

Evaluación de la madurez de cultivares de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en Cienfuegos

Irenaldo Delgado-Mora^{1*}, Sailín Rodríguez-Fleites², José Ramón Gómez-Pérez¹, Héctor Jorge-Suarez³

1. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara (INICA VC). Grupo Empresarial AZCUBA. Autopista nacional Km 246. Ranchuelo, Villa Clara, Cuba.

* ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu

2. Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos, Cuba.

3. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Grupo Empresarial AZCUBA. Carretera al CAI Martínez Prieto, Km 2 ½. Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Existen diferencias marcadas entre las variedades respecto a su curva de acumulación de sacarosa, en la que influyen también significativamente, factores modificables del rendimiento. Debe tratar de hacerse coincidir el periodo de máxima concentración de sacarosa (madurez fisiológica) con la época de cosecha (madurez teórica), para lograr el mejor rendimiento; sin embargo, no existen reportes anteriores sobre el estudio de la meseta de madurez de las curvas de maduración de cultivares de caña de azúcar, por ello, adquiere gran importancia definir la duración en días de esta meseta y determinar la variabilidad existente en diferentes períodos de evaluación. El objetivo de este trabajo fue evaluar la maduración de cultivares de caña de azúcar en la localidad de Cienfuegos. El estudio se desarrolló en el bloque experimental de la caña de azúcar, ubicado en Espartaco, Cienfuegos, perteneciente al Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara, en suelo Pardo Sialítico; el diseño empleado fue bloque completamente al azar, con tres repeticiones, en la variable porcentaje de pol en caña, en las cepas de caña planta y primer retoño. Como resultado se reafirma el criterio de mayor variabilidad a inicio de zafra (noviembre-enero), a través de la expresión numérica de las varianzas en diferentes momentos de evaluación. Se establecieron 111 días como promedio en la meseta de maduración y se formaron dos grupos bien definidos con valores de 90 y 120 días de duración.

Palabras clave: megambientes, madurez, interacción genotipo-ambiente, variabilidad.

ABSTRACT

There are marked differences between varieties with respect to their accumulation curve, which is also significantly influenced by modifiable yield factors. You should try to match the period of maximum sucrose concentration (physiological maturity) with the harvest time (theoretical maturity), to achieve the best performance, however, there are no previous reports on the study of the maturity plateau of the curves. of maturation of sugarcane cultivars, therefore, it is of great importance to define the duration in days of this plateau and to determine the variability existing in different evaluation periods. The objective of the work consisted of evaluating the ripening of sugarcane cultivars in the town of Cienfuegos. The study was developed in the experimental sugarcane block, located in Espartaco, Cienfuegos, belonging to the Institute for Sugar Cane Research of Villa Clara, on Sialitic Brown soil; The design used was a completely randomized block with three repetitions, in the variable percentage of pol in sugarcane, in the plant and first shoot cane strains. Obtaining as a result that the criterion of greater variability at the beginning of the harvest (november-january) is reaffirmed, through the numerical expression of the variances at different evaluation moments. 111 days are established as an average in the maturation plateau, forming two well-defined groups with values of 90 and 120 days duration.

Key words: Mega-environments, ripeness, genotype-environment interaction, variability.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es actualmente el cultivo agroalimentario más productivo del mundo. Debido a la naturaleza química y bioquímica de la materia prima que produce, presenta gran potencial para la diversificación productiva (1).

La variedad ideal de caña de azúcar es la que presenta alta productividad cuando es cultivada bajo diversas condiciones ambientales. El principal factor que dificulta el aumento de la producción es la interacción genotipo-ambiente (IGA) que se expresa en la heterogeneidad de los suelos, relieves accidentados y, sobre todo, en la irregularidad de las lluvias con largos períodos de seca (2).

