

Variables meteorológicas y desarrollo fenológico de la caña de azúcar en Aguada de Pasajeros

Meteorological variables and phenological development of the sugar cane in Aguada de Pasajeros



<http://opn.to/a/aphzH>

Marlene Ramírez-González ^{1*}, Daylin Rodríguez-Moreira ², Freddy Ramírez-González ³, Sinaí Barcia-Sardiñas ¹

¹Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cuba

²Empresa Agroindustrial de Granos Aguada, Ministerio de la Agricultura, Cuba

³Intermar S.A. Cienfuegos, OSDE Caudal-MFP, Cuba

RESUMEN: La investigación se realizó en el terreno de observación No. 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 1981-2010 y las variables meteorológicas de los últimos seis años, a los que se les realizó un análisis de ANOVA de un factor con dócima de Tukey, además se determinaron las anomalías de todas las variables. Se realizó también un análisis multivariado de componentes principales y de regresión lineal múltiple. Los principales resultados indican que el comportamiento de las principales variables meteorológicas en los últimos años en Aguada de Pasajeros muestra que este cultivo ha estado sometido a condiciones climáticas más extremas lo que ha incidido en la duración de las fases fenológicas de este cultivo, así como en los rendimientos agrícolas e industriales. Se obtiene además una ecuación de regresión que explica más del 97% de las variaciones del desarrollo fenológico en el terreno de observación escogido para el estudio.

Palabras clave: variables meteorológicas, caña de azúcar, desarrollo fenológico, anomalías, Aguada de Pasajeros.

ABSTRACT: The investigation was made in observation area No. 1 of the Agricultural Meteorological Station of Aguada de Pasajeros with the objective to determine the influence of meteorological variables in the phenological development of the sugar cane. The data of the historical period corresponded to 1981-2010 and the meteorological variables of last the six years were used to compare them with the normal period. A multivariate analysis of main components and multiple linear regression was also made. The main results show a more extreme meteorological conditions in the last years in Aguada de Pasajeros that have influenced in the last of phenological phase, so in the Agricola and industrial rendimientos. It has obtained a regression equation that explain more of 97% of phenological development in the chosen observation field.

Key words: meteorological variables, sugar cane, phenological development, anomalies, Aguada de Pasajeros.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* spp.), más que un cultivo y una actividad empresarial, ha representado toda una cultura para los países productores. Este cultivo tiene una alta dependencia de las variaciones ambientales en los

sistemas agrícolas. Posee un periodo 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).

*Autor para correspondencia: Marlene Ramírez-González. E-mail: marlene@cfg.insmet.cu

Recibido: 01/02/2019

Aceptado: 15/04/2019

Los factores del clima han sido ampliamente estudiados por diversos investigadores desde hace mucho, incluso se plantea cómo debería ser el clima ideal para la caña de azúcar. Según [Blume \(1983\)](#) para lograr una máxima producción de este cultivo las características climáticas ideales son: la presencia de una estación calurosa larga, con alta incidencia de radiación solar y una adecuada humedad durante el crecimiento vegetativo; mientras que la presencia de una estación seca, soleada y fresca, es necesaria para la maduración y cosecha.

El período de crecimiento y desarrollo de esta especie tiene esencialmente cuatro fases: fase de establecimiento; que implica germinación y emergencia, ya sea en plantación o en rebrote o retoños, de los cuales crecerán nuevos tallos; fase de ahijamiento, formativa o reposo fisiológico; fase de crecimiento rápido; y fase de maduración y cosecha ([Humbert, 1970](#)).

[Romero et al. \(2010\)](#) demuestra que el régimen térmico, constituye el factor de máxima influencia en la dinámica de la emergencia y crecimiento inicial de la caña planta y primera soca. Por su parte [Cabrera y Hernández, \(2009\)](#) plantean que el crecimiento de la caña está regido principalmente por la cantidad y distribución de las precipitaciones, y que la duración de este período se reduce en condiciones climáticas adversas de 120 a 80 días, repercutiendo indudablemente en el rendimiento del cultivo. Así mismo, [Chávez \(2017\)](#) refiere que para que suceda la maduración del tallo en la caña de azúcar, debe ocurrir un retardo en su tasa de crecimiento, lo cual es estimulado, entre otros factores, por las bajas temperaturas y la sequía moderada.

Cada una de las regiones cañeras posee características ambientales y condiciones productivas singulares, que hacen se produzcan variaciones significativas en el desarrollo de los procesos fisiológicos de este cultivo y como consecuencia su potencial productivo. Para manifestar la producción alcanzable u obtenible, la caña de azúcar requiere de estudios locales precisos, en cuanto a los cambios a través del tiempo de las condiciones ambientales, con el

objetivo de manejar el ciclo del cultivo, adaptándolo a las condiciones del clima ([Aguilar, 2015](#)).

La provincia de Cienfuegos en el municipio Aguada de Pasajeros cuenta con la Estación Agrometeorológica de igual nombre (78335), en la misma se ha podido observar durante el transcurso de los años variabilidad en el desarrollo fenológico de la caña de azúcar en los campos de observación. 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 climáticas futuras y son escasos los estudios realizados sobre este tema. Es por esto que se propone como objetivo: determinar la influencia de variables meteorológicas sobre el desarrollo fenológico de la caña de azúcar en Aguada de Pasajeros a partir de la caracterización de las mismas en el municipio, la comparación de sus comportamientos en los últimos seis años con respecto a la norma histórica y la evaluación de las variables meteorológicas que más influencia ejercen en su desarrollo fenológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el terreno de observación No.1 de la Estación Agrometeorológica Aguada de Pasajeros ([Figura 1](#)).

