

Indicadores de eficiencia agroindustrial en diferentes meses de cosecha, en la Unidad Básica de Producción Cañera Yumurí

Irenaldo Delgado-Mora^{1*}, Maura M. Marrero-León², Gerardo B. Martín-Martínez³, Yosvany Pérez-Rodríguez³, Edel Toledo-Rodríguez¹, Héctor Jorge-Suárez⁴

1. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA-VC) .Autopista Nacional, Km 246, Ranchuelo. Villa Clara, Cuba.
2. Centro Universitario Municipal (CUM). Lajas. Cienfuegos, Cuba.
3. Empresa Agroindustrial Azucarera Ciudad Caracas (EAA CC). Lajas. Cienfuegos, Cuba
4. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Carretera CUJAE, Km. 1½, Boyeros. La Habana, Cuba.

* ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu

RESUMEN

La caña de azúcar no tiene características que puedan considerarse constantes en su composición, ya que esta puede variar debido a diferentes factores, tales como: variedad, edad, época del año, condiciones del cultivo, tipo de suelo, tiempo de corte, influencia de las materias extrañas, eficiencia y disciplina del proceso industrial. El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento de indicadores de eficiencia agroindustrial en diferentes meses de cosecha, en la Unidad Básica de Producción Cañera Yumurí. El estudio se desarrolló en la Unidad Básica de Producción Cooperativa Yumurí, perteneciente a la Empresa Agroindustrial Azucarera Ciudad Caracas. En la etapa inicial de cosecha (diciembre y enero) las variables Porcentaje de pol en caña y RPC ofrecieron los menores valores de los cultivos; así como Porcentaje de materias extrañas los mayores valores, lo que indica una relación negativa entre estas variables. En la etapa media - final de cosecha (febrero, marzo y abril) las variables Porcentaje de pol en caña y RPC, mostraron altos valores en los cultivos estudiados; así como bajos valores de Porcentaje de materias extrañas, que indican una relación positiva entre estas variables.

Palabras clave: materias extrañas, productividad, calidad del jugo, maduración.

ABSTRACT

Sugarcane does not have characteristics that can be considered constant in its composition, since this can vary due to different factors, such as: variety, age, time of year, crop conditions, type of soil, cutting time, influence of foreign materials, efficiency and discipline of the industrial process. The objective of this work is to evaluate the behavior of agro-industrial efficiency indicators in the different months of harvest in the Basic Sugarcane Production Unit Yumurí. The study was carried out in the Basic Unit of Cooperative Production Yumurí, belonging to the Ciudad Caracas Agroindustrial Sugar Company. In the initial stage of harvest (December and January) the variables % Pol in cane and RPC offered the lowest values of the crops; as well as % Foreign Materials the highest values, indicating a negative relationship between these variables. In the middle - final stage of harvest (February, March and April) the variables % Pol in cane and RPC, showed high values in the crops studied; as well as low values of % Extraneous Materials, indicating a positive relationship between these variables.

Key words: foreign matter, productivity, juice quality, maturation.

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). Es un cultivo ampliamente distribuido en el mundo y, en la actualidad, se produce en más de 130 países y territorios. Brasil ocupa el primer lugar con 30 % de la producción mundial, seguido de India con 21 % (2).

Constituye una de las principales fuentes de materia prima de la industria azucarera a nivel mundial, está compuesta básicamente por: fibra vegetal (bagazo) y por jugo. Contiene, como resultado de sus procesos fisiológicos, una gran variedad de productos, entre los que se encuentran la sacarosa, que ha sido fundamental para el desarrollo de la humanidad. La caña de azúcar no tiene características que puedan considerarse constantes en su composición, ya que esta puede variar debido a diferentes factores, tales como: variedad, edad, época del año, condiciones del cultivo, tipo de suelo, tiempo de corte, influencia de las materias extrañas, condiciones higiénicas de la fábrica, eficiencia y disciplina del proceso industrial, entre otros (3).