Hay tres etapas conocidas para la cosecha de la caña de azúcar (inicio, medio y final); sin embargo, constan pocos informes (3-5) en los que se emplee este factor como causa de variación, en investigaciones sobre la interacción genotipo-ambiente (IGA). Existen diferencias marcadas entre las variedades, respecto a su curva de acumulación, en la que también influyen significativamente los factores modificables del rendimiento, citados en un principio, sobre todo los no controlables (6). Debe tratar de hacerse coincidir el período de máxima concentración de sacarosa (madurez fisiológica) con la época de cosecha (madurez teórica), para lograr el mejor rendimiento, debe recordarse que la edad (meses) no es sinónimo de madurez (6).

Sin embargo, no existen reportes anteriores sobre el estudio de la meseta de madurez de las curvas de maduración de cultivares de caña de azúcar; por ello, adquiere gran importancia definir la duración en días de esta meseta y determinar la variabilidad existente en diferentes períodos de evaluación. El objetivo del trabajo es estudiar la maduración en cultivares de caña de azúcar, en la localidad de Cienfuegos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el bloque experimental de caña de azúcar, ubicado en Espartaco, Palmira, provincia de Cienfuegos, perteneciente al Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Villa Clara (INICA VC), a partir de 2009, en el ciclo de frío (septiembre), en suelo Pardo Sialítico (Cambisols), según (7,8). El diseño empleado fue de bloque completamente al azar con tres repeticiones, en áreas de secano y la variable del rendimiento industrial evaluada fue: porcentaje de pol en caña (pol en caña), según la metodología establecida por el INICA (9), así como 19 cultivares en explotación en la producción cañera (tabla 1).

Tabla 1. Cultivares estudiados

Nº	Cultivares	Nº	Cultivares	Nº	Cultivares	Nº	Cultivares
1	C1051-73	6	C86-251	11	C89-250	16	C90-530
2	C323-68	7	C86-56	12	C89-372	17	C91-115
3	C86-12	8	C88-380	13	C90-317	18	C91-356
4	C86-156	9	C89-148	14	C90-469	19	C91-367
5	C86-165	10	C89-176	15	C90-501		

El área de las parcelas es de 48 m², con un largo de 7.5 m, por un ancho de 1.60 m, con cuatro surcos de ancho (10). Los experimentos fueron cosechados entre noviembre de 2010 y mayo de 2011 en la cepa de caña planta, con edades entre 14 y 20 meses, y entre noviembre de 2011 y mayo de 2012, en retoño con 12 meses de edad.

Para determinar la variabilidad en la meseta de maduración de los cultivares, se tuvieron en cuenta las curvas de madurez de cinco cultivares que representan el 44.3 % del área cultivada de caña de azúcar en el país (11): C1051-73 (5.3 %), C86-12 (18.7 %), C86-156 (5.1 %), C90-469 (8.4 %) y C323-

68 (6.8 %). Así como para analizar la expresión numérica de la variabilidad de los 19 cultivares, se le realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias. Se tomaron como referencia tres agrupamientos (inicio, medio y final), según lo reportado por (12). Similar análisis se desarrolló a las variables climáticas del período (humedad relativa, temperatura máxima y mínima).

Para definir las variables que caracterizan la meseta de maduración, se realizó un Análisis de componentes principales (ACP), sobre la base de la matriz de correlaciones con 11 variables (tabla 2).

Tabla 2. Variables utilizadas en el Análisis de componentes principales (ACP)

No.	Variables
1	Porcentaje de pol en caña en el mes de noviembre (PPCNov)
2	Porcentaje de pol en caña en el mes de diciembre (PPCDic)
3	Porcentaje de pol en caña en el mes de enero (PPCEne)
4	Porcentaje de pol en caña en el mes de febrero (PPCFeb)
5	Porcentaje de pol en caña en el mes de marzo (PPCMarz)
6	Porcentaje de pol en caña en el mes de abril (PPCAbr)
7	Porcentaje de pol en caña en el mes de mayo (PPCMay)
8	Porcentaje de pol en caña mes antes del máximo (PPC 1)
9	Porcentaje de pol en caña máximo (PPC máx)
10	Porcentaje de pol en caña mes después del máximo (PPC 2)
11	Duración de la meseta (Dr)

