



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Estimación de los Componentes de Variación Genética en Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.)

Sandra Lorena Zapata Martínez
I.A

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2019

Estimación de los Componentes de Variación Genética en Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.)

Sandra Lorena Zapata Martínez
I.A

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ciencias Agrarias

Directores:

Fredy Antonio Salazar Villareal, Ph.D.

Codirector (a):

Jaime Eduardo Muñoz, Ph.D.

Línea de Investigación:

Fitomejoramiento

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2019

Dedico a:

Dios, fuente de sabiduría y amor.

Mi padre Armando Zapata, a quien admiro y quien ha sido ejemplo de amor al conocimiento.

Mi madre Luz Dary Martínez, quien con sus oraciones y apoyo ha permitido que continúe en mi crecimiento académico.

Mis hermanos: Hugo Armando Zapata Martínez, Anderson García Martínez y Laura Catalina Zapata Papamija; considerados hermanos completos, quienes me han brindado su compañía y comprensión.

A mi sobrina Salomé, luz de mis días.

Jorge Chasqui, por permitirme ver el mundo con otros ojos.

Familia Salazar Vásquez, quienes me han acogido como un miembro más, y han sido mi motivación para continuar.

"Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber."

Albert Einstein

Agradecimientos

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a:

Dr. Fredy Antonio Salazar Villareal, por su orientación en la dirección de esta investigación y por su apoyo incondicional.

Dr. Jaime Eduardo Muñoz Flórez, por compartirme sus conocimientos.

Dr. Jorge Ignacio Victoria Kafure, por su apoyo en la parte académica y profesional.

Dr. Luis Orlando López Zúñiga por su amistad y compañerismo.

CENICAÑA, por brindarme la oportunidad de cualificarme a nivel de maestría.

Mis compañeros y amigos de estudio: Jeferson Rodríguez y Yulieth Vargas Hernández, por su acompañamiento y motivación en la escritura del documento.

La Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira y sus docentes, por la formación recibida.

Compañeros y personal técnico y administrativo de Cenicaña.

Msc. Óscar Mauricio Delgado Restrepo, por su apoyo en la consecución del experimento.

Ingenio providencia por el apoyo en las labores agronómicas realizadas en el ensayo de campo.

Resumen

En los programas de mejoramiento genético de plantas es fundamental el conocimiento de la variación genética y de sus componentes, para poder escoger los métodos de mejoramiento apropiados a seguir para el desarrollo y selección de nuevos cultivares. El objetivo fue estimar los componentes de variación genética en poblaciones de caña de azúcar del ambiente semiseco elegidas al azar y calcular la heredabilidad. Se evaluaron las variables sacarosa (%caña), toneladas de caña por hectárea (TCH), toneladas de sacarosa por hectárea (TSH) en la estación experimental de CENICAÑA, con un diseño de bloques completos al azar, y las variables altura, diámetro, entrenudos, población y algunos caracteres asociados a Roya Café y Roya Naranja fueron evaluadas en la hacienda Betania del ingenio Providencia con un diseño de bloques aumentados. Se efectuó el análisis de varianza por los procedimientos GLM y GLIMMIX del paquete estadístico SAS, y los componentes de variación genética se estimaron de acuerdo al diseño genético Carolina del Norte I. En la expresión de sacarosa (%caña), tanto la varianza aditiva y la de dominancia fueron significativas y la heredabilidad en sentido estrecho fue baja. En TCH, TSH y las relacionadas con enfermedades, se hallaron varianzas aditivas bajas y heredabilidades en sentido estrecho bajas, y en los caracteres agronómicos, se encontró la mayor variación debida a efectos de aditividad, y heredabilidades altas. Se recomienda que además del mejoramiento poblacional orientado a la producción de variedades se inicie un método de mejoramiento interpoblacional para la producción de híbridos convencionales.

Palabras claves: Diseño genético, varianza, Carolina del Norte I, heredabilidad, selección.