Cuando se procesa caña verde, mediante el sistema de cosecha mecanizada, se introducen a las fábricas de azúcar niveles elevados de materias extrañas. Esto permite el incremento de cantidad de impurezas que tienen influencia sobre diversos parámetros del jugo de caña de azúcar, tales como: brix, pol, pureza, azúcares reductores, cenizas, almidón y aquellos compuestos que aportan color (4).

El ingreso de material como: hojas, cogollos, suelo y chupones (materia extraña o "trash") a la fábrica disminuye el contenido de sacarosa, por efecto de dilución. Además, éstos materiales contienen compuestos químicos que afectan la recuperación de la sacarosa y la calidad de los jugos en fábrica (fenoles, almidones, clorofilas, etc.) (5). Actualmente, en Cuba, más del 85 % de la caña disponible para producir azúcar se cosecha en verde, mediante el sistema de cosecha mecanizada; la cual incrementa considerablemente la cantidad de materias extrañas y la concentración de compuestos no-azúcares en el proceso de elaboración de azúcar (4).

Es necesario establecer y realizar controles, en el campo, de la materia prima que se traslade para su procesamiento al ingenio, con el objeto de disminuir los porcentajes de basura y con ello aumentar el rendimiento industrial. Además, la materia extraña implica un significativo incremento en los costos de cosecha, transporte y, principalmente, en el proceso de fabricación del azúcar ya que, al ingresar al molino junto con caña industrializable, consecuentemente, se reduce la capacidad de molienda (6).

Por tal motivo, resulta de gran importancia para el sector cañero, estimar y conocer la cantidad de materias extrañas contenidas en las entregas comerciales de materia prima a los ingenios y valorar las pérdidas inducidas por estas, a través de métodos confiables y eficaces (6).

La producción azucarera cubana cuenta con variedades que es necesario enmarcar en un período definido de zafra, pero otras pueden ser manejadas para las tres épocas, por tanto, es perfectamente posible buscar un adecuado balance, que cubra todo el período de cosecha. La transformación varietal constituye una necesidad, comprendida hoy día por la mayor parte de los productores cañeros, en la que el objetivo de incrementar los índices de eficiencia cobra cada vez más importancia (7).

Núñez (8) señaló la necesidad urgente del empleo de nuevas variedades con mayor potencial agroproductivo y azucarero, así como un alto grado de adaptabilidad a las condiciones del medio. El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento de indicadores de eficiencia agroindustrial en diferentes meses de cosecha, en la Unidad Básica de Producción Cañera Yumurí.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Yumurí, perteneciente a la Empresa Agroindustrial Azucarera Ciudad Caracas, del municipio de Lajas, provincia de Cienfuegos (figura 1).



Figura 1. Localización de las áreas de producción de la UBPC Yumurí.

En septiembre del año 2019 fue plantado un experimento (plantaciones de frío) en suelos del tipo Pardo sialítico, según Hernandez *et al.* (9), con tres cultivares comerciales recomendados por el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) a la producción (tabla 1). Las precipitaciones medias durante el período de cosecha se muestran en la figura 2.

Tabla 1. Cultivares en estudio y sus progenitores

Nº	Cultivares	Progenitor femenino	Progenitor masculino
1	C86-156	C16-56	C87-51
2	C90-469	C87-51	Ja60-5
3	B80250	Desconocido	

