

# Interacción genotipo x ambiente en caña de azúcar, en diferentes momentos de cosecha

Héctor Jorge-Suárez\*, Alberto N. González-Marrero, Irenaldo Delgado-Mora, Rolando Bodaños-Estrada, Oscar Suárez-Benítez, Adrián Céspedes-Zayas, José R. Gómez-Pérez, Félix R. Díaz-Mujica, Yaquelín Puchades-Izaguirre y Reynaldo Rodríguez-Gross  
Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Carretera CUJAE, km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba.

\*[hector.jorge@inica.azcuba.cu](mailto:hector.jorge@inica.azcuba.cu)

## RESUMEN

El trabajo se realizó con el objetivo de estudiar la influencia de la interacción genotipo x ambiente en el cultivo de la caña de azúcar, cosechado en cepas de caña planta y de primer retoño, en tres períodos de zafra. Fueron evaluadas las variables t caña ha<sup>-1</sup>, porcentaje de pol en caña y t pol ha<sup>-1</sup>, mediante análisis de Varianzas bifactoriales de efectos fijos, en cada período de cosecha. Se empleó para esto el paquete estadístico *Statgraphics-plus-5,0* y, posteriormente, el análisis GGE *biplot* para determinar el comportamiento y la estabilidad de los cultivares evaluados. Los resultados demostraron existencia de interacción genotipo x ambiente para las variables t caña ha<sup>-1</sup> y de t pol ha<sup>-1</sup> en los tres momentos de cosecha, mientras que en la variable porcentaje de pol en caña solo fue significativa en el período final de cosecha. En la producción de caña por área, los genotipos que resultaron estables y de alta producción variaron en dependencia de los momentos de cosecha, de forma mayoritaria fueron C97-445, C95-416 y C86-12. Para el porcentaje de pol en caña, los cultivares de mayor contenido azucarero y estables en el período final de zafra resultaron ser: C97-445, C95-416 y C86-156.

**Palabras clave:** cepas, comportamiento, cultivares, estabilidad, localidades.

## ABSTRACT

The work was carried out with the objective of studying the influence of the genotype x environment interaction in the cultivation of sugarcane at different harvest times, in multi-environmental studies; composed of 21 field experiments in three localities harvested in plant and first shoot cane strains in three harvest periods. The variables t cane ha<sup>-1</sup>, percentage of pol in cane and t pol ha<sup>-1</sup> were evaluated by means of bifactorial variance analysis of fixed effects in each harvest period. For this, the statistical package *Statgraphics-plus-5,0* was used and later the GGE *biplot* analysis to determine the behavior and stability of the evaluated cultivars. The results demonstrated the existence of genotype x environment interaction for the variables t cane ha<sup>-1</sup> and t pol ha<sup>-1</sup> at the three harvest moments, while in the variable percentage of pol in cane it was only significant in the final harvest period. In the sugarcane production by area, the genotypes that were stable and of high production varied depending on the harvest times, mostly C97-445, C95-416 and C86-12. For the percentage of pol in sugarcane, the cultivars with the highest sugar content and stable in the final harvest period were: C97-445, C95-416 and C86-156.

**Key words:** strains, behavior, cultivars, stability, localities.

## INTRODUCCIÓN

El comportamiento diferencial de genotipos en diferentes ambientes (interacción genotipo x ambiente, G x A), ha demostrado que reduce el progreso en la selección y complica la identificación de cultivares superiores en ensayos regionales (1).

Diversos estudios de interacción genotipo x ambiente (IGxE), en cultivares de caña de azúcar, reiteran su importancia y significación, que apunta a la necesaria evaluación multiambiental de los nuevos genotipos durante el programa de mejoramiento genético y posterior a su liberación en plantaciones comerciales (2).

En este sentido se han desarrollado técnicas estadísticas asistidas por gráficos de doble representación (*biplot*), que permiten visualizar el patrón de comportamiento de los genotipos, para estimar su eficiencia, la capacidad de discriminación y representatividad de las localidades de prueba; como es el caso del *biplot*, obtenido del modelo de Regresión de sitios (3), que ha sido utilizado para estimar las interacciones genotipo x ambiente en diferentes cultivos (4).

Un elemento a considerar en la zafra azucarera son los momentos de cosecha porque definen determinados ambientes específicos; al respecto Jorge *et al.* (5), señalaron que en el cultivo de la caña de azúcar, en Cuba, existen tres etapas bien definidas (inicial, intermedia y final) y que existen pocos trabajos donde se tenga en cuenta este factor, como causa de variación en los estudios de variedades, según expresan (6), (7), (8), por lo que resulta importante conocer la influencia que ejercen las diferentes etapas de zafra y los sitios de prueba en las respuestas productivas de los genotipos.

El objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento de la interacción genotipo x ambiente en tres localidades de pruebas, en diferentes momentos de cosecha, con seis cultivares de caña de azúcar en Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en tres sitios de prueba de la red experimental del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), estos fueron: Localidad 1, Espartaco, provincia de Cienfuegos (suelos Pardos sin carbonatos); Localidad 2, Guayos, provincia de Sancti Spíritus (suelos Pardos con carbonatos) y Localidad 3, Palma Soriano, provincia de Santiago de Cuba (suelos Pardos con carbonatos).

En cada localidad se estudiaron seis cultivares de la caña de azúcar: C95-416, C97-445 (de reciente incorporación al proceso productivo), comparadas con las variedades comerciales C323-68, C86-12, C86-156 y C90-469.

Se plantaron siete experimentos de campo en cada localidad (tabla 1), entre septiembre de 2009 y febrero de 2010, a los que se le realizaron 14 cosechas (siete en caña planta y siete en retoño), durante el período de noviembre de 2010 y mayo de 2012. Los estudios fueron conducidos, según las Normas y Procedimientos para el Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba (9).

**Tabla 1.** Fecha de plantación y cosecha de los experimentos en cada localidad

Exptos. x localidad	Fecha de plantación	Cosechas caña planta		Cosecha retoño	
		Fechas	Edades	Fechas	Edades
2	Sept. 2009	Nov.-Dic. 2010	14-15 meses	Nov.-Dic. 2011	12 meses
2	Nov. 2009	Ene.-Feb. 2011	14-15 meses	Ene.-Feb. 2012	12 meses
2	Ene. 2010	Mar.- Abr. 2011	14-15 meses	Mar.-Abr. 2012	12 meses
1	Feb. 2010	Mayo 2011	15 meses	Mayo 2012	12 meses

Se evaluaron tres momentos de cosecha en cada cepa: momento 1, corresponde con las evaluaciones realizadas de noviembre a enero (inicio de zafra); momento 2, con las evaluaciones de febrero a marzo (período medio de zafra); y momento 3, con la información de abril a mayo (período final de zafra), para totalizar 21 ensayos de campo, con 42 cosechas.

Se utilizó la información de las variables del comportamiento agrícola y azucarero de los cultivares estudiados en las cepas de caña planta y primer retoño ( $t$  caña  $ha^{-1}$ , porcentaje pol en caña y  $t$  pol  $ha^{-1}$ ), las que fueron evaluadas en los tres momentos de cosecha, en todas las localidades de estudio.

