que más influyen sobre el desarrollo fenológico en el modelo de regresión en la caña de azúcar.

Recomendaciones



Recomendaciones

1. Tener presente en el proceso de producción de la caña de azúcar en Aguada de Pasajeros Provincia Cienfuegos las variables meteorológicas que determinaron el desarrollo fenológico de este cultivo.

Bibliografía



Bibliografía

- Acosta, P. (2013). Efecto de los Huracanes en la Caña de Azucaren Cuba. *Anuario de la Nación. MINAZ* , 13-25.
- Aguilar, R. (2011). *Competitividad de la Agroindustria Azucarera de la Huasteca*. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Aguilera, R. (2015). *Ficha Técnica del cultivo de Caña de Azucar*. México: Universidad Veracruzana.
- Arcenaux, C. (1948). Some Practical means of improving stands of sugar cane under Luisiana conditions. *Some Practical means of improving stands of sugar cane under Luisiana conditions* , 404-423.
- Blume, H. (1983). Enviroment and cane sugar yield. *International Society of sugar cane technologist* , I, 277-290.
- Casanova, E. (1994). *Pago de la Caña*. México: Informe Interno Inst. Cubano de Inv. Azucareras.
- Cavez, S. M. (1982). *La maduración, su control y la cosecha de la caña de azúcar*. La Habana: MINAZ.
- Centella. (2002). *Diccionario Meteorológico Internacional* . La Habana: meteorología.
- Centella, A. A., & Benzanilla, M. A. (2012). *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba*. La Habana: Escenarios Climáticos en Cuba.
- Clements, H., & Kubota, T. (1942). *The selection of a moisture index*. Washington: Internal moisture relations of sugar cane.
- Crossa, J. (1990). *Statistical analyses of multilocation*. Washington: Internal moisture relations of sugar cane.

- Díaz, A. (2004). *Comportamiento de genotipos de la caña de azúcar introducidos y cubanos, ante el síndrome de la hoja amarilla (YLS)*. La Habana: MINAZ.
- Díaz, F. (2001). *Definición de Agroecosistemas de prueba para variedades de Caña de Azúcar en la provincia de Villa Clara*. Santa Clara: Universidad de Las Villas .
- Díaz, P. A., García, H., & Aguilera, L. (1990). *Variedad de caña de azúcar que aporta soluciones para la producción comercial cubana*. La Habana: Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras.
- Díaz, P. A., López, Z. J., & Fernández, L. J. (1990). *Pago de la Caña*. La Habana: Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras.
- Dillewijn, V. (1951). *Botánica de la Caña de Azúcar*. La Habana, Cuba: Edición Revolucionaria.
- Dillewijn, V. (1975). *Botánica de la Caña de Azúcar*. La Habana, Cuba: Edición Revolucionaria.
- DMPF. (2012). *Análisis y cartografía de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Cuba*. La Habana: proyecto Vam Cuba.
- Finlay, K., & Wilkinson, G. (1963). *The analysis of adaptation in a Plant Breeding Programme*. . Sydney: Australian Journal of Agricultural Research.
- García , L. (2012). *Caracterización de condiciones meteorológicas en el Salvador*. San Salvador: Centro Meteorológico.
- GARE. (2004). *Procedimientos Metodológicos para la realización de observaciones agrometeorológicas*. La Habana: Grupo de Atención a la Red de Estaciones.
- Gauch, H. (2007). *Open source software for AMMI and related analyses*. *Crop and Soil Sciences*. NY: Cornell University.