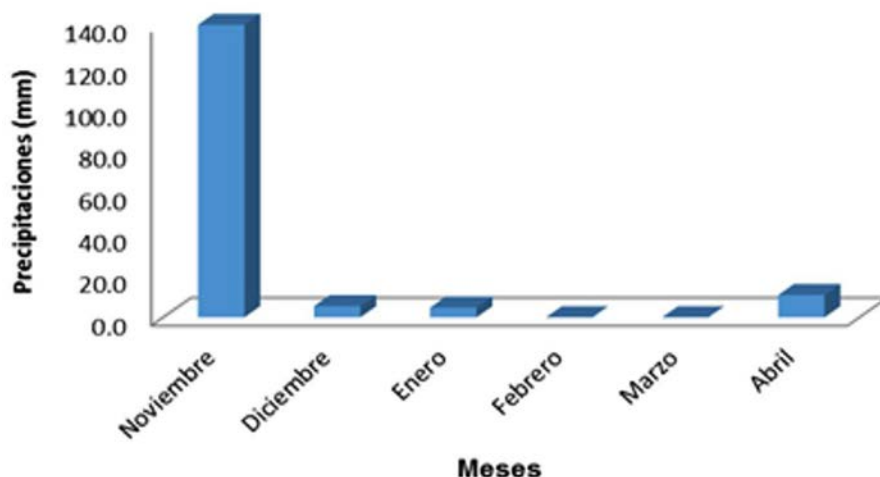


Figura 2. Precipitaciones presentadas durante el período de cosecha.

El diseño empleado fue en bloques, completamente al azar, con tres repeticiones, en secano. El área de las parcelas fue de 400 m², con un largo de 50 m, por un ancho de 1.60 m, con 5 surcos. La cosecha se realizó desde el mes de diciembre del 2020 hasta abril del 2021 (tabla 2), en la cepa de caña planta, con edades entre 14 y 18 meses.

Las variables o indicadores de calidad evaluados son:

1. Pol en caña (Porcentaje de pol en caña): cantidad de sacarosa aparente por cada 100 partes en peso en solución
2. Fibra: materia seca e insoluble en agua que contiene la caña
3. RPC: Rendimiento potencial de la caña
4. Materias extrañas: todo lo que acompaña a la materia prima destinada al central, que no produce azúcar, tales como: hojas verdes y secas, cogollo, tierra, palos, cepas, animales, etc.

Tabla 2. Meses evaluados en el estudio

Meses	Definición
M1	mes de diciembre
M2	mes de enero
M3	mes de febrero
M4	mes de marzo
M5	mes de abril

Evaluar indicadores de la calidad de los jugos, en diferentes períodos de cosecha

Los diferentes indicadores de calidad de los jugos (pol en caña y fibra), se realizaron de acuerdo con las técnicas analíticas, según el Manual Azucarero de Control Unificado (10).

Para el cálculo del RPC se empleó la fórmula, según Rojas (11).

$$RPC = 3/2 Pj[1-(F+6,5)/100]-1/2Bj[1-(F+3)/100]$$

La determinación del Porcentaje de materias extrañas se fundamenta en la separación manual de las materias extrañas (cogollos, hojas secas, hojas verdes, renuevos, etc.), y en su determinación por pesadas. En el referido Método se utilizó la Sonda Muestreadora, la que automáticamente, toma más de 15 kg de caña. Esta depositó la muestra sobre una manta, previamente tarada para el peso de la caña bruta. Se procedió a la separación y el pesado de los componentes de la muestra, tales como: caña limpia, cogollos y otras materias extrañas.

La determinación, matemáticamente, del Porcentaje de materias extrañas se realizó de la forma:

$$\text{Porcentaje de materias extrañas} = \frac{\text{Peso de la caña bruta} - \text{Peso de la caña limpia} \times 100}{\text{Peso de la caña bruta}}$$

Método empleado en el procesamiento de los resultados

La evaluación estadística de los resultados se realizó con la utilización del Análisis de varianza (ANOVA) simple de efecto fijo para cada variable evaluada. La comparación de medias se realizó mediante Prueba de múltiples rangos con dócima de Tukey ($P < 0.05$). Los datos originales fueron comprobados para su ajuste a la normalidad mediante Bartlett-test, con su correspondiente Chi cuadrado. El paquete estadístico utilizado fue: STATISTICA 10.0. sobre Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Análisis de varianza bifactorial (Cultivar*Mes) en las variables evaluadas, no ofrecieron diferencias estadísticas significativas en las interacciones (tabla 3). Sin embargo, la causa de variación Mes, sí mostró diferencias entre ellos en todas las variables en estudio; lo que conllevó a realizar un análisis factorial simple para evaluar sus posibles diferencias. De manera similar se procedió con los cultivares en las variables porcentaje de pol y fibra en caña.