Abstract

In plant breeding programs, knowledge of genetic variation and its components is essential for choosing the appropriate breeding methods to follow for the development and selection of new cultivars. The objectives of this study were to estimate the genetic variation components of randomly selected sugarcane populations adapted to semi-dry environments and to calculate the heritabilities of different evaluated traits. Sucrose (%), tons of cane per hectare (TCH), and tons of sucrose per hectare (TSH) were evaluated at CENICAÑA using a randomized complete block design. Variables plant height, diameter, internodes number, population, and characters associated with brown and orange Rust were evaluated at Betania farm, from Providencia mill, using an augmented block design. The analysis of variance was performed using GLM and GLIMMIX procedures of the SAS statistical package, and the genetic variation components were estimated according to North Carolina genetic design I. For sucrose (%), both the additive and dominance variance were significant and the narrow-sense heritability was low. For TCH, TSH, and in those related to diseases, the additive variances and narrow-sense heritability were found to be low. For other agronomic traits, the highest variation due to additivity effects were found, and with high heritabilities accordingly. It is recommended that in addition to the population improvement oriented to the production of varieties, an interpopulation improvement method for the production of conventional hybrids be initiated.

Keywords: Genetic design, variance, North Carolina design I, heritability, selection.

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Abstract	VIII
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XII
Introducción	1
Hipótesis	5
Objetivos	6
1. Revisión de literatura	7
1.1 Origen y distribución	7
1.2 Importancia económica.....	8
1.3 Distribución y producción en Colombia	8
1.4 Biología reproductiva	9
1.5 Genética y mejoramiento	11
1.6 Mejoramiento genético.....	12
1.7 Componentes de variación genética	15
1.8 Estimación de parámetros genéticos	17
1.9 Avances de investigación	18
2. Materiales y métodos	20
2.1 Localización.....	20
2.2 Material experimental.....	20
2.3 Metodología.....	21
2.3.1 Diseño experimental	21
2.3.2 Trabajo de campo	22
2.4 Variables evaluadas y unidades de medición	27
2.4.1 Fitosanitarias.....	27
2.4.2 Agronómicas	28
2.4.3 Producción y rendimiento	28
2.5 Análisis estadístico	28
2.6 Diseño genético	30
3. Resultados y discusión	32
3.1 Análisis de varianza.....	32

3.1.3	Análisis de varianza para toneladas de caña por hectárea (TCH).....	37
3.1.4	Análisis de varianza para toneladas de sacarosa por hectárea (TSH) .	38
3.1.5	Análisis de varianza para características relacionadas con desarrollo.	39
3.1.6	Análisis de varianza para características relacionadas con fitosanidad.	41
3.1.7	Análisis de varianza para aspecto y volcamiento.	42
3.2	Estimación de componentes de variación genética y heredabilidad.	43
3.2.1	Componentes de variación genética y heredabilidad para sacarosa (% caña).	43
3.2.2	Componentes de variación genética y heredabilidad para variables relacionadas con productividad.....	46
3.2.3	Componentes de variación genética y heredabilidad para variables agronómicas.	48
3.2.4	Componentes de variación genética y heredabilidad para variables fitopatológicas.....	51
3.3	Estrategias de mejoramiento sugeridas.....	52
4.	Conclusiones	54
5.	Recomendaciones	55
A.	Anexo: Póster para congreso	56
	Bibliografía	59

Lista de figuras

Figura 1-1: Distribución espacial del cultivo de la caña de azúcar en Colombia.	9
Figura 1-2: Flor de la caña de azúcar.	10
Figura 1-3: Relación filogenética de los miembros seleccionados del clado Saccharinae. Interpretación filogenética de Spangler et al. (1999). Estimaciones del tamaño del genoma de Arumuganathan y Earle (1991), Bennett y Leitch (2003) y Price et al. (2005).	12
Figura 2-1: Esquema de cruzamientos y establecimiento de experimento en campo en un diseño genético Carolina del Norte I.	22
Figura 2-2: Vivero de crianza para aumento de semilla, ubicado en el lote 11 de Cenicaña.	22
Figura 2-3: Escala de magnitud del daño para la evaluación de porcentaje de severidad de roya café y roya naranja en el cultivo de la Caña de Azúcar.	24
Figura 2-4: Representación de toma de muestras de Caña de Azúcar con el método de análisis directo.	26
Figura 2-5: Toma de muestra para determinación de sacarosa (%caña) mediante el método de análisis directo (CeniAD).	26
Figura 2-6: Toma de pesaje realizado por familia en campo en el momento de cosecha.	27