- Gauch, H. (2006). *Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE*. NY: Cornell University.
- Gávez, G. (1992). *¿Es necesario la obtención de variedades de alto contenido azucarero para iniciar zafra?*. La Habana: Instituto de Investigaciones Azucareras.
- Gerra, R. (1961). *Azúcar y Población en las Antillas*. La Habana: Ediciones Revolucionarias.
- González, E. (1976). *Guía Cañera*. La Habana: INRA.
- González, R., & Cruz, C. (1987). *Requerimientos de riego de la caña de azúcar en suelos Ferralíticos Rojos*. La Habana: Producción en la agricultura cañera.
- Hanson, W. (1994). *Distance statistics and interpretation of Southern states regional soybean test*. NY: Cornell University.
- Hernández, R. L. (15 de 11 de 2009). *Evapotranspiración de la caña de azúcar en clima semiárido*. Recuperado el 30 de 11 de 2009, de sitio web de L. Evapotranspiración: <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/revistasCientíficas/canadeazucar/canal/402/texto/evapotranspiracion.thm>
- Hunbert, R. (1970). *El cultivo de la Caña de Azúcar*. La Habana: Editora Universitaria.
- Ibañez, M., Di, R. M., & Samame, B. (2001). *Genotype-environment interaction of lovegrass forage yield in the semiarid region of Argentina*. Barcelona: Journal of Agricultural Science.
- INSMET. (2017a). *Base de datos del sistema SAROM para Cuba*. Cienfuegos: Estación Agrometeorológica Aguada de Pasajeros.
- INSMET. (2017b). *Fenómenos Meteorológicos Severos reportados en la Estación Agrometeorológica 78 335 en el período 1977-2017*. Cienfuegos: Estación Agrometeorológica Aguada de Pasajeros.

- INSMET. (2017c). *Resúmenes anuales de Agrometeorología. Estación Agrometeorológica Aguada de Pasajeros*. Cienfuegos: Estación Agrometeorológica Aguada de Pasajeros.
- IPCC. (2007). *Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC*. University. Cambridge: University Press.
- Julien, M., Peerum, Z., & Domainque, R. (1983). The effects of environment and time of harvest at early stages of selection in sugar cane. En R. Domainque, *International Society of sugar cane technologist* (Vol. II, págs. 698-712). Habana: Proceeding XVIII congerss.
- Larrondo, J., Yang, S., & Villegas, F. (1989). *Some factors affecting juice quality components of sugar cane in Colombia*. Colombia: Plant physiology.
- Lima, A., Pérez, R., & Vega, R. (2013). *Vulnerabilidad y posible vinculación con los cambios globales de los ciclones tropicales de Cuba*. La Habana: Instituto de Meteorología.
- Lima, J. (2004). Caña de azúcar: captación conservación y manejo sostenible del agua y la humedad del suelo. *Revista INCA* (1), 26-83.
- Longel, D. L. (2016). *Cantidad de días con lluis y su distribución por intervalos en condiciones normales de sequía severa en el occidente de Cuba*. Universidad de La Habana. La Habana: Ediciones Revolucionarias.
- Marcano, M. (2005). Prueba de ocho variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp*) bajo condiciones de secano en un suelo de sabana del Estado de Monagas. *UDO Agrícola* 5(1) , 54-61.
- Martín , J. (1987). *La caña de azúcar*. La Habana: Científico-Técnica.

- Matsuoka , S. (1938). *The contribution of man made varieties to the sugar industry in Sao Paulo*. Sao Paulo: Ciencia y Cultura.
- Miller, I., Freund , J., & Jonson, R. (2005). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. La Habana: Félix Varela.
- Miller, J., & Gilbert, G. (2010). *Sugar cane botany*. La Habana: Científico-Técnica.
- Monzón , M. (2012). *Respuesta de tres variedades de caña de azúcar de nueva introducción en la unidad empresarial de base atención al productor agropecuario*. Caracas: Escritos.
- Núñez, D. J. (2014). *Evaluación de cultivares de caña de azúcar de madurez temprana, para el inicio de la zafra azucarera en suelos Sialitizados no cálcicos*. La Habana: Científico-Técnica.
- Ortega, E., Rodés, R., Soto, E., Peláez, I., De Armas, R., Cabrera, N., y otros. (1989). *Bases fisiológicas de la productividad de la caña de azúcar*. . La Habana: Academia.
- Palacios, C. J., & Mercado, P. (2015). *Situación Agrícola de la Caña de Azúcar*. La Habana: Academia.
- Pérez, S. R. (2012). *Variaciones y Cambios en el Clima INSMET. Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba*. Cienfuegos: Instituto de Meteorología.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (2003). *Plant Design and economics for Chemical Engineers* (Five Edition ed.).
- Pinna, J., Valdivia, S., & Telle, H. (1983). *Yield estimation of sugar cane from evapotranspiration data*. Havana: Proceeding XVIII congress.
- Planos, G. E. (2012). *Impacto del cambio climático y medidas de adaptacion en Cuba*. La Habana: Academia.