Tabla 3. Análisis de varianza de las variables en estudio

Causas de variación	% pol en caña			FIB		
	CM	F	p	CM	F	p
Cultivar	0.61	0.94	0.397	4.62	5.79	0.005
Mes	19.92	30.69	0.000	3.44	4.30	0.004
Cultivar*Mes	0.66	1.01	0.435	0.65	0.81	0.595
Error	0.65			0.80		
Causas de variación	RPC			% MExt		
	CM	F	p	CM	F	p
Cultivar	1.141	2.09	0.133	2.48	0.322	0.726
Mes	12.785	23.41	0.000	41.33	5.381	0.001
Cultivar*Mes	0.463	0.85	0.565	2.75	0.358	0.939
Error	0.546			7.68		

Nota: fibra (FIB), sólidos solubles (BRIS), porcentaje de pol en caña (% pol en caña), rendimiento potencial cañero (RPC), porcentaje de materias extrañas (% MExt).

El Análisis de varianza en la variable Porcentaje pol en caña expresado en la tabla 4, constató diferencias estadísticas significativas en los meses evaluados. Asimismo, mostró a los meses de febrero, marzo y abril como los de mayores valores de esta variable (figura 3); lo que demostró la estabilidad de los cultivares en esta etapa. Además, ofreció los valores inferiores en el mes inicial (diciembre).

Tabla 4. Análisis de varianza factorial de la variable % Pol en caña

Causas de variación	% Pol en caña		
	CM	F	p
Mes	14.67	29.00	0.000
Error	0.51		

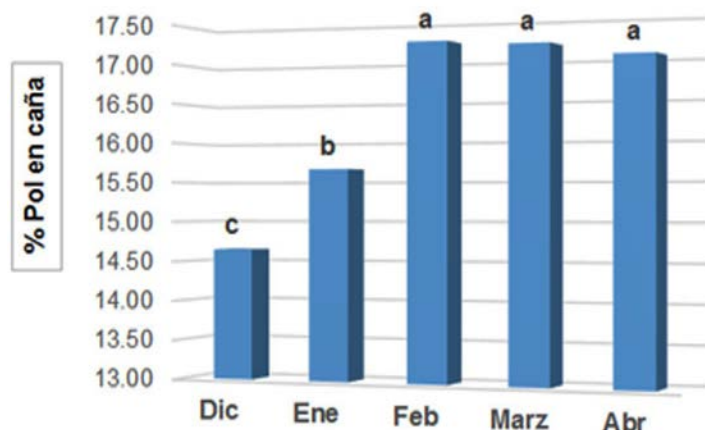


Figura 3. Comparación mensual de la variable Porcentaje de pol en caña. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Arocha (12) señaló que en el mes de febrero, existía una similitud en el rendimiento de los cultivares en estudio ya que la mayoría de ellos alcanzaban valores similares a los dos testigos; no obstante, el cultivar C86-251 alcanzaba los mejores resultados, seguido por C89-148 y C89-176. Este mismo autor refería que, en el mes de marzo, el cultivar C89-176 mostraba valores similares a los dos testigos y, estos últimos, a su vez, a cuatro genotipos más. Sin embargo, C86-165, C86-251 y C89-250 presentaron los resultados más negativos en ese mes.

Delgado *et al.* (13), mostró valores de rendimiento muy parejos en esta misma etapa, en un grupo de cultivares estudiados en ambas cepas. Bernal (14) señaló que en la época intermedia de madurez existe una menor variabilidad entre los genotipos para este carácter y que el agrupamiento entre un gran número de genotipos, puede estar dado porque en este período de zafra los cultivares alcanzan su mayor concentración de sacarosa, de ahí su posible similitud.