Para la caracterización de las variables meteorológicas de interés para la caña de azúcar se utilizaron los datos de dicha estación en el período 1981-2010, analizándose las siguientes variables:

- Temperatura media (°C)
- Temperatura máxima (°C)
- Temperatura Mínima (°C)
- Oscilación Térmica (°C)
- Temperatura Diurna (°C)
- Temperatura Nocturna (°C)
- Lluvia (mm)
- Días con lluvias (días)
- Días con lluvia >5 mm (días)



Figura 1. Ubicación del Campo de observación objeto de estudio y de la Estación Agrometeorológica de Aguada de Pasajeros.

- Humedad relativa media (%)
- Humedad relativa 7:00 a.m. (%)
- Humedad relativa 1:00 p.m. (%)
- Nubosidad (octavos)
- Dirección del viento predominante
- Velocidad media en dirección predominante (km/h)
- Evaporación (mm) e Insolación media mensual (h).

Se analizó la marcha anual de cada una de estas variables y además se determinó el coeficiente de correlación de Pearson entre:

- La oscilación térmica y las temperaturas (media, mínima y máxima)
- La evaporación y la variable temperatura diurna

Se comparó el comportamiento de las variables meteorológicas en los últimos seis años con respecto a la norma climática (1981-2010). A estas variables también se les realizó un análisis de ANOVA de un factor con dócima de Tukey para $p \leq 0.05$, utilizando la norma como testigo, los años como factor y el número de réplicas ($n= 36$). Además, se determinaron las desviaciones (anomalías) de las medias decenales con respecto a la norma climática.

La evaluación de las variables meteorológicas de mayor influencia sobre el desarrollo fenológico del cultivo de la caña de azúcar, se efectuó utilizando las mismas variables analizadas en el objetivo anterior y además se incluyeron las fases fenológicas y su duración (días). En este caso se realizó un análisis multivariado de componentes principales con rotación Varimax y normalización Kaiser. Se seleccionaron las variables que mostraban coeficiente superior a 0.70, a las que se les aplicó un análisis de regresión lineal múltiple por el método de pasos sucesivos donde se incluyó la duración de las fases fenológicas como variable dependiente. Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el paquete IBM SPSS Statistics 22.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

El comportamiento de las temperaturas en Aguada de Pasajeros coincide con las condiciones climáticas generales del archipiélago cubano, destacándose cierta estacionalidad en el régimen térmico. Se registra un período cálido de mayo a octubre donde los valores medios mensuales superan los 25°C y un período más fresco de noviembre a abril con valores medios mensuales por debajo de este umbral, [Figura 2](#) (izquierda).

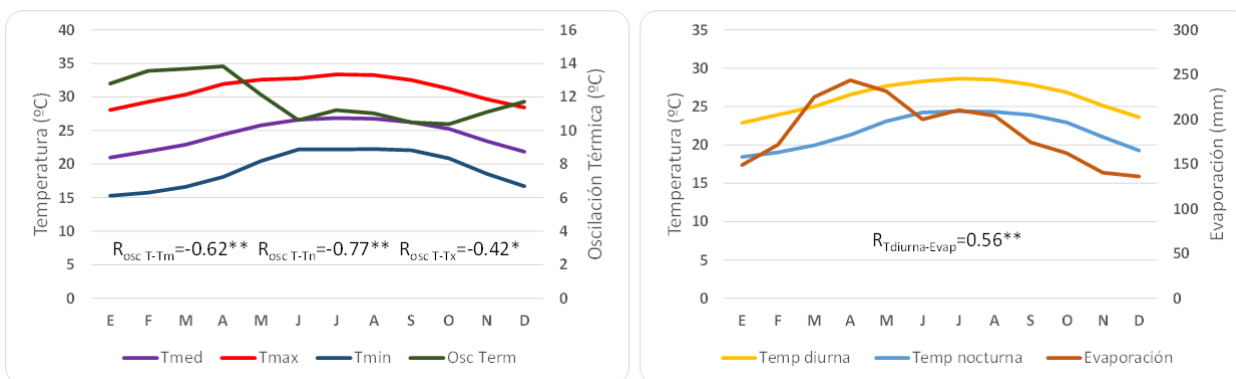


Figura 2. Comportamiento de las temperaturas y correlación lineal entre estas y la oscilación térmica (izquierda) y la evaporación (derecha) en Aguada de Pasajeros en el período 1981-2010.

Julio y agosto se destacan como los meses más cálidos y enero y febrero como los más fríos. No obstante, los valores de temperatura máxima y mínima absoluta reportadas en el período 1977-2017 fueron de 37.8 °C y 2.7°C registradas el 2 de junio del 2004 y 15 de diciembre del 2010 respectivamente.

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 Planos *et al.* (2013) que refieren una elevada dependencia, a nivel del suelo, de la temperatura media del aire con la oscilación térmica; donde considera a este factor de conjunto con otros como la humedad media y el viento, como determinantes en las oscilaciones térmicas que se producen en las capas más bajas de la atmósfera.