Para determinar estas variables se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- La ubicación de la meseta con su punto central en el valor de PPC máximo (PPCmax), y como puntos extremos, las evaluaciones anterior (PPC1) y posterior (PPC2).
- Para aquellos casos en los que la evaluación inmediata anterior al PPCmáx fue superior al PPC2, se tomó como inicio de la meseta (PPC1) la evaluación antecedente a la inmediata anterior al PPCmax.
- La duración en días del período de la meseta (Dr), establecida por los resultados del inciso (a y b).
- El porcentaje de pol en caña del mes de noviembre (PPCNov), en diciembre (PPCDic), en enero (PPCEne), en febrero (PPCFeb), en marzo (PPCMarz), en abril (PPCAbr) y en mayo (PPCMay).

En la evaluación estadística se utilizó un ANOVA simple de efecto fijo para cada cosecha, en las dos cepas evaluadas. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Múltiple rango con dócima de Tukey ($P < 0.05$). Los datos originales fueron comprobados para su ajuste a la normalidad, mediante la prueba de Bartlett, con su correspondiente Chi cuadrado.

Los paquetes estadísticos utilizados fueron: STATISTICA 6.0. sobre Windows e InfoGen, versión 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar las curvas de maduración promedio de dos cepas (caña planta y retoño), de un grupo de cultivares, se observan las diferencias entre los genotipos, principalmente a inicios de zafra (noviembre-diciembre), en los que el ajuste del modelo oscila con valores entre 0.86 y 0.99 del coeficiente de determinación (R^2) (figura 1).

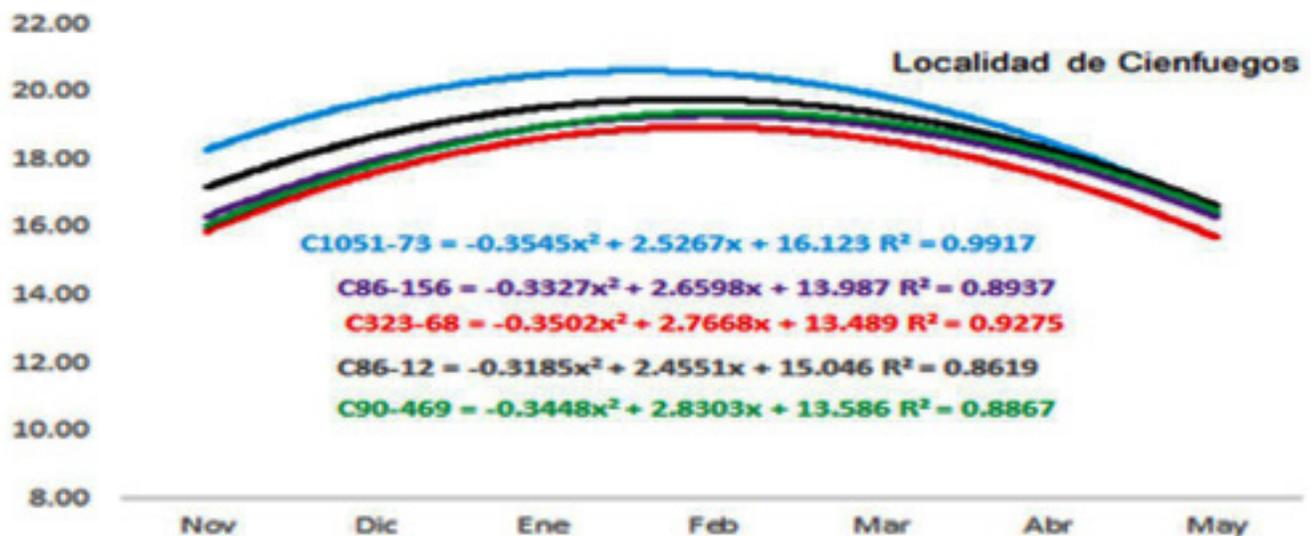


Figura 1. Representación gráfica de curvas de madurez de cultivares comerciales en la localidad de Cienfuegos.