Pulido (15) destacó los excelentes resultados del cultivar C85-102 en las variables Brix, Porcentaje de pol en jugo y en caña, demostró sus condiciones azucareras ante limitaciones de estrés y coincidió con los resultados obtenidos por Jorge *et al.* (16) y Delgado (17) en los meses de febrero y marzo; con la diferencia de que estos añadieron las variedades C86-156 y C89-147 y corroboraron el criterio de su madurez intermedia (18).

El Análisis de varianza en la variable Porcentaje de fibra, expresado en la tabla 5, constató diferencias estadísticas significativas en los meses evaluados. Asimismo, mostró los meses de abril y marzo como los de mayores valores de esta variable (figura 4). Además, ofreció los valores inferiores en el mes de febrero y diciembre, respectivamente.

Tabla 5. Análisis de varianza factorial de la variable % de fibra

Causas de Variación	% de fibra		
	CM	F	p
Mes	3.44	3.86	0.0068
Error	0.89		

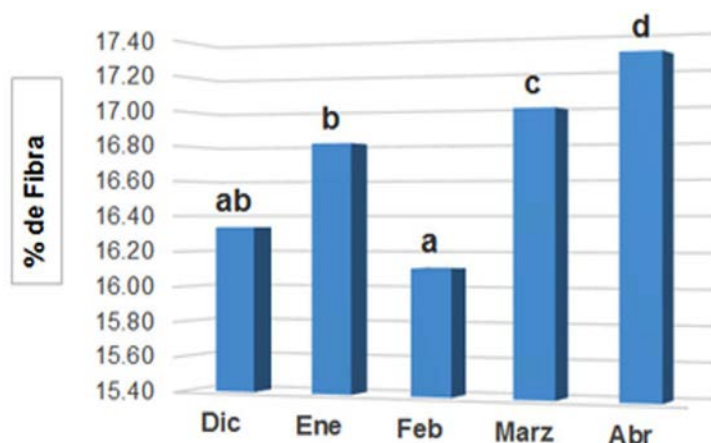


Figura 4. Comparación mensual de la variable Porcentaje de fibra. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Aucatoma *et al.* (5), señalaron que el incremento en el Porcentaje de fibra en caña aumenta el contenido de bagazo, disminuye la extracción y la concentración de sacarosa en la caña. Al respecto, Shikanda *et al.* (19) informaron que el aumento de los niveles de fibra en caña pueden disminuir el Porcentaje de pol en caña del primer jugo del molino. Estos autores señalaron, además, que cuando se procesa caña en verde, se incrementa la cantidad de no azúcares que ingresan a fábrica, especialmente almidón y aquellos compuestos que aportan color y se aumenta, también, la cantidad de fibra.

El Análisis de varianza en la variable RPC, expresado en la tabla 6, constató diferencias estadísticas significativas en los meses evaluados. También, mostró los meses de febrero, marzo y abril como los de mayores valores de esta variable (figura 5). También ofreció los valores inferiores en el mes inicial (diciembre), al coincidir estos resultados con los mostrados en el Porcentaje de pol en caña anteriormente, que indica alta relación entre estas variables.