- Ramos, G., & Rodríguez, M. V. (2013). *Agrometeorología: el monitoreo del clima a la agricultura climáticamente inteligente*. La Habana: Academia.
- Reinoso, A. (1862). *Ensayo sobre el cultivo de la Caña de Azúcar*. La Habana: Publicaciones Azucareras.
- Rivacoba, R., & Morín, R. (2005). *Caña de Azúcar u Sostenibilidad*. La Habana: MINAZ.
- Rodríguez, M. (1997). *Un nuevo indicador de calidad para la Caña de Azúcar*. La Habana: Científico-Técnica.
- Rodríguez, M. M. (2001). *Estudio de diferentes variables agrobotánicas y de calidad del jugo en la variedad comercial de la caña de azúcar (Saccharum spp. híbrido)*. La Habana: Universidad de La Habana.
- Rodríguez, R., Puchades, Y., & Bernal, M. (2010). *Métodos estadísticos multivariados en el estudio de la interacción genotipo ambiente de la caña de azúcar*. La Habana: Félix Varela.
- Romero, E. (2010). Efecto de la temperatura en la emergencia y crecimiento inicial de la planta y primera soca, variedad TUCCP. *Industrial y Agrícola*, 87 (1), 77-42.
- Sáenz, M. (2004). Determinación del período de crecimiento de la caña de azúcar en el CAI José Martí. *CIEGET*, 6 (2), 50-67.
- Sánchez, J. (2011). *Precipitaciones*. La Habana: Academia.
- Segeer, C., & Villodas, R. (2006). *Hidrología*. La Habana: Academia.
- Srinivasan, T. R. (1983). *Sugar cane recovery in relation to age, climate and crop indices*. La Habana: International Society of sugar cane technologist.
- Torres, J., Pérez, E., & Ortega, R. (1984). *Manual de fundamentos de Agronomía*. Facultad de Agronomía. La Habana: ISCAH.
- Villalón, H. A. (2012). *Agricultura. Impacto del Cambio Climático*. La Habana: Academia.

Yan, W., & Tinker, N. (2006). *Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications*. La Habana: Academia.

Anexos



Anexos

Anexo 1

Fenómenos Meteorológicos Severos reportados en la Estación Agrometeorológica de Aguada de Pasajeros. Período 1977-2017

Fecha			PERIODO DE OCURRENCIA	Fenómeno	Notas
DIA	MES	AÑO			
2	6	1977		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 118.5 mm
9	6	1977		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 100 mm
30	5	1979	14:05-14:35	Turbonada y Granizo	Racha máxima de 96 km/h
10	7	1982	?	Granizo	Se reportó la caída de granizos durante 16 minutos y actividad de tormentas eléctricas
15	7	1982	?	Turbonada y Granizo	Racha máxima de 96 km/h, caída de granizos y actividad de tormenta eléctrica.
25	7	1984	14:45-15:10	Turbonada y Granizo	Racha Máxima de 100 km/h, chubasco y actividad de tormenta eléctrica
11	8	1984	15:00-16:00	Turbonada	Racha Máxima de 112 km/h
24	3	1985	16:00-16:25	Tornado y Granizo	Tornado F1
22	6	1985		Granizo	Se reportó caída de granizo durante 6 minutos fuerte actividad de tormenta eléctrica.
18	11	1985		Ciclón Tropical	El Huracán Kate afecta como Tormenta Tropical, Racha Máxima de Viento: 88 km/h.
27	3	1986		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 110.2mm
23	6	1987		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 103.6 mm