Se analizó el comportamiento de cultivares durante el período de zafra (noviembre-abril) y se señaló, además, que la mayor diferencia entre ellos ocurría a inicios de zafra (noviembre-diciembre), según (5, 13) lo que demuestra que en esta etapa existe mayor variabilidad explotable para este carácter; sin embargo, de mediados a finales de zafra (febrero-abril) esta diferencia es menos marcada, y se reafirman los criterios de (14), quien señaló que el mes de marzo es el mejor maestro de azúcar.

Al observar el análisis de varianza de clasificación simple, de los grupos formados por los meses en el período de zafra en 19 cultivares, mostró la diferencia estadística significativa presentada en la expresión numérica de las varianzas del agrupamiento (tabla 3).

Tabla 3. ANOVA de las varianzas del agrupamiento (NDE-FM-AM)

Fuente variación	Cuadrado medio	F	P
Meses agrupados	0.4536	6.6633	0.0047
Error	0.0680		

Al desarrollar la comparación de medias, mostró que el primer momento (NDE) fue significativamente superior a los demás grupos, mientras que entre (FM) y (AM) no hubo diferencias estadísticas (figura 2). Estos resultados pudieron haber estado influidos por la alta humedad relativa media en el primer agrupamiento, así como por los valores de temperatura, tanto máxima como mínima, que son inferiores a los demás (figuras 3, 4).

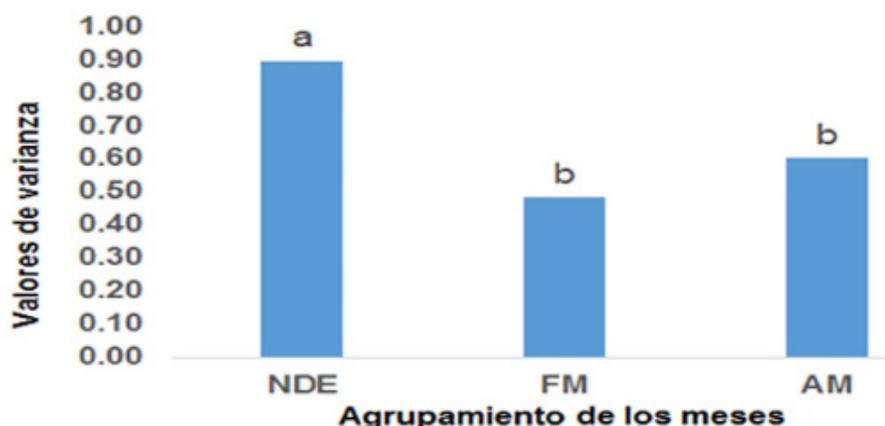


Figura 2. Comparación de medias de las varianzas del agrupamiento (NDE-FM-AM). (X ± ES: 0.70 ± 0.05).

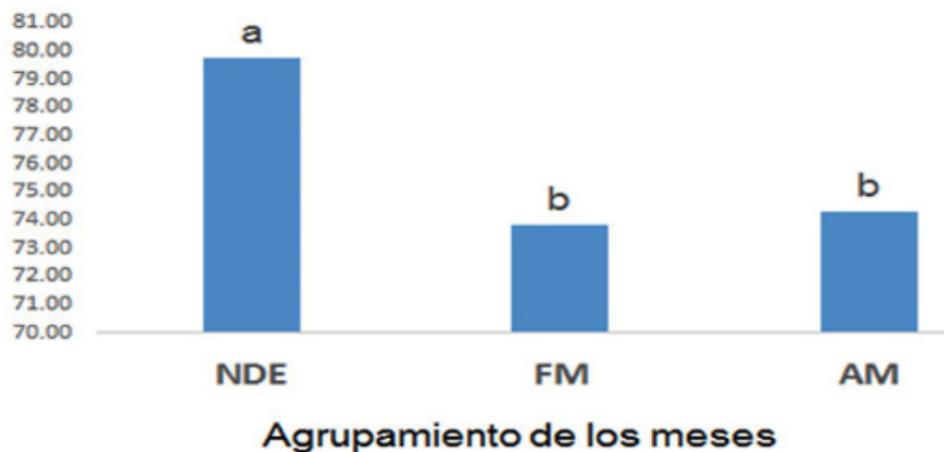


Figura 3. Humedad relativa media del agrupamiento (NDE-FM-AM).