Tabla 6. Análisis de varianza factorial de la variable RPC

Causas de Variación	RPC		
	CM	F	p
Mes	12.785	23.09	0.0000
Error	0.554		

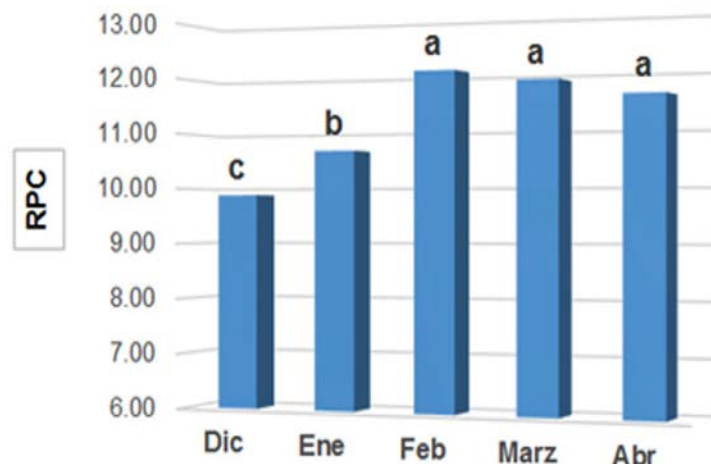


Figura 5. Comparación mensual de la variable RPC. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

El Análisis de varianza en la variable Porcentaje de materias extrañas expresado en la tabla 7, constató diferencias estadísticas significativas en los meses evaluados. De la misma manera, mostró los meses iniciales (diciembre y enero) con los mayores valores de esta variable (figura 6). Sin embargo, los valores más bajos los ofreció el mes de febrero.

Tabla 7. Análisis de varianza factorial de la variable % Materias Extrañas

Causas de Variación	% Materias Extrañas		
	CM	F	p
Mes	12.785	23.09	0.0000
Error	0.554		

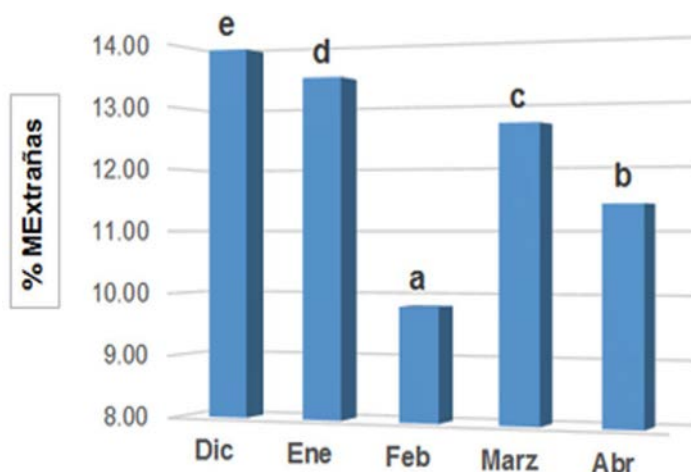


Figura 6. Comparación mensual de la variable Porcentaje de materias extrañas. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Navarro (4) señaló que la calidad del jugo mezclado se afecta debido al aumento de las materias extrañas; además, que este aspecto acrecienta los niveles de concentración de compuestos no azúcares como: flavonoides, compuestos fenólicos y los grupos aminos, que son los responsables mayoritarios del aumento de color del jugo.

En la figura 7 se presenta la relación entre las variables Porcentaje de pol en caña y materias extrañas y ofrece un coeficiente de determinación de $R^2=0.67$ y una relación negativa. Es decir, con el aumento del Porcentaje de materias extrañas se disminuye el de pol en caña. Al respecto, Aucatoma *et al.* (5) señalaron que en dependencia del cultivar de caña, difieren las concentraciones de compuestos secundarios que son parte de la caña, como: los monosacáridos, polisacáridos, almidones, ácidos orgánicos, fenoles, etc. y que son importantes en el proceso de extracción de azúcar. Informaron, además, que los altos porcentajes de materias extrañas hace que se incrementen los valores de fibra en caña y baje el pol en el jugo, lo que influye negativamente en el rendimiento potencial de la caña y la eficiencia industrial es menor, pues aún las cañas no han alcanzado su madurez óptima.