6	8	1987	?	Turbonada	Racha Máxima de 95 km/h
10	9	1987	?	Turbonada	Racha Máxima de 96 km/h
16	9	1987	?	Turbonada y Granizo	Racha Máxima de 94 km/h, lluvia, granizos y actividad de tormenta eléctrica
28	4	1988	?	Turbonada	
19	4	1989	?	Turbonada	Racha Máxima de 96 km/h
24	5	1990		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 113.9 mm
7	6	1990	?	Turbonada	Racha Máxima de 103 km/h
8	7	1990	?	Turbonada	Racha Máxima de 112 km/h
10	7	1990	?	Turbonada	Racha Máxima de 109 km/h
19	4	1991	?	Turbonada	Racha Máxima de 94 km/h, chubascos y actividad de tormentas eléctricas
15	10	1991		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 109.6 mm
29	7	1992	?	Turbonada	Racha Máxima de 103 km/h, lluvia y actividad de tormentas eléctricas
5	6	1993		Granizo	Se reportó la caída de granizo durante 18 minutos y actividad de tormenta eléctrica
3	7	1993	?	Turbonada	Racha Máxima de 94 km/h, lluvia y actividad de tormentas eléctricas
5	6	1995		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 140.4 mm
21	6	1995		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 146.6 mm
21	5	1996		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 154.5 mm
20	9	1996		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 128.7 mm
18	10	1996	Mañana	Ciclón Tropical	Huracán Lili. Racha Máxima Viento: 145km/h, produce lluvias intensas
9	6	1997		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 136.4 mm

7	8	1997	?	Turbonada	Racha Máxima de 91 km/h del SE, chubascos y actividad de tormentas eléctricas
1	10	1997	?	Turbonada	Racha Máxima de 102 km/h del NNE, lluvia y actividad de tormentas eléctricas
25	5	1999	?	Turbonada y Granizo	Racha Máxima de 94 km/h del E, chubascos, caída de granizos y actividad de tormenta eléctrica
21	6	1999	?	Turbonada	Racha Máxima de 90 km/h del E, lluvia y actividad de tormentas eléctricas
1	9	1999	?	Turbonada	Racha Máxima de 90 km/h del E, lluvia y actividad de tormentas eléctricas
14	10	1999		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 198.2 mm
4	11	2001	Tarde-Noche	Ciclón Tropical	Huracán Michelle. Racha Máxima de Viento: 176 km/h. Produce lluvias intensas: 137.7 mm en 24h
6	7	2002		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 102.8 mm
17	3	2003		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 140.2 mm
3	5	2003	15:54-16:00	Turbonada	Racha Máxima de 96 km/h del NE, lluvia y actividad de tormenta eléctrica
10	6	2003	19:17	Turbonada	Racha Máxima de 94 km/h del ENE, lluvia y actividad de tormenta eléctrica
20	3	2004	?	Turbonada	Racha Máxima de 92 km/h del ENE
4	9	2004	17:20	Turbonada	Racha Máxima de 104 km/h del E, lluvia y actividad de tormenta eléctrica

8	7	2005	Mediodía	Ciclón Tropical	Huracán Dennis. Racha Máxima Viento: 192 km/h. Produce lluvias intensas: 181.9 mm en 24h
6	10	2005		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 100.2 mm
30	9	2006		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 120 mm
25	9	2007		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 120.2 mm
17	8	2008	Noche	Ciclón Tropical	Tormenta Tropical Fay
8	9	2008	Noche	Ciclón Tropical	Huracán Ike
22	2	2010		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 102,0 mm
29	5	2011		Turbonada	Racha máxima de 93 km/h del NE, lluvia y actividad de tormentas eléctricas
27	5	2013		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 102,0 mm
30	5	2013		Lluvia Intensa	Acumulado en 24h: 102,0 mm
17	8	2014	Tarde	Turbonada	Racha máxima de 92 km/h del NE, lluvia y actividad de tormentas eléctricas
25	10	2012		Lluvia Intensa	Huracán Sandy, lluvias intensas: 99,0 mm en 24 h
9	5	2015		Granizo	
24	5	2016		Granizo	Se reportó la caída de granizos, actividad de tormentas eléctricas áreas CCS Patricio Lumumba Río Hanabana
9	9	2017		Ciclón Tropical	Huracán Irma, Racha máxima Vientos: 108 km/h produce lluvias intensas: 99,2 mm en 24 h