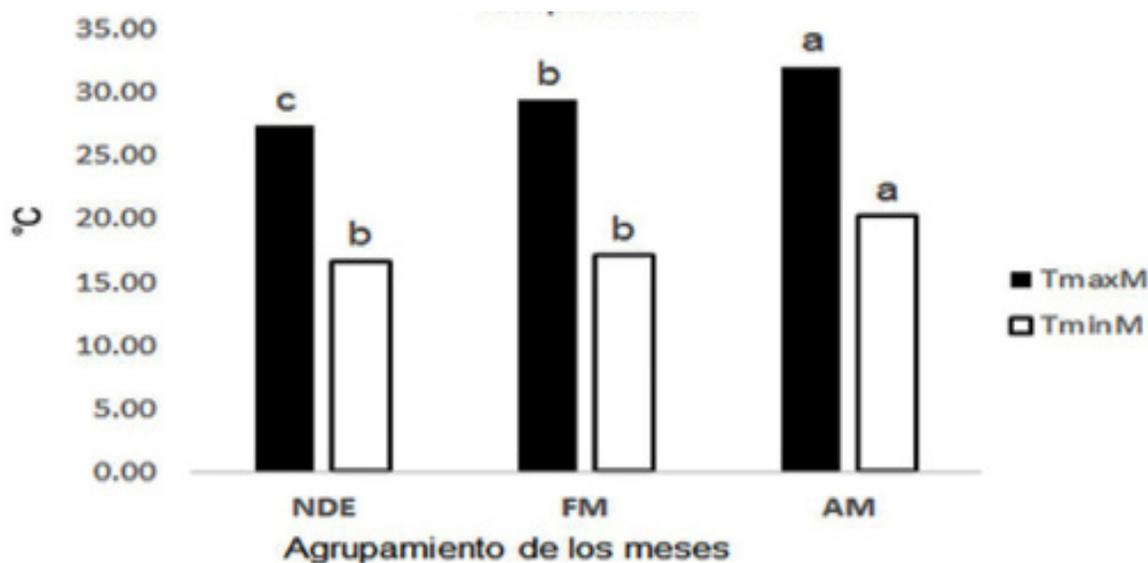


Figura 4. Temperaturas máxima y mínima del agrupamiento (NDE-FM-AM).

En la época intermedia, señaló (15), existe una menor variabilidad entre los genotipos para este carácter, y el agrupamiento entre un gran número de genotipos, puede estar dado porque en este período de zafra las variedades alcanzan su mayor concentración de sacarosa, de ahí su posible similitud.

Las diferencias en esta etapa intermedia son menos marcadas, así como la baja variabilidad existente. No obstante, coincide con el período de máxima maduración de los cultivares (meseta) y con el período medio de la zafra cubana.

En la tabla 4, se ofrecen los resultados de la meseta de maduración de 19 cultivares, a través de los datos originales y según las variables relacionadas con las curvas de madurez. Se alcanzan como promedio general, 111 días como duración de la meseta de maduración, con un PPCmáx de 19.73. Asimismo, se evidenció que en ocho cultivares, la duración de la meseta fue hasta los 90 días con un PPCmáx de 19.77. Mientras que 11 cultivares sobrepasaban los 90 días con el PPCmáx de 19.71.

Tabla 4. Datos de la meseta de madurez

Cantidad de cultivares en estudio	Duración de la meseta por cultivar		Duración promedio de la meseta	Valor promedio PPCmáx por la duración		Valor promedio PPCmáx
	90 días	>90 días		90 días	>90 días	
19	8	11	111	19.77	19.71	19.73

En el Análisis de componentes principales (ACP), con 11 variables relacionadas con la meseta de madurez, se desarrolló primeramente la matriz de correlación y se comprobó la relación existente entre un grupo de variables, por lo que se procedió a la eliminación progresiva de estas y se seleccionaron seis variables de baja a media relación, las cuales identifican la meseta de maduración: porcentaje de pol en caña, en el mes de enero (PPCEne); porcentaje de pol en caña, en el mes de febrero (PPCFeb); porcentaje de pol en caña, máxima (PPCmáx); porcentaje de pol en caña, un mes antes del máximo (PPC 1); porcentaje de pol en caña, un mes después del máximo (PPC 2) y duración de la meseta (Dr) (tabla 5).