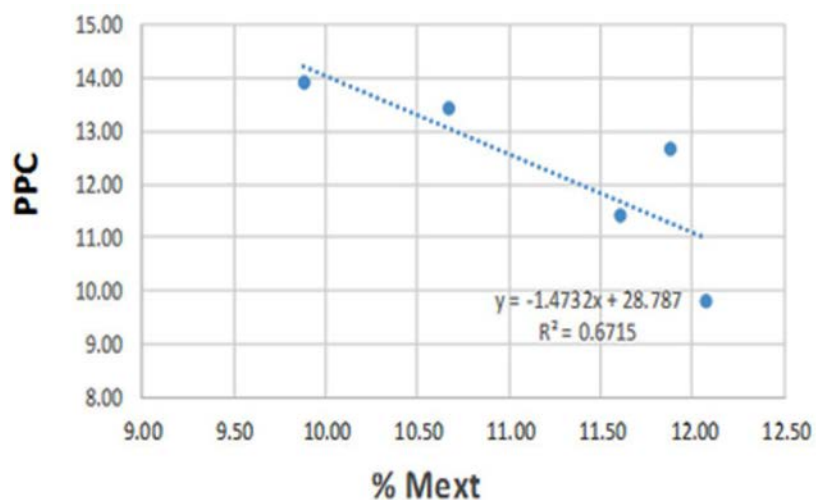


Figura 7. Relación entre las variables PPC y Porcentaje de materias extrañas.

En la figura 8 se muestra la relación entre las variables Porcentaje de pol en caña y el RPC, que ofrece un coeficiente de determinación de $R^2=0.98$ y una relación positiva. Es decir, con el aumento de una variable, aumenta también la otra.

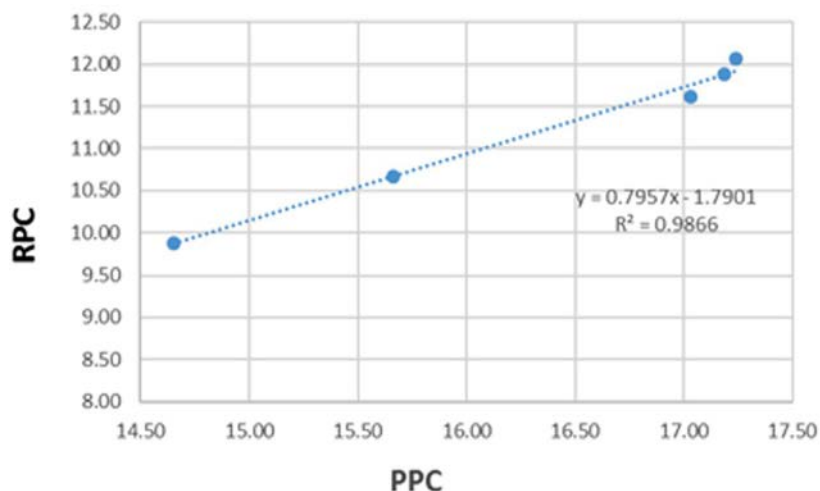


Figura 8. Relación entre las variables PPC y RPC.

También Rosa *et al.* (20) informaron que las materias extrañas tienen una fuerte influencia en el RPC, porque los jugos que contienen los tallos inmaduros tienen bajo brix y baja pureza; además, las hojas de la caña tienen un alto contenido de fibra y poco jugo.

Shikanda *et al.* (19), señalaron que un aumento en los niveles de materias extrañas provoca disminución del Porcentaje de pol en caña. Estos autores añaden, además, que se pierde una cantidad apreciable de azúcar durante el periodo entre la cosecha y la molienda.