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Condiciones ambientales de las localidades de experimentación.....	20
Tabla 2-2: Escala de Purdy y Dean (1980) para la evaluación de roya café y roya naranja en el cultivo de la caña de azúcar.....	23
Tabla 3-1: Análisis de varianza individual y porcentaje de la suma de cuadrados para sacarosa (%caña) de las poblaciones evaluadas en cinco series de selección del ambiente semiseco.....	32
Tabla 3-2: Valores p y porcentaje de la suma de cuadrados del análisis de varianza combinado para la variable sacarosa (% caña).....	35
Tabla 3-3: Análisis de varianza para la variable toneladas de Caña por hectárea.....	37
Tabla 3-4: Análisis de varianza para la variable toneladas de sacarosa por hectárea. ...	38
Tabla 3-5: Análisis de varianza para características relacionadas con el desarrollo del cultivo tomadas a los 6.4 meses de edad.....	39
Tabla 3-6: Análisis de varianza para reacción y porcentaje de severidad a roya café y roya naranja.....	41
Tabla 3-7: Análisis de varianza para aspecto y volcamiento de la planta, evaluados a los 10.4 meses de edad del cultivo.....	42
Tabla 3-8: Estimación individual de componentes de variación genética y heredabilidad para la variable sacarosa (%caña) en los cinco años de evaluación.....	44
Tabla 3-9: Estimación general de varianzas genéticas y heredabilidad de poblaciones élite del ambiente semiseco elegidas al azar, a través de cinco años de evaluación.	45
Tabla 3-10: Estimación de varianzas genéticas y heredabilidad en poblaciones élites del ambiente semiseco para las fuentes de variación toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de sacarosa por hectárea (TSH).....	46

Tabla 3-11: Componentes de variación genética y heredabilidad para las variables agronómicas evaluadas en 64 familias de hermanos completos del ambiente semiseco.	48
Tabla 3-12: Componentes de variación genética y heredabilidad para las variables fitopatológicas evaluadas en 64 familias de hermanos completos del ambiente semiseco.	51

Bibliografía

- Acquaah, G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding* (Second ed.). USA: Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.05.0002br>
- Alam, R., Deb, A. ., Mannan, M. ., & Khaleque, M. . (2011). Inheritance study of seven quantitative characters using north carolina design in sugarcane. *Pakistan Sugar Journal*, 26(4), 12–20.
- Amaya, A., Cock, J., Hernández, A., & Irvine, J. (1995). Biología. In *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 31–62). Cali, Colombia: Cenicaña.
- Amaya, A., Larrahondo, J., Rangel, H., Moreno, C., & Viveros, C. (2001). *CeniAD: Nuevo sistema para determinación de sacarosa en caña de azúcar*. Cali, Colombia.
- Asocaña. (2014). El sector azucarero colombiano en la actualidad. Retrieved September 6, 2018, from <http://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia. (2014). Aspectos generales del sector azucarero Colombiano 2013 – 2014. Retrieved October 20, 2018, from <https://www.asocana.org/documentos/1352014-FF89F4A0-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,B9B9B9,D2D2D2.pdf>
- Bermúdez, Manuel Cárcamo, A., Orozco, M., Velázquez, J., Silva, H., Vizcaíno, A., & Álvarez, M. (2015). *Enfermedades ocasionadas por la roya café (Puccinia melanocephala) y la roya naranja (Puccinia kuehnii) de la caña de azúcar en México*. Tecomán, Colima, México. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4476.6488>
- Bernardo, R. (2010). *Breeding for quantitative traits in plants* (2nd ed.). Estados Unidos: Stemma Press.