El mayor valor de oscilación térmica diaria registrado en el municipio en el período 1977-2017 fue de 23.4 °C el 12 de febrero del 2005 y 1.4 °C como el valor mínimo el 12 de noviembre de 1999. Según (Chavez, 2017), en condiciones tropicales, la temperatura tiene su mayor efecto sobre la concentración de azúcares en los períodos secos, cuando la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima supera los 11°C, lo cual estimula el almacenamiento de sacarosa.

Las temperaturas diurnas y nocturnas (Figura 2, derecha) muestran un comportamiento similar al de las temperaturas media, máximas y mínimas, donde

los valores más elevados se muestran en los meses de mayo a octubre en que las medias del horario diurno superan los 27.0°C y las nocturnas los 23.0°C. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Barcia *et al.* (2009) al analizar la climatología de la temperatura de aire en la provincia de Cienfuegos.

Además, se distingue una correlación altamente significativa entre la evaporación y la temperatura diurna. Según Romero *et al.* (2010) la reducción de las pérdidas de la humedad del suelo, particularmente en los primeros centímetros de profundidad, favorece la emergencia y el crecimiento inicial de la caña, siempre que hayan sido satisfechos sus requerimientos térmicos. Además, Palacios y Mercado (2015) refieren que la programación y pronóstico de riego es factible utilizando el método bioclimático basado en la evaporación del Evaporímetro clase A.

El comportamiento de la lluvia en Cuba distingue dos períodos bien definidos: lluvioso, de mayo a octubre y poco lluvioso de noviembre a abril (Lecha *et al.*, 1994). En Aguada de Pasajeros esta variable se comporta de manera similar, donde se destacan como los meses más lluviosos junio y septiembre, los cuales superan los 250 y 200 mm mensuales respectivamente (Figura 3 izquierda), coincidiendo con los valores máximos de lluvias en 24 horas reportados en el período 1977-2017.

Como mes más seco del año resalta diciembre, con un acumulado de 29.4 mm; los restantes meses del período poco lluvioso muestran cierta homogeneidad, incrementándose ligeramente los acumulados en los meses de marzo y abril.

Los días con lluvias y los días con lluvias mayores a 5 mm (Figura 3 derecha) tienen este mismo comportamiento, aunque se destaca agosto como el mes con mayor cantidad de días con lluvias, tanto totales como mayores a los 5 mm, no coincidiendo con el de mayor acumulado de precipitaciones que es junio. Esta circunstancia es muy favorecedora para la caña de azúcar, pues evita períodos de déficit o exceso de humedad en el suelo, los cuales pueden alterar significativamente el rendimiento del cultivo (Aguilar, 2015).

La marcha mensual de la humedad relativa (Figura 4 izquierda), muestra gran homogeneidad en el comportamiento de la máxima; la cual supera el 90%, mientras que la media y la mínima se corresponde con la distribución estacional de las precipitaciones. Los mayores valores tienen lugar en los meses de septiembre y octubre, últimos meses del período lluvioso y los mínimos se presentan en los meses de marzo y abril finalizando el período poco lluvioso del año.

La caña durante los meses de mayo a octubre desarrolla la fase fenológica de mayor crecimiento, coincidiendo con las condiciones de alta humedad (80- 85%) que favorecen una rápida elongación de la misma. Por su parte, valores moderados, de 45-65%, acompañados de una disponibilidad limitada de agua, son beneficiosos únicamente durante la fase de maduración (Romero et al., 2010).

La nubosidad media mensual (Figura 4 derecha), se incrementa a partir del mes de mayo coincidiendo con el período lluvioso, donde junio y septiembre presentan los mayores valores (5 octavas), con una disminución relativa en los meses de julio y agosto, en correspondencia con la disminución de las precipitaciones en estos meses. De enero a abril se registran los valores más bajos coincidiendo con los meses de mayor insolación.

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). Ella crece bien en áreas que reciben alta radiación solar, por ser una planta C4

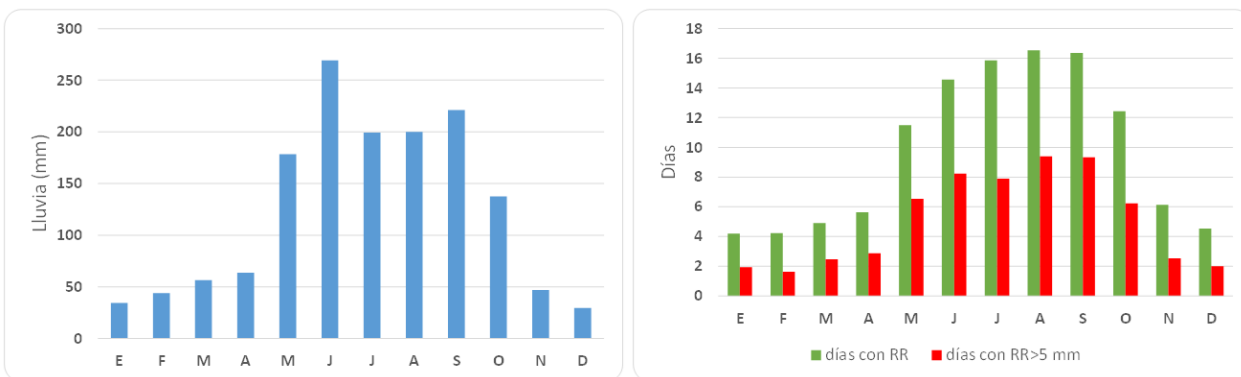


Figura 3. Comportamiento de las precipitaciones (izquierda), los días con lluvias (días con RR) y días con lluvia >5 mm (días con RR > 5 mm) (derecha) en Aguada de Pasajeros en el período 1981-2010.