Los datos originales de las variables de cosecha, fueron analizados respecto a su normalidad y homogeneidad de varianza, mediante pruebas de Chí cuadrado y *Bartlett-Box F* y en ningún caso se hizo necesaria su transformación. Se realizaron análisis de varianzas bifactoriales de efectos fijos en cada momento, se tomaron como fuentes de variación los genotipos, los ambientes (localidades x cepas) y la interacción genotipo x ambiente, donde fue usado el modelo simple de análisis de la IGxE (10) y el paquete estadístico *Statgraphics-plus-5,0*.

Para el estudio de la estabilidad y la adaptabilidad fenotípica, se utilizó el modelo estadístico multivariado de efectos principales de los genotipos más efectos de la interacción genotipo-ambiente, también llamado modelo de Regresión de sitios (SREG) o GGE (del inglés, *Genotype main effect plus Genotype-by-Environment interaction*). En este modelo los efectos principales de los genotipos se envían al residual junto con la interacción genotipo x ambiente, para modelarlo de forma multivariada, mediante análisis de componentes principales (11).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Período inicial de zafra (momento 1)

En las variables  $t$  caña  $ha^{-1}$  y  $t$  pol  $ha^{-1}$ , se presentaron diferencias altamente significativas para la interacción genotipo x ambiente. Esto demostró que los cultivares estudiados presentaron un comportamiento diferenciado a través de los ambientes que fueron evaluados (tabla 2); aspecto que corrobora lo señalado por Gordon *et al.* (12), con relación a que la evaluación de los genotipos a través de distintos ambientes, es una de las prácticas más usadas para la recomendación de nuevos cultivares comerciales a los productores cañeros y se corresponde con los resultados obtenidos en Cuba por varios investigadores, entre ellos, González (13), Rodríguez (14) y Delgado (8). La no significación de la Interacción genotipo x ambiente para el porcentaje de pol en caña; pudo estar relacionada con que, cinco de los seis cultivares estudiados, se definen como de alto contenido azucarero (8), razón por la que la variabilidad de este carácter, en la población objeto de estudio, a inicios de zafra puede ser reducida.

**Tabla 2.** Análisis de Varianza factorial para el período inicial de la zafra (momento 1)

FV	G.L	$t$ caña $ha^{-1}$		Porcentaje de pol en caña		$t$ pol $ha^{-1}$	
		CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.
Genotipos	5	6198.72	**	1.15	n.s	172.90	**
Ambientes	5	42349.40	**	113.17	**	1197.20	**
G x A	25	4473.86	**	3.55	n.s	106.05	**
Error	270	502.74	-	2.95	-	19.00	-
Media	-	$91.68 \pm 7.47$	-	$16.69 \pm 0.57$	-	$17.01 \pm 1.38$	-

FV. Fuentes de variación. G.L. Grados de libertad. CM. Cuadrados medios. Sig. Significación.  
G x A. Interacción genotipo x ambiente.

En la figura 1 se observa la representación *biplot* del modelo de Regresión de sitios con las relaciones entre los ambientes de prueba y los genotipos. En sus dos primeros componentes extrajo 71.5 % de la variabilidad total de los datos, contenido en los efectos de los genotipos más la interacción genotipo x ambiente para el rendimiento agrícola ( $t$  caña  $ha^{-1}$ ). Este porcentaje es adecuado para mostrar las relaciones entre ambientes, genotipos y entre estos, por medio de los diferentes *bi-*

plots que se pueden obtener con el modelo (15). Las localidades se separaron con buena definición, cada una de ellas con sus dos ambientes perfectamente relacionados (caña planta y primer retoño), ya que presentaron ángulos agudos entre ellos, lo que indica correlación positiva. Las cañas plantas alcanzaron mayores rendimientos agrícolas que sus respectivos retoños.

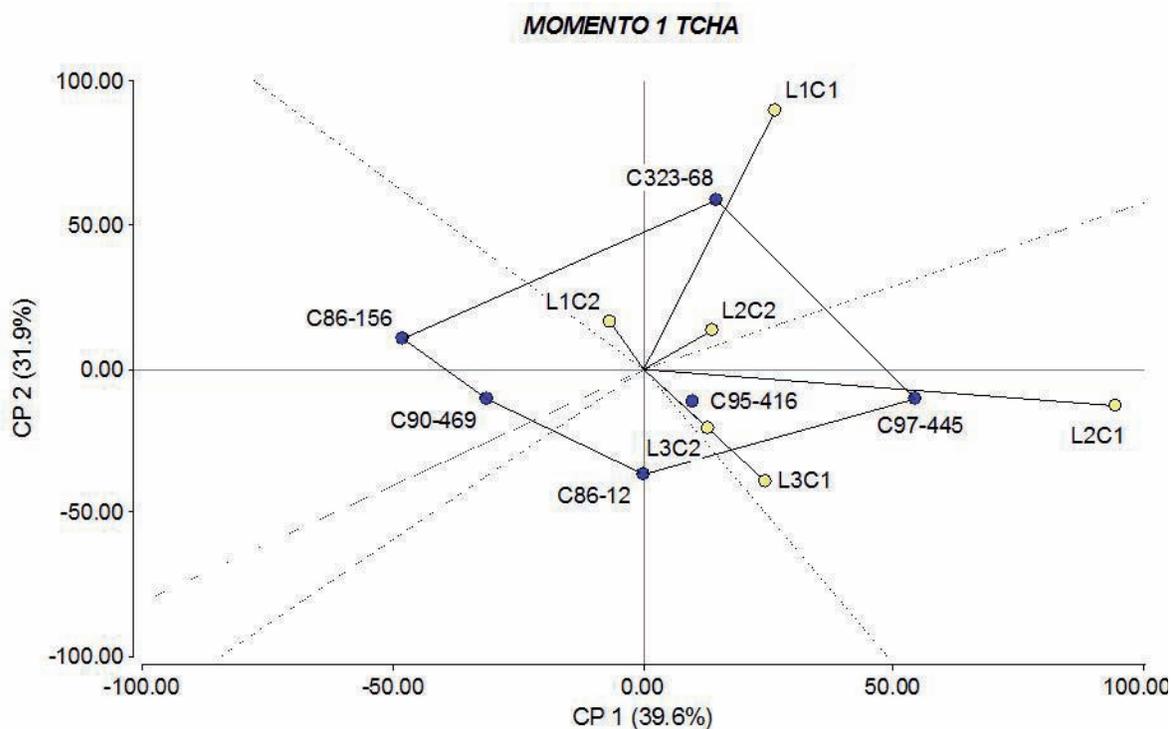


Figura 1. Habilidad discriminatoria de genotipos de los ambientes de prueba, mediante el análisis GGE *Biplot*, en el período inicial de la zafra, a partir de las t caña ha<sup>-1</sup> (TCHA).