En las dos primeras componentes se agrupó el 83.74 % de la variación total de los datos, donde se reflejan los valores propios y el peso relativo de las variables en cada componente. Esto indicó buen porcentaje de variación total y que se puede explicar la población estudiada. Resultados similares con respecto a la variación total fueron reportados por (16-22).

La figura 5, mostró la representación gráfica de las dos primeras componentes, en las que se forman dos grupos bien diferenciados: El Grupo I, caracterizado por los cultivares C88-380 (8), C86-12 (3), C89-176 (10), C89-372 (12), C86-56 (7), C86-156 (4), C90-469 (14), C90-501 (15), C91-115 (17), C323-68 (2) y C91-356 (18) con la duración de la meseta de madurez hasta 120 días; así como el resto de los cultivares forman el Grupo II, con la duración hasta los 90 días.

Tabla 5. Resultados del análisis de componentes principales con 19 cultivares

Valores propios	Componentes	
	CP 1	CP 2
Valor	3.75	1.27
Valor acumulado	3.75	5.02
Porcentaje acumulado	62.57	83.74
Peso relativo de las variables en cada componente		
PPCEne	-0.85	-0.02
PPCFeb	-0.81	-0.30
PPC 1	-0.94	0.01
PPCmáx	-0.85	-0.25
PPC 2	-0.85	0.40
Dr	0.12	-0.97

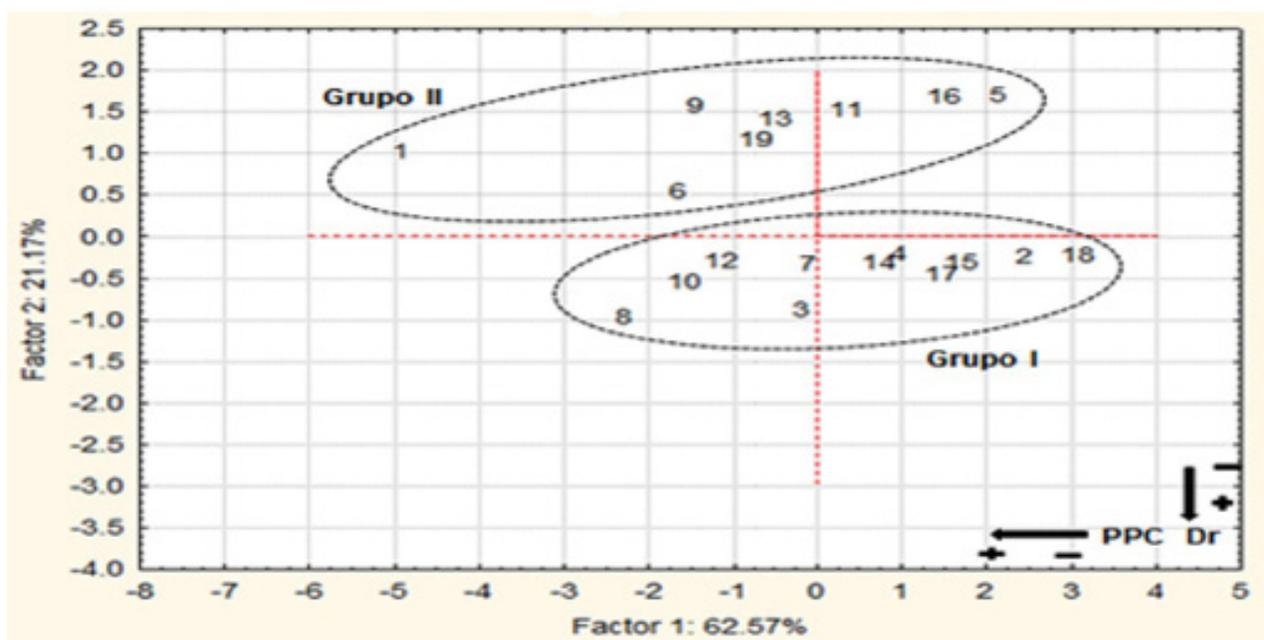


Figura 5. Representación de las dos componentes en la localidad de Cienfuegos, con 19 cultivares.