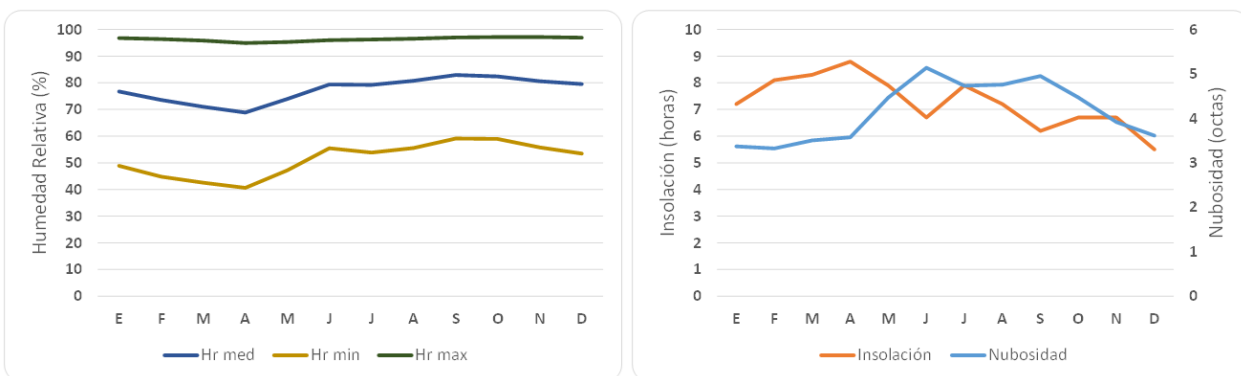


Figura 4. Comportamiento de la humedad relativa (izquierda), la insolación y la nubosidad (derecha) en Aguada de Pasajeros en el período 1981-2010.

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, 2004).

La insolación media anual en el municipio es de 7.25 horas con brillo solar. La marcha anual de esta variable manifiesta un máximo hacia el mes de abril (8.77 horas) y un mínimo en el mes de diciembre (5.53 horas).

La marcha anual de la velocidad del viento muestra su valor mínimo de mayo a octubre, período en que predominan vientos de componente este. Los mayores valores se corresponden con la temporada de noviembre a abril predominando vientos de región nordeste. Esta situación está dada por el tránsito de frentes fríos y el tránsito de los anticiclones migratorios que ocurren en esta temporada. En el trimestre febrero-marzo-abril se registran las mayores velocidades del viento que como promedio superan los 11 km/h, [Tabla 1](#). Sin embargo, la racha máxima de viento registrada en el municipio ocurrió el 8 de julio del 2005 de 192 km/h asociado al Huracán Dennis y fue de componente sureste.

[Acosta \(2013\)](#) refiere que altas velocidades de viento, superiores a 60 km/h, 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 y de las plagas y enfermedades.

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

En los meses correspondientes al período lluvioso se reportaron en la Estación de Aguada de Pasajeros, en el período 1977-2017, 27 eventos de

lluvias intensas (acumulados superiores o iguales a los 100 mm en 24 h). Dentro de ellas se destacan las asociadas a los ciclones tropicales Lili (1996), Irene (1999), Dennis (2005), Ike (2008) e Irma (2017), con acumulados en 24 horas superiores a los 150 mm. Estos eventos lluviosos se presentan con mayor frecuencia en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre, período en el cual la caña de azúcar está en plena fase de crecimiento.

El municipio de Aguada de Pasajeros es uno de los más afectados en la provincia por las tormentas locales severas ([Orbe *et al.*, 2009](#)). Estas tienen su mayor frecuencia de ocurrencia entre los meses de marzo y octubre; y en el territorio se presentan con mayor recurrencia las turbonadas, las granizadas y los tornados. Los vientos fuertes asociados a las turbonadas y los tornados suelen causar significativos daños sobre todo en las plantaciones que han alcanzado mayor grado de desarrollo. Bajo el efecto de fuertes vientos las plantas de caña pueden sufrir al punto de quebrarse o ser fuertemente movidas, que al caer lo hagan con tanta violencia que sean desarraigadas y queden tendidas en el campo, en contacto directo con la tierra, lo cual determina la formación de numerosas raíces originando un cambio profundo en la composición de sus jugos ([Reinoso, 1862](#)).

El municipio fue afectado directa o indirectamente en el período 1977-2017 por siete ciclones tropicales, tres como tormenta tropical (Kate, Fay e Irma) y cuatro como huracanes en diferentes categorías (Lili, Michelle, Dennis e Ike), trayendo consigo serias afectaciones a las plantaciones cañeras. 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).