-
- Brandes, E. W. (1956). Origin, dispersal and use in breeding of the Melanesian garden sugarcanes and their derivatives, *Saccharum officinarum* L. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologist*, 709–750.
- Burgueno, J., & Crossa, J. (2000). *SAS macro for analysing unreplicated designs*. Mexico D.F., Mexico.
- Carbonell, J. A., Quintero, R., Torres, J. S., Osorio, C. A., Isaacs, C. H., & Victoria, J. I. (2011). *Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones*. Cali, Colombia: Cenicaña.
- Cassalett, C., & Ranjel, H. (1995). Mejoramiento Genético. In CENICAÑA (Ed.), *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 63–82). Cali, Colombia.
- Ceballos, H. (n.d.). *Manual de genética cuantitativa y mejoramiento genético*. Palmira, Colombia.
- Cenicaña. (2017). *Informe anual 2017*. Cali, Colombia.
- Centro de Investigación de la Caña de Azúcar. (2014). *RMA 21 años sumándole tiempo al clima regional. Carta informativa*. Retrieved from http://www.cenicana.org/pdf/carta_informativa/2014_n2/2014_n2.pdf
- Chaves, M. (2017). *Floración en la caña de azúcar*. San José, Costa Rica.
- Choukan, R., Hossainzadeh, A., Reza, M., Warburton, M., Reza, A., & Abolghasem, S. (2005). Use of SSR data to determine relationships and potential heterotic groupings within medium to late maturing Iranian maize inbred lines. *Field Crops Research*, 95(2–3), 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.02.011>
- Clayton, W. (1973). The awnless genera of Andropogoneae. *Studies in the Gramneae*: 33. *Kew Bulletin*, 28 (1), 49–58.
- Cock, J. H. (2005). Manejo de la Caña para Cosecha en Estado Verde. In *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 23–27). Cali, Colombia: Cenicaña.

- Cockerham, C. (1954). An extension of the concept of partitioning hereditary variance for analysis of covariances among relatives when epistasis is present. *Genetics*, 39(November), 859–882.
- Cruz, R., Fonseca, L., & Ortiz, R. (2005). Estimación de parámetros genético-estadísticos en la región oriental de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 26(1), 61–65.
- Cruz, R., Spaans, E., & Nuñez, O. (2010). *Efecto del acame en la productividad y la calidad de la caña de azúcar: un análisis comparativo con la caña erecta. Departamento de campo, sociedad agrícola e industrial San Carlos*. Guayaquil, Ecuador.
- D'Hont, A., Grivet, L., Glaszmann, J., Berding, N., Feldmann, P., & Rao, S. (1996). Characterisation of the double genome structure of modern sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) by molecular cytogenetics. *MGG Molecular & General Genetics*, 250, 405–413. <https://doi.org/10.1007/s004380050092>
- Falconer, D. S. (1962). *Introduction to Quantitative Genetics. Population (French Edition)* (Vol. 17). <https://doi.org/10.2307/1525780>
- Fisher, R. (1918). The correlation between relatives on the supposition of mendelian inheritance. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 52(2), 399–433. <https://doi.org/10.3390/catal5020606>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). Data production crops Sugarcane. Retrieved October 20, 2018, from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- García, V. (1988). *Genética general*. Cali, Colombia.
- Grivet, L., Daniels, C., Glaszmann, J. C., & D'Hont, A. (2004). A review of recent molecular genetics evidence for Sugarcane evolution and domestication. *Ethnobotany Research and Applications*, 2, 9–17. <https://doi.org/10.17348/era.2.0.9-17>
- Guruprasad, H., & Nagaraja, T. (2016). Genetic variability and heritability analysis in selected clones of Sugarcane. *IJSTE - International Journal of Science Technology*

& *Engineering*, 2(8), 43–46.

Hallauer, A., Carena, M., & Miranda, J. (2010). *Quantitative genetics in maize breeding*. New York, Estados Unidos: Springer.

Holland, J. (2010). *Epistasis and Plant Breeding*. Oxford, UK: Plant Breeding Reviews. John Wiley & Sons, Inc.

ICAR. (2019). ICAR-SBI Sugarcane Breeding Institute, Coimbatore. Retrieved from <http://sugarcane.icar.gov.in/index.php/en/2014-04-28-11-31-50/hybridization>

Jackson, P. A. (2005). Breeding for improved sugar content in sugarcane. *Field Crops Research*, 92, 277–290. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.024>

Jagosz, B. (2011). The relationship between heterosis and genetic distances based on RAPD and AFLP markers in carrot. *Plant Breeding*. <https://doi.org/Doi:10.1111/j.1439-0523-2011.01877.x>

Kearsey, M. J., & Pooni, H. S. (2004). *The genetical analysis of quantitative traits*. (1st ed.). Garland Science.