En la proyección de la primera componente, las variables de pol aumentan hacia la izquierda; por ello, el cultivar C1051-73 (1) alcanzó los mayores valores de rendimiento, así como C91-356 (18) los menores valores.

CONCLUSIONES

1. Se reafirma el criterio de mayor variabilidad a inicio de zafra (NDE), a través de la expresión numérica de las varianzas de 19 cultivares de caña de azúcar, en diferentes momentos de cosecha.
2. Se establecen 111 días, como promedio, de la duración de la meseta de maduración de 19 cultivares de la caña de azúcar y se forman dos grupos con valores de 90 y 120 días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cadena Iñiguez, J. (2017). *Agro productividad. Vol. 10*, Núm. 11, noviembre. 2017. pp: 112-115. ISSN: 2594-0252. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-031313492200-203.
2. Núñez Jaramillo, Dunia. (2014). Caracterización de cultivares de caña de azúcar de madurez temprana, para el inicio de la zafra azucarera en suelos Sialitizados no cálcicos. Tesis al título de Ingeniero Agropecuario no publicada. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Cuba. 33p.
3. Espinosa, R.B. (1980). *Influencia de la fecha de plantación y las edades al momento de las cosechas sobre el rendimiento y sus componentes en la caña de azúcar (Saccharum spp.)* Tesis de doctorado en Ciencias Agrícolas no publicada. INCA, MES La Habana, 32 pp.
4. López, E. (1986). Influencia de algunos factores del ambiente sobre el rendimiento y aplicación de tres métodos de estabilidad en los estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar en las provincias de Camagüey y Ciego de Avila. Tesis de doctorado en Ciencias Agrícolas no publicada. Camagüey, Cuba. Ministerio de Educación Superior. Universidad Agraria de La Habana. 198 p.
5. Delgado, I., H.J. Suárez, H. García, N. Bernal, F.R. Díaz, A. Bernal, J. R. Gómez, O. Aday, H. González, M. Buedo, S. Reyes, D. Núñez, J. Barroso y L.F. Machado. (2012). Potencialidades de familias de variedades para diferentes períodos de zafra en Cuba. *Revista Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 3, p. 5-14 julio-septiembre.
6. Chavez Solera, M.A. (1982). La maduración, su control y la cosecha de la caña de azúcar. Seminario de Tecnología Moderna de la Caña de Azúcar", 2, San José, Costa Rica, 1982. Memorias. San José, CAFESA / ATACORI / MAG/ LAICA, setiembre. p: 28-40.
7. Hernández; A., J. Pérez, O. Ortega, L. Avila, A. Cárdenas, A. Marrero y N. Companioni. (1975). II Clasificación genética de los suelos de Cuba. *Revista Agricultura. VIII (1): 47-69.*
8. Hernández, A., Pérez, J.M., Bosch, D., y Rivero, L. (1999). Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. *AGRINFOR*, 64 p. La Habana.
9. Jorge, H.; González, R.; Casas, M. y Jorge, I. (2011). *Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba*. La Habana, Cuba, PUBLINICA. 308 p.
10. Pérez, J.L. y N. Milanés 1979. *Revista Ciencias de la Agricultura. No. 4.*