La caña de azúcar, al disponer de poca área cultivable con sistemas de riego, ve afectado su

Tabla 1. Comportamiento mensual de la dirección predominante del viento y la velocidad media en Aguada de Pasajeros. Período 1981-2010.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Dirección Predominante	NE	NE	NE	NE	E	E	E	E	E	NE	NE	NE	NE
Velocidad media en dir. pred. (km/h)	9.9	10.4	11.5	11.4	9.3	7.8	8.8	7.8	6.8	9.2	10.5	9.9	9
Velocidad media (km/h)	10.7	11.5	12.7	11.7	9.4	8.1	7.8	7.3	7.1	8.8	10.5	10.2	9.7

rendimiento frecuentemente a causa del estrés por déficit hídrico ([González et al., 2014](#)). La sequía ha sido otro fenómeno meteorológico que se ha evidenciado en el municipio. En el período desde 1961-2017 el territorio ha sido afectado por varios eventos de sequía meteorológica entre los que se destacan: 1961-1964, 2003-2005 y 2014-2017 ([Barcia y Angulo, 2011](#)). Los déficits significativos que se presentan en el período lluvioso del año son los más dañinos para el cultivo de la caña pues en esta época predomina la fase de crecimiento de la planta. La precipitación anual adecuada para este cultivo es de 1 500 mm bien distribuida durante el período de crecimiento (nueve meses).

El evento de sequía meteorológica más reciente que afectó el municipio tuvo una duración de seis períodos estacionales. Desde mayo 2014 hasta abril 2017 se apreció un déficit de precipitaciones que afectó a muchos cultivos, incluyendo la caña de azúcar. El período estacional lluvioso más deficitario en cuanto a las precipitaciones fue el correspondiente al 2015 mientras que el semestre noviembre/2016- abril/2017 fue el período poco lluvioso más crítico, en el cual el déficit hídrico cubrió el 100 % del territorio. Estos períodos de sequía incidieron directamente en el desarrollo fenológico de las plantaciones de caña de azúcar, repercutiendo en los rendimientos tanto agrícolas como industriales de ese cultivo, así como en el atraso y prolongación de las zafras azucareras ([CMPCF, 2016](#) y [CMPCF, 2017](#)).

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

Al realizar el análisis de varianza se pudo observar que en las variables: temperatura (media, mínima, máxima, diurna y nocturna), precipitaciones, días con lluvias y días con lluvias >5mm y humedad relativa (media, a las 7:00 a.m. y a la 1:00 p.m.) no hay diferencia estadística significativa entre la norma climática de la estación y los años analizados, solo en la oscilación térmica se pudo apreciar diferencia significativa entre los años 2012 y 2013 y la norma histórica.

Al analizar las anomalías de la temperatura media y mínima se percibe que el comportamiento

de ambas variables se encuentra por encima de la media climática del municipio en todos los años evaluados, [Figura 5](#). En la temperatura máxima los valores de los años 2011, 2012 y 2013 están por debajo de la media climática incrementándose en el resto.

Estos resultados coinciden con lo obtenido por [Planos et al. \(2013\)](#), 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. Según [Chavez \(2017\)](#), este período coincide con la fase de maduración de la caña de azúcar y este proceso fisiológico demanda de temperaturas frescas.

Cuando se examinan las anomalías de la oscilación térmica se observa que en todos los años los valores medios se encuentran por debajo de la media histórica, mientras que las anomalías en las temperaturas diurnas y nocturnas manifiestan valores superiores a ésta, [Figura 6](#). 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.

Las anomalías en las precipitaciones, los días con lluvias y los días con lluvias >5mm muestran variabilidad en los 6 años analizados, ([Figura 7](#)). En el 2011 el comportamiento de las tres variables muestra valores inferiores a la media histórica, mientras que en el año 2012 revelan valores superiores. En el 2013 los valores de las precipitaciones exhiben un ligero incremento, situación que no coincide con los valores de los días con lluvias totales y los >5mm, denotando poca distribución de las precipitaciones en el tiempo.

En los años 2014 y 2016 las medias de las precipitaciones al igual que los días con lluvias >5mm manifiestan valores inferiores, no concordando con los días totales con lluvias. Mientras que en el 2015 estas tres variables presentaron valores ligeramente superiores a la media climática. A pesar de estos resultados en este último año el comportamiento de las lluvias en la



Figura 5. Comportamiento de las anomalías de las temperaturas: media, mínima y máxima.