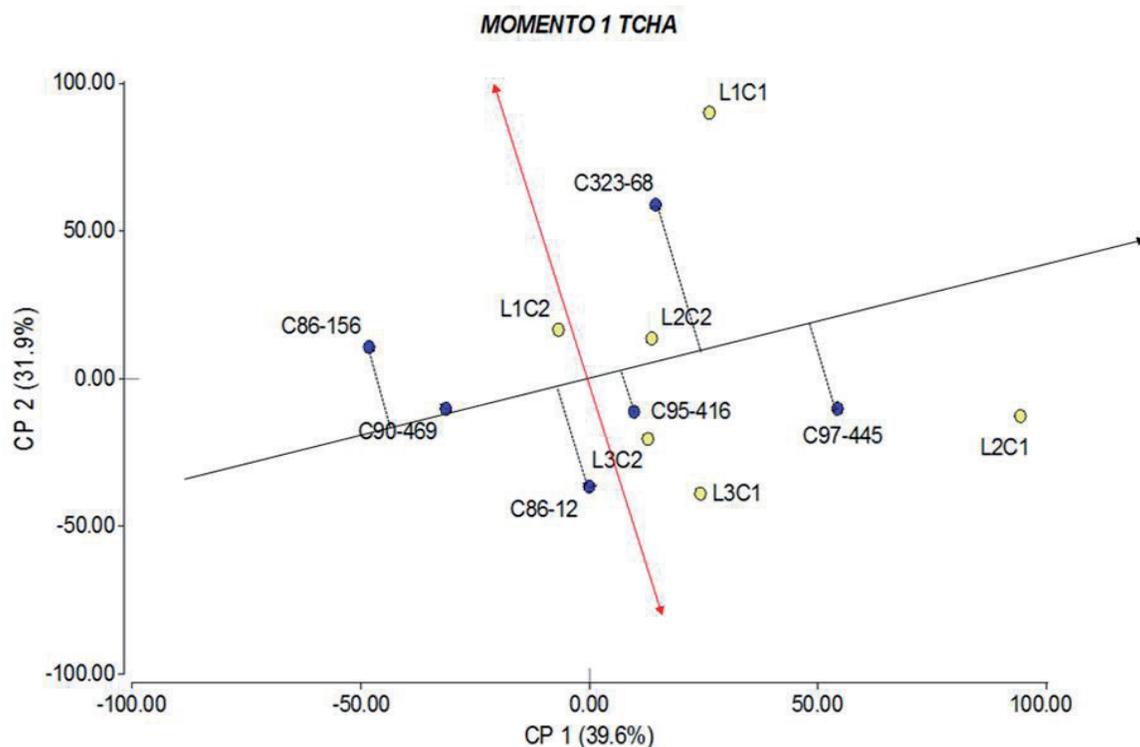
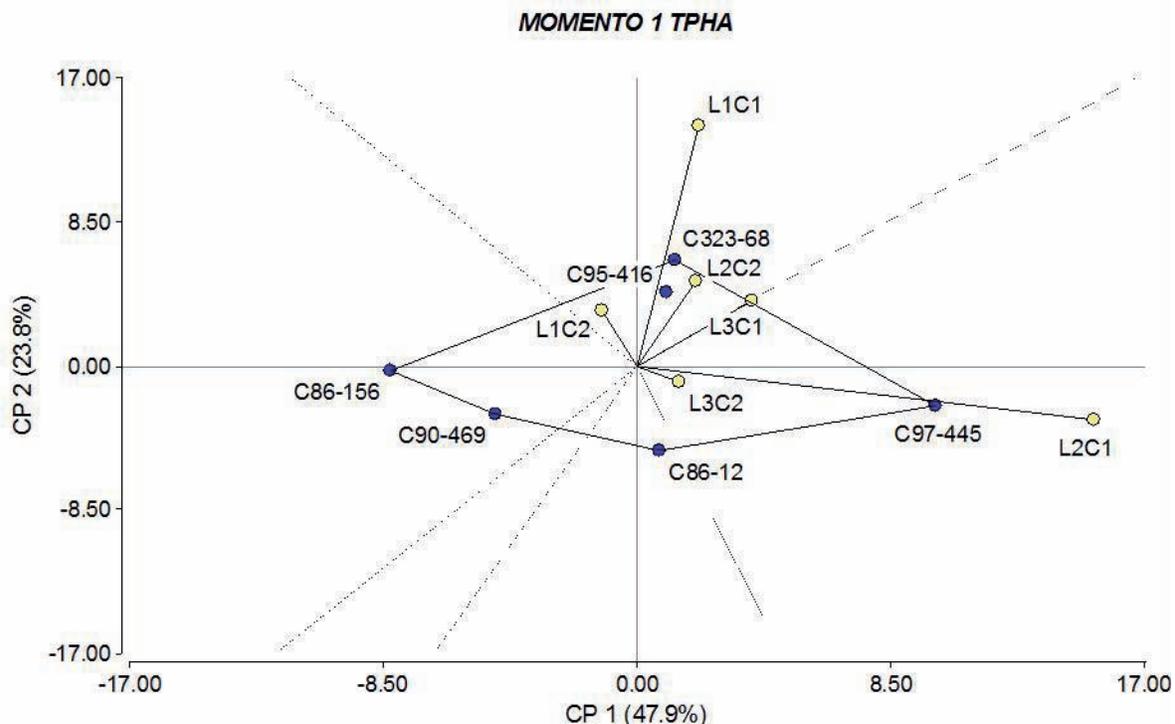


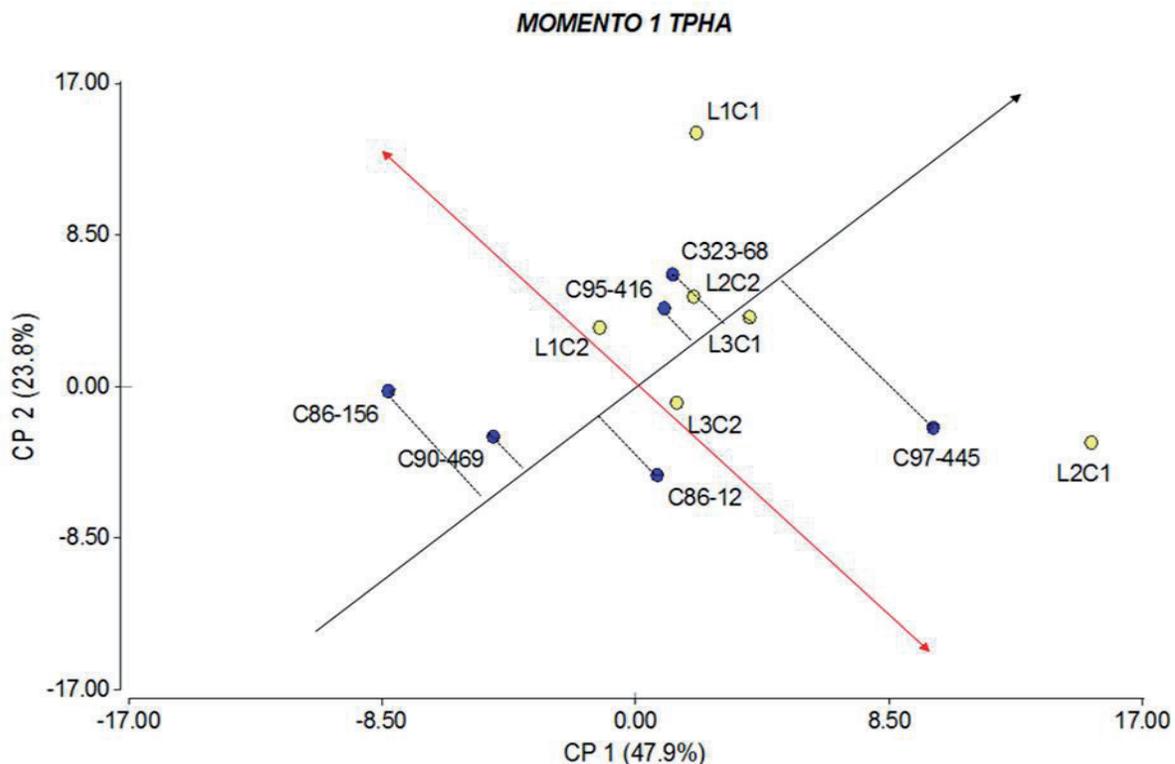
Figura 2. Clasificación de los genotipos en los ambientes de prueba en la variable t caña ha<sup>-1</sup> (TCHA), en el período inicial de la zafra.