CONCLUSIONES

- En la etapa inicial de cosecha (diciembre y enero) las variables Porcentaje de pol en caña y RPC ofrecieron los menores valores de los cultivos; así como Porcentaje de materias extrañas los mayores valores, lo que indica una relación negativa entre estas variables.
- En la etapa media-final de cosecha (febrero, marzo y abril) las variables Porcentaje de pol en caña y RPC, mostraron altos valores en los cultivos estudiados; así como bajos valores de Porcentaje de materias extrañas, lo que indica una relación positiva entre estas variables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Delgado I, Jorge H, Gómez JR y Cornide MT. 2021. Estudio de la interacción genotipo ambiente en cultivares de caña de azúcar, con el empleo de nuevas herramientas estadísticas. *Revista Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*. Vol. 55 No. 2 mayo - agosto – 2021.
2. Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 7, julio. 2016. pp: 8-13.
3. Martínez CM y De León JB. 2012. Influencia de la calidad de la materia prima en el proceso tecnológico, calidad del producto final, y el rendimiento industrial en una fábrica de azúcar. *Centro Azúcar* 39(3): 28-34, julio-sept.
4. Navarro H y Rostgaard L. 2014. Impacto de la materia extraña en la calidad de los jugos de caña y en los indicadores de eficiencia de un central azucarero. *Centro Azúcar* Vol 41, No. 1, Enero-Marzo 2014 (pp. 44-54).
5. Aucatoma BG, Castillo RO, Mendoza J, Garcés F. 2015. Factores que afectan la calidad de la caña de azúcar. *Carta Informativa CINCAE* No. 1. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador – CINCAE.
6. Oviedo M y Chaves M. 2003. Determinación de la cantidad y calidad de la materia extraña presente en las entregas comerciales de caña de azúcar (*Saccharum* spp) en el ingenio La

- Argentina, Grecia, Costa Rica. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), septiembre. p: 183-189.
7. Reyes, Y. 2015. Estudio de la influencia de las variedades de caña sobre los indicadores de eficiencia industrial en el Central 14 de Julio”. Trabajo de Diploma. Universidad Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos, 32p.
 8. 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 para aspirar al título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Cuba. 33p.
 9. Hernández A, Pérez JM, Bosch D y Rivero L. 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. AGROINFOR, 64 pp. ISBN: 959-246-022-1.
 10. MACU (Manual de métodos analíticos para el control unificado). 2006. Azúcar crudo y Azúcar refino, Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras, Sala Nacional de Control y Análisis, Ministerio del azúcar, 9p.
 11. Rojas E. 2012. Factores que influyen en el RPC. Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba, pp: 35-36.
 12. Arocha D. 2020. Respuesta del rendimiento azucarero de nuevos cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en diferentes momentos evaluativos en suelos sialitizados no cálcicos. Tesis en opción al título de ingeniero agrónomo. Universidad de Cienfuegos.
 13. Delgado I, Nuñez D, Suarez H, Guillén S, Díaz FR, Gómez JR, Suárez O, Montes de Oca JL. 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.
 14. 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 para optar por el grado C. Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA, MINAZ, 106 pp.
 15. Pulido Y. 2011. Caracterización de genotipos de caña de azúcar resistentes a condiciones adversas por déficit hídrico, atendiendo a indicadores de la calidad de los jugos. Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agropecuario.
 16. Jorge, H., H. García, N. Bernal, Ibis Jorge, A. Vera, y O. Suárez. 2007. Variedades de caña de azúcar en Cuba. Una nueva concepción y manejo. XXX Convención Nacional ATAM. Veracruz.
 17. Delgado, I (2008). Manejo Sostenible de Caña de Azúcar en Cuba. Tesis para optar por el título académico de Master en Agricultura Sostenible. UCLV.
 18. Jorge, H. *et al.* (2010). Principios y conceptos básicos para el manejo de variedades y semilla de caña de azúcar en la agroindustria azucarera cubana. PUBLINICA. ISSN 1028-6527. La Habana. Cuba.
 19. Shikanda E, Jamoza J. y Kiplagat O. 2017. Genotypic evaluation of sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrids) clones for sucrose content in western Kenya. Journal of Plant Breeding and Crop Science. Vol. 9(3), pp. 30-36, March 2017. DOI: 10.5897/JPBCS2016.0618. Article Number: E62047563238. ISSN 2006-9758.
 20. Rosa JRBF, Carneiro MS, Hoffmann HP and Santos EGD. 2010. Epeatability estimates in early maturing sugarcane genotypes. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., Vol. 27.