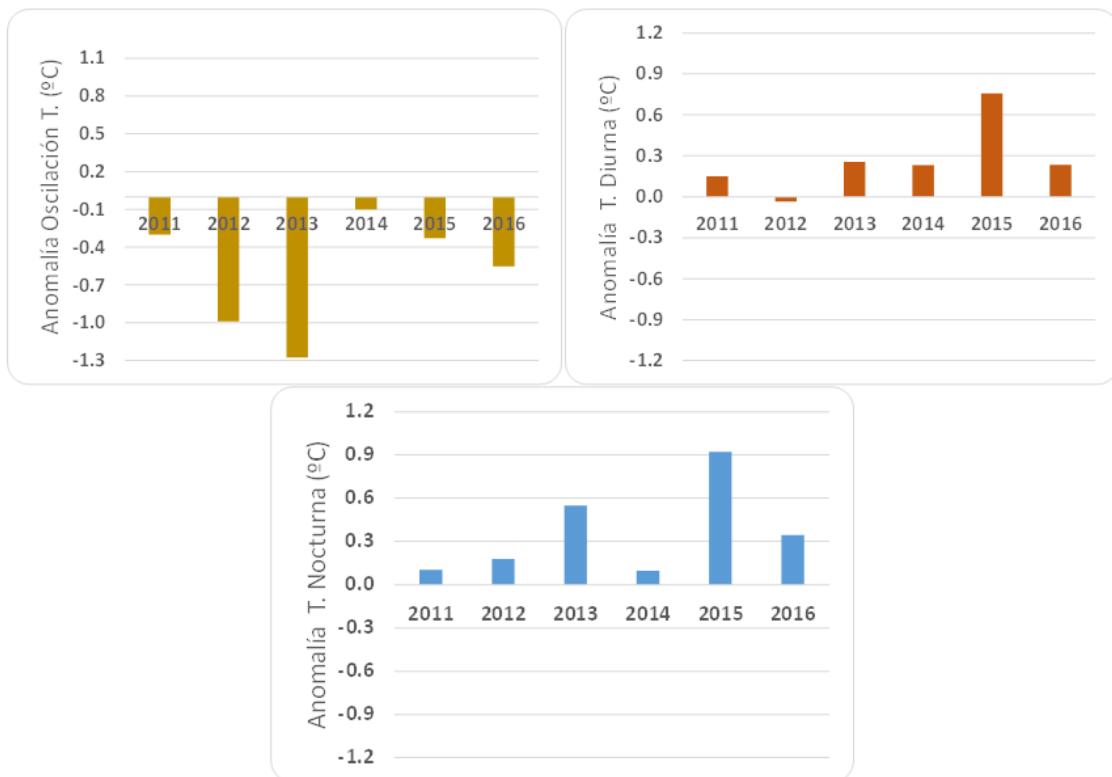


Figura 6. Comportamiento de las anomalías de la oscilación térmica, la temperatura diurna, la temperatura nocturna.

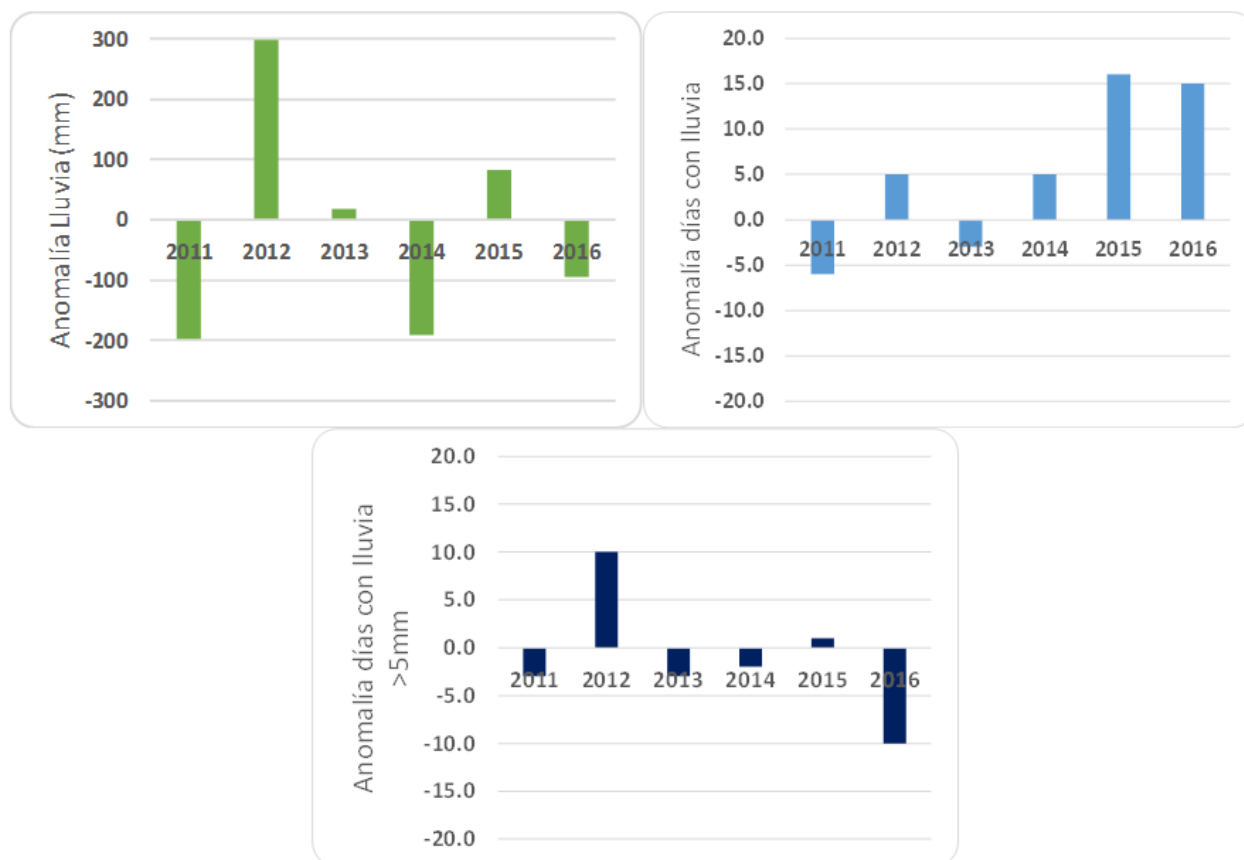


Figura 7. Comportamiento de las anomalías de las precipitaciones, días con lluvias y días con lluvias >5mm.

provincia fue muy desigual, pues se presentó la mayor parte del año con déficits de lluvia siendo los meses de junio y julio los más críticos mientras que el último trimestre del año sobrepasó ampliamente los valores históricos.