Los cultivares más productivos (figura 2), fueron C97-445, C323-68 y C95-416, el primero y el tercero fueron estables, al igual que C90-469, con la diferencia que la producción de esta última, fue baja.

En la figura 3 se observa la representación *biplot* del modelo de Regresión de sitios (GGE), para el rendimiento de azúcar por área (t pol ha<sup>-1</sup> o TPHA), en el plano de las dos primeras componentes. El vector ambiental del GGE *biplot* explicó el 71.7 % de la variación total.



**Figura 3.** Habilidad discriminatoria de genotipos de los ambientes de prueba, mediante el análisis GGE *Biplot*, en el período inicial de la zafra, a partir de las t pol ha<sup>-1</sup> (TPHA).



**Figura 4.** Clasificación de los genotipos en los ambientes de prueba, en la variable t pol ha<sup>-1</sup> (TPHA), en el período inicial de la zafra.

Los dos ambientes de cosechas (caña planta y primer retoño), en las tres localidades, se separaron y mostraron relación, ya que presentaron, en todos los casos, ángulos agudos entre ellos, lo que indica correlación positiva. Los cultivares más productivos fueron C97-445, C323-68 y C95-416, las dos últimas fueron las más estables; al igual que C86-12 y C90-469, pero con producciones más bajas (figura 4).

Los resultados obtenidos en el rendimiento agrícola (toneladas de caña por hectáreas, t caña ha<sup>-1</sup> o TCHA) y en el rendimiento de azúcar por área (toneladas de pol por hectáreas, t pol ha<sup>-1</sup> o TPHA), coinciden con lo informado por Gabriel (16), cuando definió las primeras aplicaciones del *biplo*t en análisis de datos agrícolas.

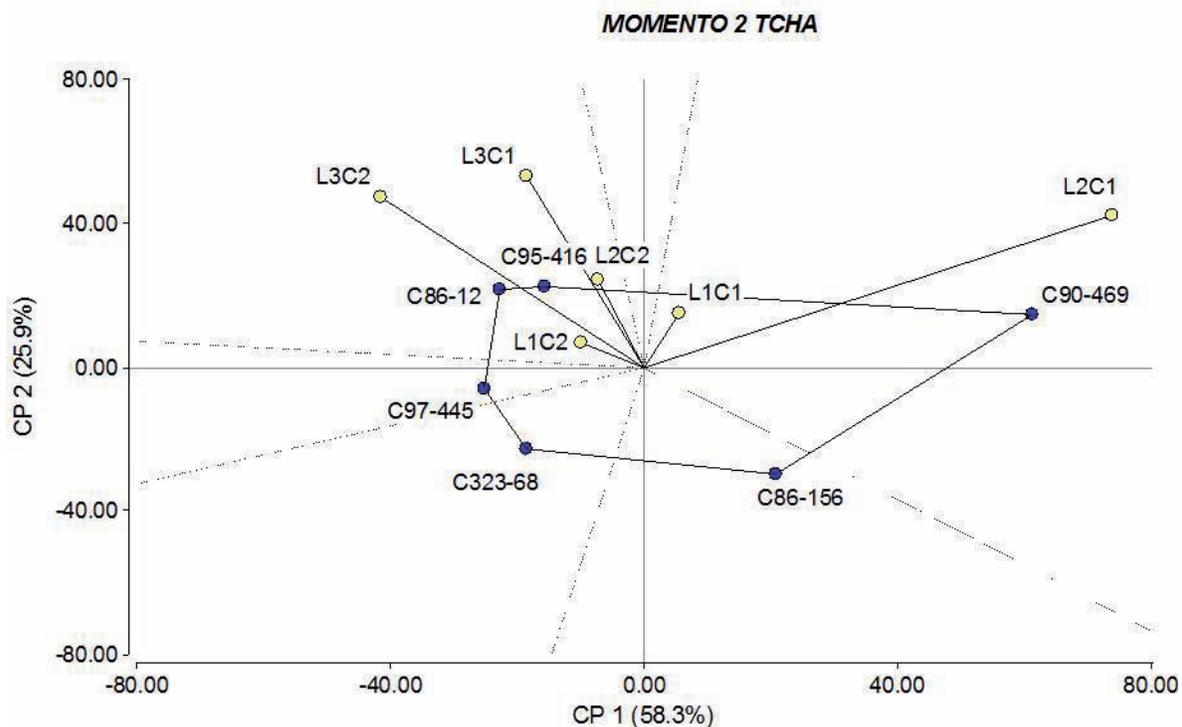
### Período medio de zafra (momento 2)

De igual forma que en el momento 1 en las variables t caña ha<sup>-1</sup> y t pol ha<sup>-1</sup> también se encontraron diferencias altamente significativas para la interacción genotipo x ambiente en el momento 2 (tabla 3) y el porcentaje de pol en caña tampoco resultó significativo para esta interacción, lo que pudo estar influido por la menor variabilidad que presenta el carácter en este período, ya que los cultivares alcanzan su mayor concentración de sacarosa durante este (17).