11. Inica. 2018. Informe de la XXV Reunión Nacional de variedades, semillas y sanidad vegetal. Habana. Cuba.
12. Jorge, H., I. Delgado, A. Vera, J. R. Gómez, F. R. Díaz, A. Céspedes, J. C. Pérez, J. C. Santos y S. Guillén. (2014). Caracterización de las familias de variedades acorde con los momentos de cosecha en dos localidades de la región central de Cuba. *Centro Agrícola*, 41(2): 71-77; abril-junio, CE:58,13 CF: cag122141976.
13. Delgado, I., H. Jorge, N. Bernal, H. García, F. R. Díaz, J. R. Gómez, Aydiloide Bernal, F. Barroso, Mayelín Buedo, Dunia Jaramillo, Susana Reyes, Aylín Gallardo, J. Barroso, L. F. Machado. (2014). Manejo sostenible de variedades de caña de azúcar en Cuba. *CENTRO AGRÍCOLA*, 41(4):69-74; octubre-diciembre, ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001 CE:61,12 CF: cag11442003.
14. Reynoso A. 1862. Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar. Quinta Edición. Ediciones Burgay y Cía, La Habana, 606. pp.
15. Bernal, N. (1986). *Clasificación de ambientes en las provincias de Holguín, Las Tunas y Granma en los estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar*. Tesis de doctorado en Ciencias Agrícolas no publicada. INICA, MINAZ, 106 pp.
16. Milanés, N. y L. Cabrera. (1987). Esquema, criterios y red experimental para la selección de la caña de azúcar en Cuba. I Evento de Investigación-Producción. XL Aniversario de la EPICA – Matanzas, pp. 6-14.
17. Jorge, H. (1996). Estudio genético de los componentes agroazucareros en las etapas clonales del esquema de selección partiendo de posturas aviveradas de caña de azúcar (*Saccharum spp*). Tesis de doctorado en Ciencias Agrícolas no publicada. INICA. MINAZ, 90 pp.
18. Rodríguez, R.: (2012). Perfeccionamiento del programa de mejora genética de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) para la obtención de nuevos genotipos tolerantes al estrés por déficit hídrico. Tesis de doctorado en Ciencias Agrícolas no publicada. INICA, La Habana, Cuba. 2012, 100 p.
19. Delgado I.; H.J. Suárez; A. Vera; H. García; F. R. Díaz; A. Céspedes; J. R. Gómez; I. Torres; R. Cruz; Y. Vaillan; Y. Puchades; R. Rodríguez, J.C. Pérez, J.C. Santos y S. Guillén. (2013). Los momentos de cosecha en el cultivo de la caña de azúcar y la estabilidad de los cultivares en cada etapa de zafra en cinco localidades de Cuba. *Cuba & Caña 1: 17-22*. ISSN 1028-6527. La Habana. Cuba.
20. Delgado, I., H. Jorge, A. Vera, A. Céspedes, Isabel Torres, R. Cruz, Y. Vaillan, Yaquelín Puchades, R. Rodríguez, J. C. Pérez, J. C. Santos, S. Guillén, H. García, F. R. Díaz, H. González J. R. Gómez, Susana Reyes, Aylín Gallardo, J. Barroso, L. F. Machado y Dunia Nuñez. Los momentos de cosecha en la caña de azúcar y la estabilidad en cinco ambientes de Cuba. (2015). *Centro Agrícola*, 42(1):63-68; enero-marzo, ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001 CE: 36,13 CF: cag09115201.
21. Delgado Mora, I., H. Jorge Suarez, A. Vera, María Teresa Cornide Hernández, F. René Díaz Mujica, J. R. Gómez Pérez, O. Suárez Benítez, Yaquelin Puchades Isaguirre. (2016a). Influencia de la edad y cultivar de la caña de azúcar en el momento de la cosecha. *Centro Agrícola*, 43 (2): 59-65; Abril-mayo. ISSN: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001 CE: 6115 CF: cag082162077.
22. Delgado Mora, I. Dunia Nuñez Jaramillo, H. Suarez, S. Guillén Sosa, F. R. Díaz Mujica, J. R. Gómez Pérez, O. Suárez Benítez, J. L. Montes de Oca Suarez. (2016). Evaluación de cultivares de caña de azúcar de madurez temprana, para el inicio de la zafra azucarera en suelos sialitizados no cálcicos. *Centro Agrícola*, 43 (2): 5-13; abril-junio. ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001 CE: 6015 CF: cag012162070.