Estos resultados corroboran los informes de fin de campañas emitidos por el Centro Meteorológico de Cienfuegos en las campañas 2015-2016 y 2016-2017, donde destacan que en la primera campaña las plantaciones de caña de azúcar del municipio Aguada de Pasajeros sufrieron un déficit de lluvia de un 13.24 % con respecto a la norma climática en la fase de rápido crecimiento (mayo-agosto). Por su parte en la etapa correspondiente a la fase de maduración (noviembre-enero) se incrementaron las lluvias a un 205,11%, dando lugar a formación de renuevos y continuo crecimiento y engrosamiento de los tallos, sin llegar a la maduración total de estos, y en consecuencia la extensión el ciclo vegetativo y la disminución de los rendimientos industriales

(RPC). En la campaña siguiente en las etapas correspondiente con las fases fenológicas: brotación- ahijamiento (febrero-marzo) y maduración del tallo (noviembre-febrero) las plantaciones de cañas sufrieron déficit hídrico (45.01 y 85.6 % respectivamente), influyendo de forma significativa en los bajos tonelajes de cañas y porcentajes de jugo extraídos por la industria (CMPCF, 2016 y CMPCF, 2017).

En la humedad relativa media predominan los años con valores medios mayores que la media histórica, (Figura 8). En el caso de la humedad relativa a la 7:00 am y 1:00 p.m. se aprecia una mayor variabilidad, coincidiendo en gran medida con lo observado en el análisis de las precipitaciones y corroborando la relación entre estas dos variables.

Dillewijn (1951) plantea 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



Figura 8. Comportamiento de las anomalías de la humedad relativa.

el suelo. Así mismo, [Pinna et al. \(1983\)](#) explica que 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.

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 2](#)) se aprecia que las variables se agrupan en cuatro componentes que explican el 100 % de las variaciones totales del terreno de observación estudiado.

En el primer componente se agrupan ocho de las 14 variables analizadas, donde se incluyen: la duración de las fases fenológicas, las precipitaciones, los días totales con lluvias, los días con lluvias > 5mm, las temperaturas: máxima,

mínima, diurna y nocturna, las cuales responde al 46.4% de las variaciones totales. Lo anterior confirma 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. Según [Yan & Tinker \(2006\)](#) las altas temperaturas favorecen, hasta un máximo de 30°C, el ahijamiento y el crecimiento de la caña. Además, [Clements & Kubota \(1942\)](#) encuentran una alta correlación entre las lluvias y la elongación del tallo, así como entre la humedad del suelo y la elongación de la caña. De igual forma [Torres et al. \(1984\)](#) refieren que 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.

El análisis de regresión lineal permitió obtener un modelo de ecuación estandarizada que explica más del 97% de las variaciones del desarrollo

Tabla 2. 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 a.m.	0,157	0,167	0,156	0,961
Humedad relativa 1.00 p.m.	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

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 (Figura 9). Estos resultados corroboran lo obtenido por Romero *et al.* (2010), el cual demuestra que la temperatura constituye el factor que prácticamente determina en el ritmo y duración de la emergencia y crecimiento de la caña de azúcar. Además, Dillewijn (1951) refiere que este último está regido principalmente por la cantidad y distribución de las precipitaciones.

CONCLUSIONES

Las características climáticas de Aguada de Pasajeros se corresponden con las adecuadas para las necesidades fenológicas de la caña de azúcar. No obstante, el comportamiento de las principales variables meteorológicas en los últimos años muestra que este cultivo ha estado sometido a condiciones climáticas más extremas (menor oscilación térmica, mayor temperatura, eventos de sequía y lluvias en períodos no habituales) lo que ha incidido en la duración de las fases fenológicas de este cultivo, así como en los rendimientos agrícolas e industriales.

Las temperaturas: media, máxima, mínima, diurna y nocturna; así como la oscilación térmica, las precipitaciones, los días con lluvias y los días con lluvia >5 mm resultan ser las variables que determinan las desviaciones totales.

Se obtiene una ecuación de regresión 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 resultan ser las que más influyen sobre la duración de cada fase.

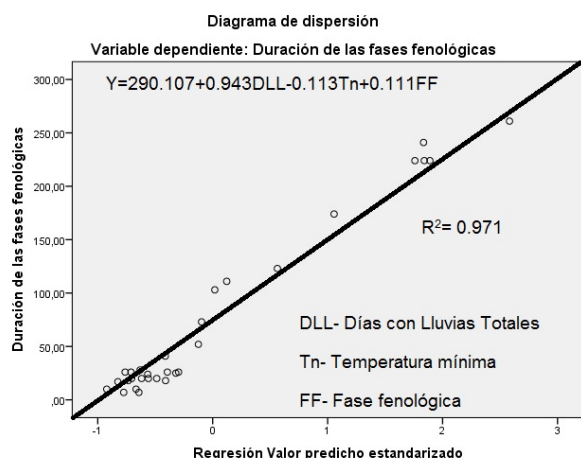


Figura 9. Diagrama de dispersión de los datos donde la variable dependiente es la duración media de las fases fenológicas.