**Tabla 3.** Análisis de Varianza factorial para el período medio de la zafra (momento 2)

FV	G.L	t caña ha <sup>-1</sup>		Porcentaje de pol en caña		t pol ha <sup>-1</sup>	
		CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.
Genotipos	5	2517.64	**	3.52	n.s	102.99	**
Ambientes	5	19618.40	**	103.89	**	506.77	**
G x A	25	1931.21	**	1.69	n.s	71.42	**
Error	180	254.66	-	1.55	-	14.46	-
Media	-	104.36 ± 6.51	-	18.57 ± 0.51	-	19.30 ± 1.55	-

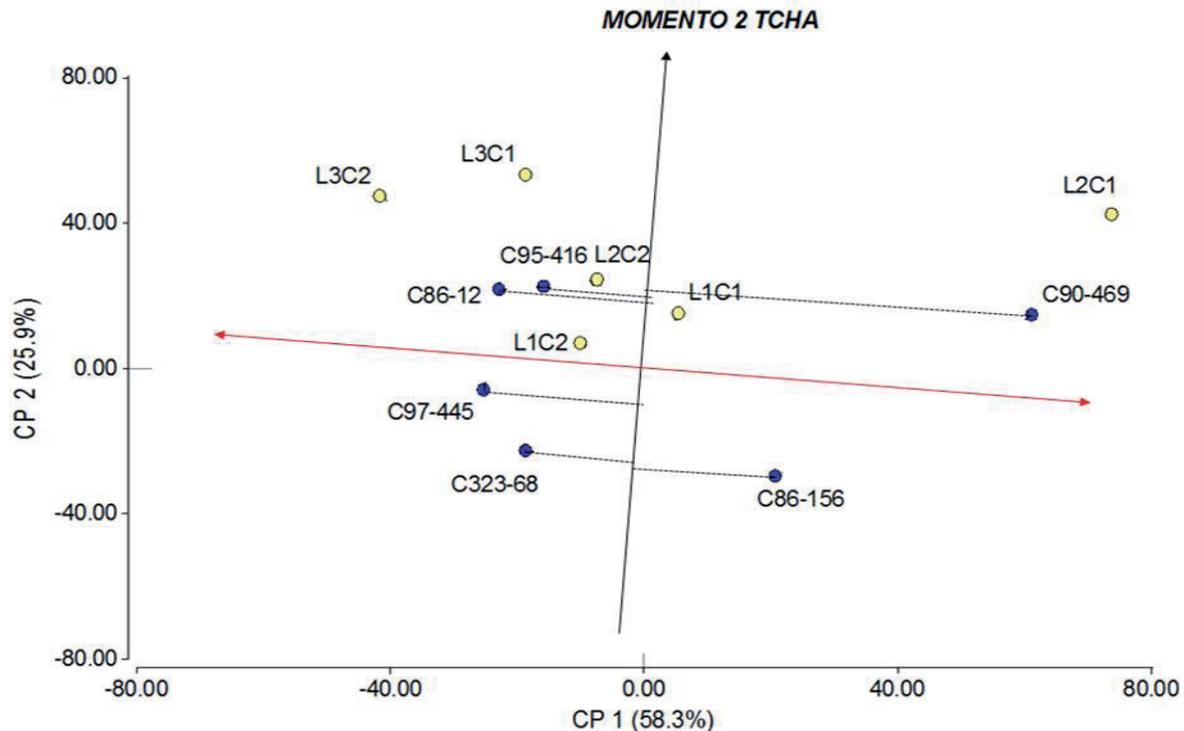
FV. Fuentes de variación. G.L. Grados de libertad. CM. Cuadrados medios. Sig. Significación. G x A. Interacción genotipo x ambiente.



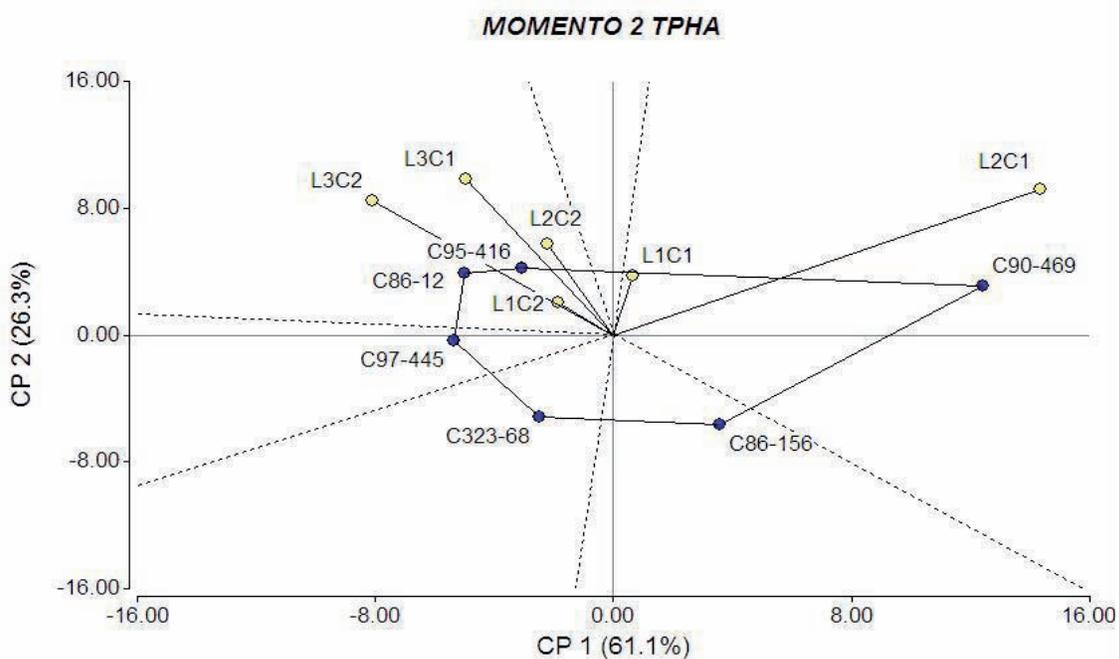
**Figura 5.** Habilidad discriminatoria de genotipos de los ambientes de prueba, mediante el análisis GGE *Biplo*t en el período medio de la zafra, que parte de las t caña ha<sup>-1</sup> (TCHA).

En la figura 5 se mostró la representación *biplot* del modelo de Regresión de sitios (GGE), para el rendimiento agrícola (t caña ha<sup>-1</sup> o TCHA), en el plano de las dos primeras componentes, en que el vector ambiental del GGE *biplot* explicó el 84.2 % de la variación total.

Los cultivares más productivos fueron C95-416 y C86-12; ambos estables, al igual que C97-445, C323-68 y C86-156, pero con rendimientos agrícolas más bajos que las dos anteriores (figura 6).