Anexo 2

Valores extremos Mensuales de la variables Meteorológicas. Estación Agrometeorológica de Aguada de Pasajeros. Período 1976-2017												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura	32,8	34,1	35,2	37,6	37,2	37,8	36,5	36,3	35,5	34,4	34,5	33,7
Máxima	30-ene-91	24-feb-91	26-mar-16	11-abr-99	24-may-98	02-jun-04	03-jul-98	12-ago-96	02-sep-96	06-oct-93	01-nov-97	03-dic-81
Temperatura	15,4	18,8	20,0	21,6	23,6	23,9	26,4	25,0	23,6	24,0	22,0	14,8
Máxima más	10-ene-10	17-feb-77	03-mar-80	01-abr-87	04-may-15	21-jun-95	21-jul-79	02-ago-95	30-sep-94	31-oct-01	28-nov-13	25-dic-89
Temperatura	22,0	22,6	25,0	24,0	25,0	25,6	25,5	25,2	25,0	25,0	24,4	23,4
Mínima más	02-ene-96	16-feb-87	10-mar-10	28-abr-97	05-may-78	06-jun-16	17-jul-05	31-ago-08	01-sep-16	04-oct-95	14-nov-97	11-dic-98
Temperatura	3,7	3,2	4,5	8,8	10,8	14,5	18	16,8	18,1	13,4	9,7	2,7
Mínima	20-ene-77	12-feb-05	06-mar-10	18-abr-83	02-may-92	07-jun-76	28-jul-76	17-ago-76	27-sep-83	27-oct-89	22-nov-06	15-dic-10
Presión	1026,9	1026,9	1023,5	1022	1019,8	1021,7	1018,3	1019,3	1017,5	1021,1	1023,3	1023,8
Atmosférica	28/Ene/1988	05/Feb/2009	15/Mar/1993	02/Abr/1979;	23/May/1979	18/Jun/1979;	10/Jul/1986;	04/Ago/1990	30/Sep/1986	30/Oct/2008;	03/Nov/2014;	20/Dic/1991;
Máxima	:10Am	:10Am	:10Am	10Am	:10Am	10Am	10Am	:07Pm	:10Am	10Am	10Am	10Am
Presión	1002,8	1000,1	993,2	1002,2	997,4	1001,0	980,7	1000,1	981,2	977,3	957,1	1005,0
Atmosférica	23/Ene/2018	02/Feb/1998	16/Mar/1983	08/Abr/1976;	31/May/1993	01/Jun/1993;	08/Jul/2005;	26/Ago/2012	09/Sep/2017	18/Oct/1996;	04/Nov/2001;	23/Dic/1994;
Mínima	:04Am	:10Pm	:04Pm	04Pm	:04Pm	04Am	04Pm	:04Pm	:4Pm	10Am	07Pm	04Am
Lluvia Máxima	86,9	102,0	140,2	73,0	154,5	146,6	181,9	127,7	197,9	198,2	137,7	68,3
en 24 h	18-ene-94	22-feb-10	17-mar-03	16-abr-78	21-may-96	21-jun-95	08-jul-05	30-ago-08	09-sep-08	14-oct-99	04-nov-01	09-dic-17
Lluvia Máxima	204,0	245,4	205,8	191,3	549,4	573,5	398,2	323,9	407,8	410,8	189,7	102,9
Mensual	ene-83	feb-83	mar-03	abr-15	may-96	jun-76	jul-05	ago-08	sep-17	oct-99	nov-80	dic-15
Humedad	20	16	14	13	11	16	25	28	38	35	19	18
Relativa	18-ene-82	16-feb-15	20-mar-92	30-abr-87	05-may-06	24-jun-87	02-jul-78	28-ago-85	13-sep-86	10-oct-77	26-nov-86	21-dic-79
Racha Máxima	74	80	92	96	96	103	192	112	116	145	176	73
del Viento												
Dirección de la	NE	SSE	ENE				SE		ENE			
Racha Máxima	15-ene-00	02-feb-98	20-mar-04	19-abr-89	30-may-79	07-jun-90	08-jul-05	11-ago-84	08-sep-08	18-oct-96	04-nov-01	26-dic-76
Oscilación	22,1	23,4	22,5	22,2	19,8	17,0	15,4	15,8	14,7	17,3	18,9	21,4
Térmica Diaria	21-ene-05	12-feb-05	07-mar-05	15-abr-95	08-may-16	02-jun-04	15-jul-87	16-ago-76	10-sep-15	30-oct-89	24-nov-81	13-dic-81
Oscilación	1,9	2,0	4,5	2,8	2,6	2,5	3,0	2,6	1,7	1,6	1,4	2,3
Térmica Diaria	24-ene-80	20-feb-78	12-mar-10	24-abr-79	04-may-15	02-jun-77	21-jul-79	02-ago-95	30-sep-94	01-oct-02	12-nov-99	02-dic-89