REFERENCIAS

- Acosta, P., 2013. *Efecto de los huracanes en la caña de azúcar en Cuba*, Habana: Anuario de la Nación. MINAZ.
- Aguilar, R., 2015. *Ficha Técnica del cultivo de Caña de Azúcar*, México: Universidad Veracruzana.
- Barcia, S., Orbe, G., Núñez, E., Angulo, R., Sánchez, R., 2009. *Climatología de la temperatura y la humedad relativa en la provincia Cienfuegos*. Centro Meteorológico Provincial: Cienfuegos, Cuba, 29 p.
- Barcia, S. y Angulo, R., 2011 *Principales manifestaciones de la sequía meteorológica en la provincia Cienfuegos*. Centro Meteorológico Provincial: Cienfuegos, Cuba , 22 p.
- Blume, H., 1983. *Environment and cane suga yield*. Volumen II 277-290 ed. International Society of sugar cane technologist.: Proceeding XVIII Congress..
- Cabrera, R. Luís, A. Hernández, I. 2009. “Evapotranspiración de la caña de azúcar en clima semiárido”. *Caña de Azúcar*, 1.4 (2):81-89.
- Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos (CMPCF), 2016. *Informe de Fin de Campaña de la Estación Agrometeorológica de Aguada de Pasajeros*. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba, 16 p.
- Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos (CMPCF), 2017. *Informe de Fin de Campaña de la Estación Agrometeorológica de Aguada de Pasajeros*. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba, 15 p.
- Chavez, M. A., 2017. *Floración en la caña de azúcar*, San José Costa Rica: LAICA.
- Clements, H. y Kubota, T., 1942. *The selection of a moisture index .*, Washington: Internal moisture relations of sugar cane.
- Dillewijn, V., 1951. *Botánica de la Caña de Azúcar*. La Habana: Edición Revolucionaria.
- González, E., 1976. *Guía cañera*. Tercera ed. La Habana: INRA.
- González, R., Almeida, R., Tuero, S., Manresa, M., Gámez, H., López, G., Domínguez, N., 2014. *Evolución y desarrollo de las principales variedades de caña de azúcar cultivadas en cuba en el presente milenio. Líderes del pasado y... ¿del futuro?* Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Grupo Azucarero AZCUBA, Cuba.
- Humbert, R., 1970. *El cultivo de la caña de azúcar*. Segunda ed. La Habana: Editora Universitaria.
- Lecha, L. B.; Paz, L. R. y Lapinel, B. 1994. *El Clima de Cuba*. Editorial Academia, La Habana, 186 pp.
- Lima, J., 2004. “Caña de azúcar: captación conservación y manejo sostenible del agua y la humedad del suelo”. *Revista INCA*, 1:26-83.
- 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.
- Orbe, G.; Barcia, S.; Rodríguez, C. y Hernández, A. L. 2009. “Climatología y cronología de las TLS en la provincia Cienfuegos”. In: *V Congreso Cubano de Meteorología*, La Habana, Cuba.
- Palacios, C. J. y Mercado, P., 2015. *Situación Agrícola de la Caña de Azúcar*. Editorial Academia, La Habana.
- Pinna, J., Valdivia, S. & Telle, H., 1983. “Yield estimation of sugar cane from evapotranspiration data ”. In: Proceeding XVIII congress, La Habana, Cuba.
- Planos, E.; Rivero, R.; y Guevara, V. 2013. Variaciones y cambios del clima. Temperatura superficial del aire. In *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba*. (Lic. Eduardo Martínez Oliva., p. 430). Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, CITMA: AMA.
- Reinoso, A. 1862. *Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar*. Ed. Nacional de Cuba, Sa Edición. La Habana, Cuba. 462 p.

Romero, E., Tonatto, J., Scandaliaris, J., Digonzelli, P., Neme, L., 2010. “Efecto de la temperatura en la emergencia y crecimiento inicial de la planta y primera soca, variedad TUCCP2. *Industrial y Agrícola*, 87(1):77-42.

Torres, J., Pérez, E. y Ortega, R., 1984. *Manual de fundamentos de Agronomía. Facultad de Agronomía*. La Habana: ISCAH.

Yan, W. & Tinker, N., 2006. *Biplot analysis of multi-environment trial dat: Principales and applications* ., La Habana: Academia.

Marlene Ramírez Gonzáles. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cuba. E-mail: marlene@cfg.insmet.cu

Daylin Rodríguez Moreira. Empresa Agroindustrial de Granos Aguada, Ministerio de la Agricultura, Cuba. E-mail: coor.prov@eaga.cfg.minag.cu

Freddys Ramírez Gonzáles. Intermar S.A. Cienfuegos, OSDE Caudal-MFP, Cuba. E-mail: magali@cfg.intermar.cu

Sinaí Barcia Sardiñas. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Instituto de Meteorología, Cuba. E-mail: sinaí@cfg.insmet.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)