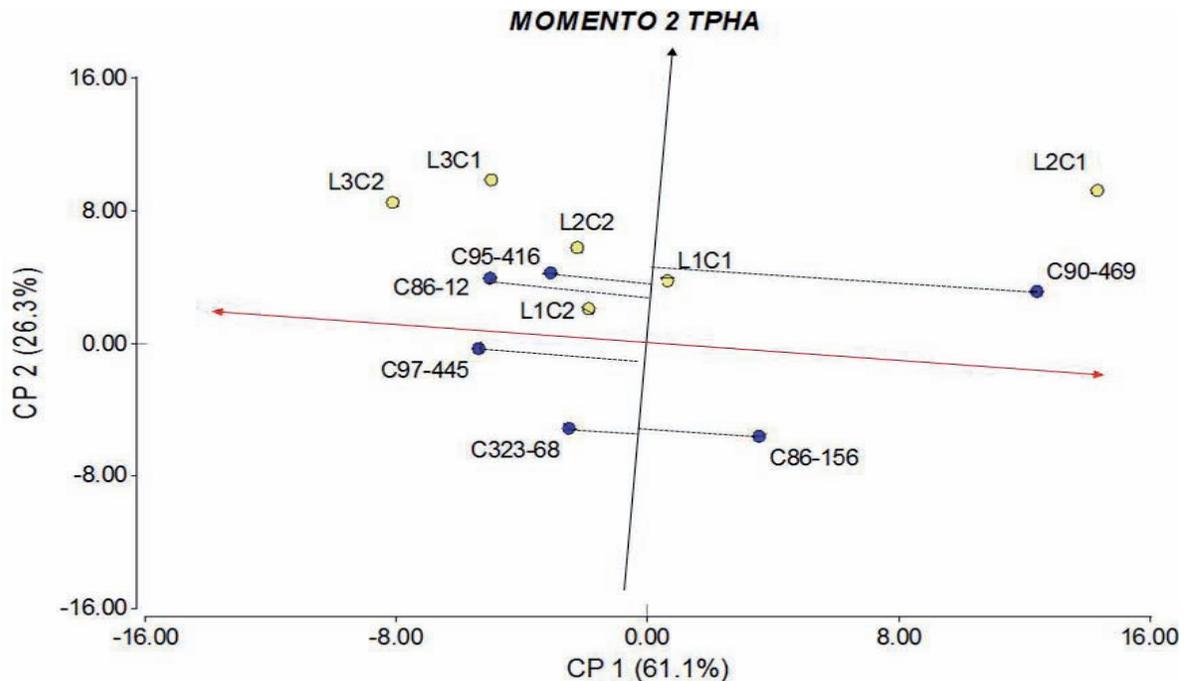
**Figura 6.** Clasificación de los genotipos en los ambientes de prueba, en la variable t caña ha<sup>-1</sup> (TCHA), en el período medio de la zafra.



**Figura 7.** Habilidad discriminadora de genotipos de los ambientes de prueba, mediante el análisis GGE *Biplot* en el período medio de la zafra, que parte de las t pol ha<sup>-1</sup> (TPHA).

En la figura 7 se observa la representación *biplot* del modelo de Regresión de sitios (GGE), para el rendimiento de azúcar por área (t pol ha<sup>-1</sup> o TPHA), en el plano de las dos primeras componentes. El vector ambiental del GGE *biplot* explicó el 87.4 % de la variación total, que se corresponde con la variación total de la IGxE.

La estabilidad de los cultivares en los ambientes de prueba en la variable t pol ha<sup>-1</sup> en el período medio de la zafra, fue similar a la descrita en la variable t caña ha<sup>-1</sup> (figura 8).



**Figura 8.** Clasificación de los genotipos en los ambientes de prueba, en la variable t pol ha<sup>-1</sup> (TPHA), en el período medio de la zafra.

### Período final de zafra (momento 3)

En el período final de la zafra (momento 3 de cosecha), se encontraron diferencias significativas en la interacción genotipo x ambiente, en las tres variables evaluadas (tabla 4), que indica que los genotipos estudiados presentaron un comportamiento diferenciado, a través del conjunto de ambientes de prueba.

**Tabla 4.** Análisis de Varianza factorial para el período final de la zafra (momento 3)

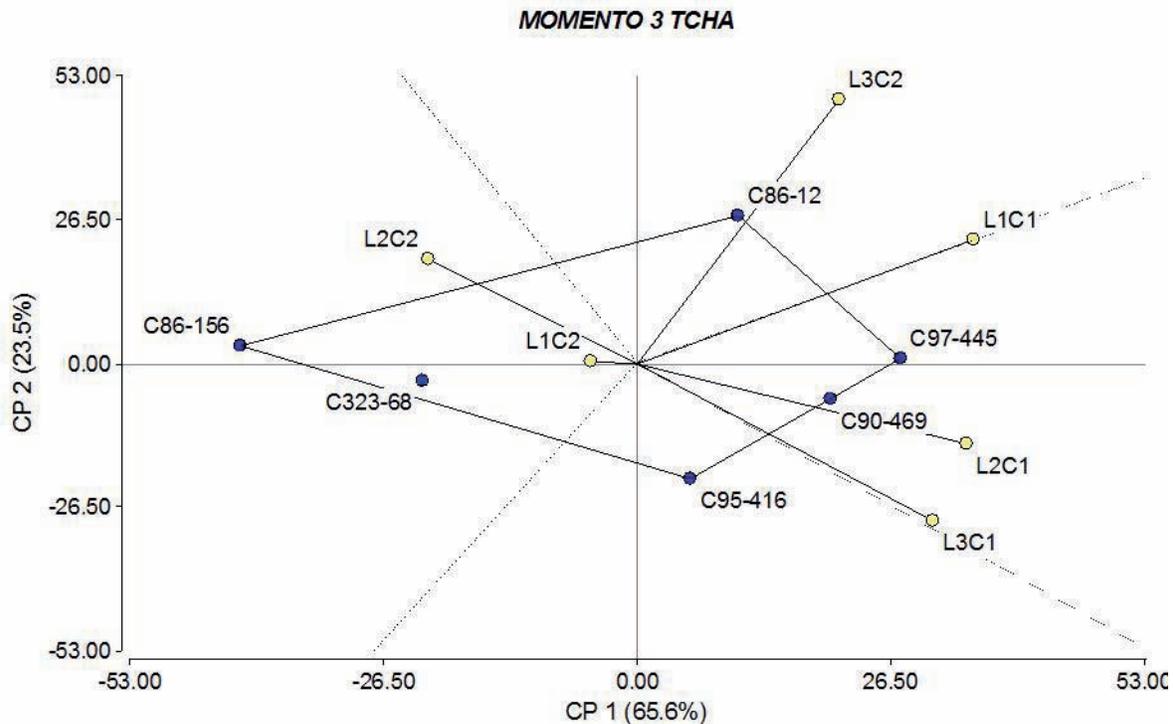
FV	G.L	T caña ha <sup>-1</sup>		Porcentaje de pol en caña		T pol ha <sup>-1</sup>	
		CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.
Genotipos	5	1662.92	**	1.44	n.s	58.06	**
Ambientes	5	8939.12	**	189.75	**	157.86	**
G x A	25	958.41	**	2.28	**	32.84	**
Error	180	128.04	-	1.06	-	6.61	-
Media	-	93.74 ± 4.60	-	18.22 ± 0.42	-	16.89 ± 1.05	-

FV. Fuentes de variación. G.L. Grados de libertad. CM. Cuadrados medios. Sig. Significación. G x A. Interacción genotipo x ambiente.

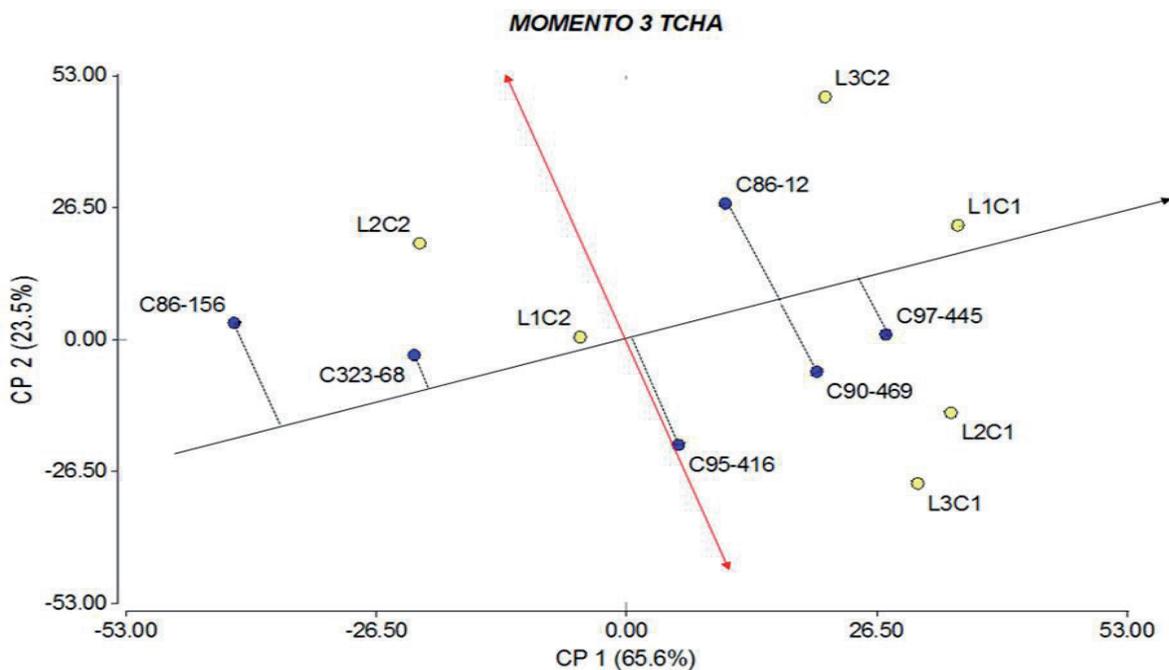
El comportamiento específico del porcentaje de pol en caña, pudo estar relacionado con las condiciones específicas de la cosecha en los meses de abril y mayo (fuera del período óptimo de maduración), que pertenecen al inicio de la primavera cuando se incrementan las precipitaciones y aumentan, de forma significativa, las temperaturas del aire, la humedad relativa y la evapotranspira-

ción; condiciones que afectan notablemente la acumulación de sacarosa y, a las que las variedades comerciales responden, de forma diferencial (19) (8).

En la figura 9 se apreció la representación *biplot* del modelo de Regresión de sitios (GGE), para el rendimiento agrícola (t caña ha<sup>-1</sup> o TCHA), en el plano de las dos primeras componentes el vector ambiental del GGE *biplot*, explicó el 90,1 % de la variación, que se corresponde con la variación de la IGxE.



**Figura 9.** Habilidad discriminatoria de genotipos de los ambientes de prueba, mediante el análisis GGE *Biplot*, en el período final de la zafra, que parte de las t caña ha<sup>-1</sup> (TCHA).

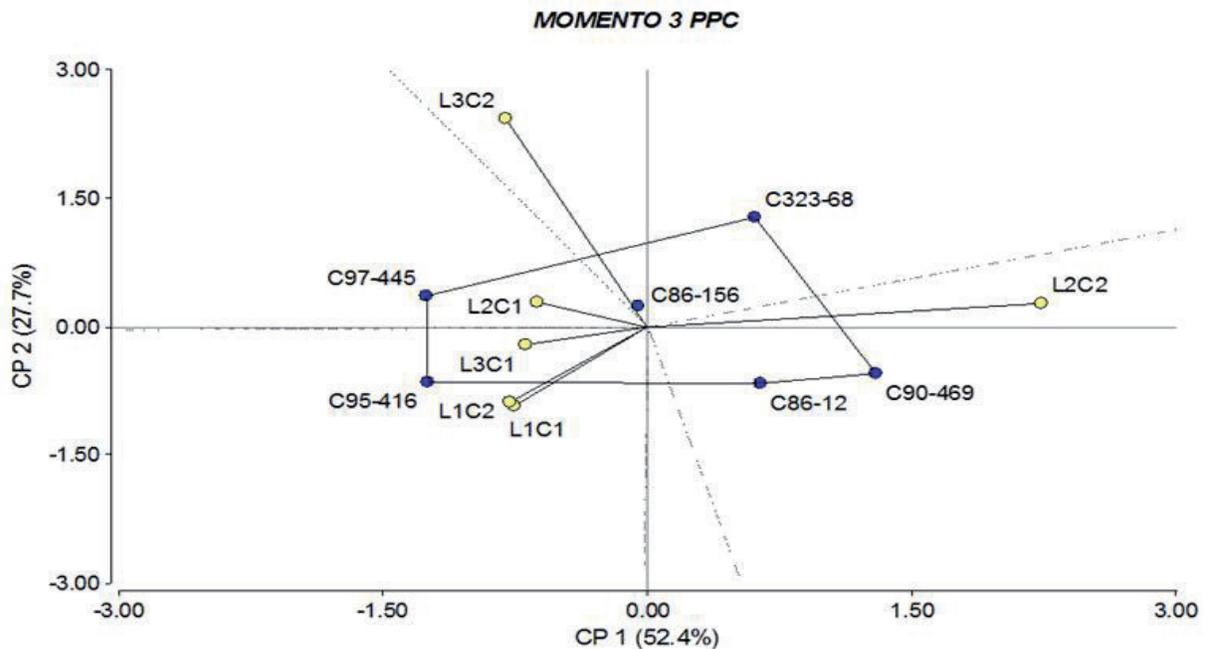


**Figura 10.** Clasificación de los genotipos en los ambientes de prueba en la variable t caña ha<sup>-1</sup> (TCHA), en el período final de la zafra.

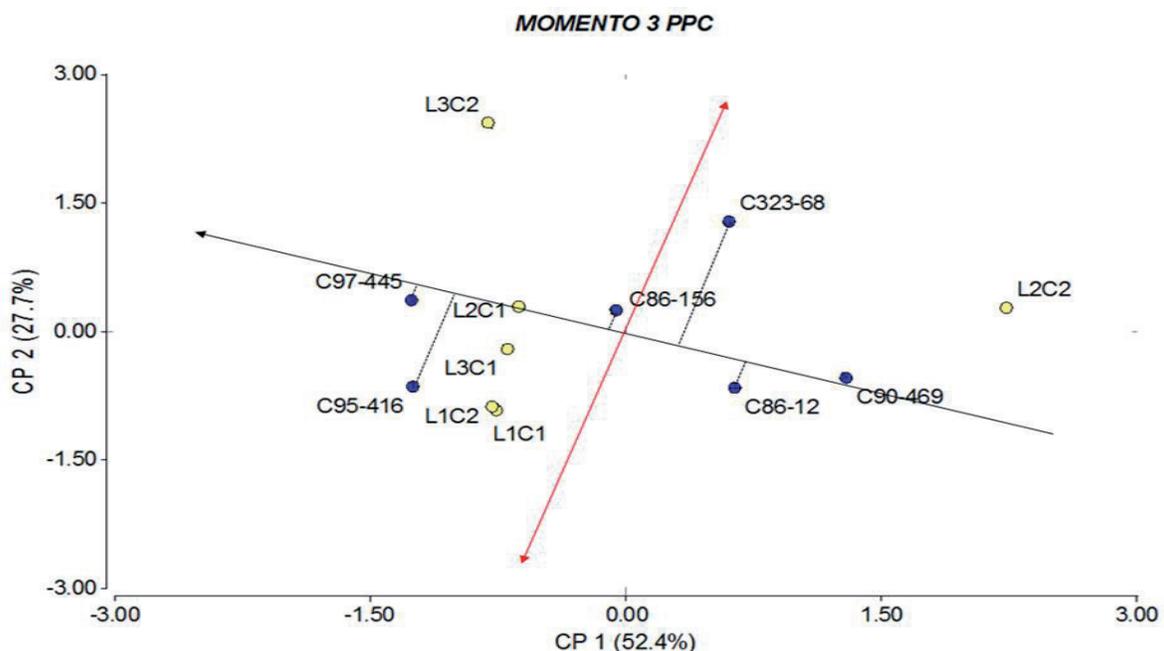
Los ambientes se separaron diferenciadamente; pero aparecen relacionados, por un lado, las cañas plantas de las tres localidades y, por otro, los retoños de estos sitios de prueba que, de igual forma coincidieron. No hubo relación entre los ambientes de caña planta y sus respectivos retoños, es decir bien separados estadísticamente (con ángulos de unión igual o superior a  $90^{\circ}$ ).

Los cultivares más productivos y estables fueron C97-445, C90-469, C95-416 y C86-12 (figura 10).

En la figura 11 se pudo observar la representación *biplot* del modelo de Regresión de sitios (GGE), para el contenido azucarero (porcentaje de pol en caña o PPC), en el plano de las dos primeras componentes. El vector ambiental del GGE *biplot* explicó el 80.1 % de la variación total.



**Figura 11.** Habilidad discriminadora de genotipos de los ambientes de prueba, mediante el análisis GGE *Biplot*, en el período final de la zafra, que parte del porcentaje de pol en caña (PPC).



**Figura 12.** Clasificación de los genotipos en los ambientes de prueba en la variable porcentaje de pol (PPC) en caña, en el período final de la zafra.

Los ambientes se diferenciaron, excepto la caña planta y retoño de la localidad de Espartaco. La localidad de Guayos (2), mostró el mayor poder discriminativo de genotipos, sobre todo por los resultados de la cosecha de primer retoño, al igual que el caso de la localidad Palma Soriano (3), que también se destacó por los resultados en igual cepa.

La figura 12 reflejó que el cultivar C97-445, resultó el de mayor productividad y los de mayor estabilidad, con elevado contenido azucarero fueron: C97-445, C95-416 y C86-156, resultaron estables también, pero con valores inferiores en esta variable, los cultivares C90-469 y C86-12.

Los resultados para el rendimiento de azúcar por área ( $t \text{ pol ha}^{-1}$  o TPHA) tuvieron semejanzas con las  $t \text{ caña ha}^{-1}$ .

## CONCLUSIONES

- El comportamiento de los genotipos evaluados en los ambientes de prueba, presentó diferencias altamente significativas en la interacción genotipo x ambiente, en las variables  $t \text{ caña ha}^{-1}$  y  $t \text{ pol ha}^{-1}$ , en los tres momentos de cosecha. La variable porcentaje de pol en caña, solo fue significativa en el momento tres de cosecha.
- Los ambientes más discriminativos de genotipos para el rendimiento agrícola, fueron las cañas plantas de las tres localidades, en los tres momentos de cosecha. Para el contenido azucarero, resultó ser el primer retoño de la localidad 2 (Guayos), en la etapa final de zafra.
- En la producción de caña por área, los genotipos estables y de altos rendimientos, variaron según los momentos de cosecha, de forma mayoritaria fueron C97-445, C95-416 y C86-12. En el porcentaje de pol en caña, resultaron ser C97-445, C95-416 y C86-156.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rea, R., O. De Sousa., M. Ramón., G. Alejos., A. Díaz y J. George: Selección simultánea para rendimiento y estabilidad en genotipos de caña de azúcar en la región centro-occidental de Venezuela (2014). Bioagro, 26 (3).
2. Gilbert R. A., Shine J. M., Miller J. D., Rice R. W. and Rainbolt C. R. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. Field (2006). Crops Research 95: 156-170.
3. Yan, W: GGE biplot- a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data (2001). Agron. J. 93: 1111-1118.
4. Glaz, B. and S.M Kang. Location Contributions Determined via GGE Biplot. Analysis Multienvironment Sugarcane Genotype-Performance Trial (2008). Crop Sci. 48:941-950.
5. Jorge, H., Ibis Jorge., I. Santana., O. Santana y R. González: Manejo y explotación de los cultivares de caña de azúcar en Cuba (2000). Revista Cuba & Caña: 26-28.
6. Delgado, I., H. Jorge., H. García., N. Bernal., Aydiloide Bernal., J.R. Gómez., O. Aday., H. González., Mayelín Buedo., Susana Reyes., Dunia Núñez., J. Barroso y L.F. Machado: Potencialidades de familias de cultivares de caña de azúcar para diferentes períodos de zafra (2012) Revista Cultivos Tropicales 33(3): 5-14.
7. Jorge, H., I. Delgado., A. Vera., J.R. Gómez., F.R. Díaz., A. Céspedes., J. Pérez., J. 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.
8. Delgado, I: Contribución al conocimiento científico y metodológico para la recomendación de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en Cuba (2019). Tesis de Opción al Grado

- Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Carretera al CAI Martínez Prieto km 11/2. Boyeros. La Habana. Cuba.
9. Jorge, H., Íbis Jorge, J.M. Mesa y N. Bernal: Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba (2011). PUBLINICA. La Habana. 346p.
  10. Kempthorne, O: Una Introducción a la Estadística Genética (1957). John Welley y Sons. New York.
  11. Yan, W., Kang, M.S.; Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P.L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data (2007). *Crop Sci.* 47: 643–655.
  12. Gordon, M., B. Camargo., B. Franco y S. González: Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá (2006). *Agronomía Mesoamericana*, 17 (2): 189-199.
  13. González, A: Caracterización del efecto ambiental en estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp. Híbrido), en la provincia de Las Tunas (1995). Tesis de Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana. Cuba: 120 p.
  14. Rodríguez, R: 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 (2012)) Tesis en opción al grado de doctor en Ciencias Agrícolas. Ministerio de Educación Superior, Universidad Agraria de la Habana. Cuba: 121 p.
  15. Yan, W and Tinker, N.A: Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications (2006). *Contemporary Issues in Statistic, Data Management, Plant Biology and Agriculture Research*. Eastern Cereal and Oilseed Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, 960 Carling Ave., Ottawa, Ontario, Canada K1A 0C6 (e-mail: wyan@ggebiplot.com; yanw@agr.gc.ca).
  16. Gabriel, K.R: The biplot graphic display of matrices with applications to principal component analysis (1971). *Biometrika* 58: 453-467.
  17. Jorge, H., A. Menéndez., A. González., I. Delgado y J.R. Gómez: Evaluación de genotipos de caña de azúcar en diferentes ambientes en el ingenio Ofelina, República de Panamá (20118) *Revista Centro Agrícola*. Vol.45, No.1, 24-33.