Lewontin. (1997). Quantitative Genetics 101. *Genetics*, 59, 1997.

Lucius, A. S., De Oliveira, R., Daros, E., Zambon, J. L., Bepalhok, J., & Aloisio, M. (2014). Desempenho de famílias de cana-de-açúcar em diferentes fases no melhoramento genético via REML/BLUP. *Semina:Ciencias Agrarias*, 35(1), 101–112. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p101>

Mancini, M. C., Leite, D. C., Perecin, D., Bidóia, M. A. P., Xavier, M. A., Landell, M. G. A., & Pinto, L. R. (2012). Characterization of the genetic variability of a Sugarcane commercial cross through yield components and quality parameters. *Sugar Tech*, 14(2), 119–125. <https://doi.org/10.1007/s12355-012-0141-5>

Mariotti, J. (1986). Fundamentos de genética biométrica: Aplicaciones al mejoramiento genético vegetal. *Serie de Biología. Monografía 32*. Washington, D.C: Programa general de desarrollo científico y tecnológico.

- Márquez, S., & Hallauer, A. (1970). Influence of sample size on the estimation of genetic variances in a synthetic variety of maize I. Grain yield. *Crop Science*, 10(4), 357–361.
- Mather, K., & Jinks, J. L. (1977). *Introduction to Biometrical Genetics*. *Journal of Medical Genetics* (1st ed., Vol. 15). Londres, Inglaterra: London Chapman and Hall. <https://doi.org/10.1136/jmg.15.4.323-a>
- Milligan, S. B., Gravois, K. A., Bischoff, K. P., & Martin, F. A. (1990). Crop effects on broad-sense heritabilities and genetic variances of sugarcane yield components. *Crop Sci*, 30, 344–349.
- Moore, P., & Botha, F. (2014). *Sugarcane: Physiology biochemistry and functional biology*. New Delhi, India: Wiley Blackwell.
- OCDE/FAO. (2017). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026. Retrieved October 21, 2018, from <http://www.fao.org/3/a-i7465s.pdf>
- Pereira, M., Deon, M., Dos Santos, L., De Souza, G., De Oliveira, R., Peternelli, L., & Daros, E. (2012). Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the brazilian experience in network research with RIDESA. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 12(spe), 87–98. <https://doi.org/10.1590/s1984-70332012000500010>
- Purdy, L., & Dean, J. (1980). Un sistema para registrar los datos sobre las interacciones entre la roya de la caña de azúcar y el hospedero. *Seminario Interamericano de La Caña de Azúcar, 1. Enfermedades de La Caña de Azúcar. Memorias*. Vanguard, Miami.
- Ramana, T., & Thuljaram, J. (1977). Analysis of quantitative variation in sugar cane hybrid population involving *Saccharum robustum*. Proceeding XVI Congress.
- Ramírez, J., Insuasty, O., & Viveros, C. (2014). Comportamiento agroindustrial de diez variedades de caña de azúcar para producción de panela en Santander, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(2), 183–195.
- Ramírez, L. (2006). *Mejora de plantas alógamas*. Universidad pública de Navarra. Navarra, España.

- Ramos, O. (2005). Caña de azúcar en Colombia. *Revista de Indias*, 65(233), 49–78.
- Robles, S. (1986). *Genética elemental y fitomejoramiento practico*. México D.F, México: Limusa, S.A de C.V.
- Salazar, F. (1992). *Estimación de parámetros genéticos de varianza y acción génica en algunas poblaciones híbridas de caña de azúcar*. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Salazar, F., Viveros, C., López, L., Ángel, J., & Victoria, J. (2009). *Estabilidad de las variedades de la serie 97-01 (plantilla) evaluadas a través de seis localidades usando dos métodos de análisis* (Vol. 01). Cali, Colombia.
- Salazar, M., Rodríguez, V., & Quiñones, M. (1975). Herencia de altura de plantas en trigos duros (*Triticum durum* Desf.). *Agrociencia*, 21, 133–143.
- SAS Institute Inc. (2014a). SAS/STAT 13.2 User's guide. The glimmix procedure. Cary, NC.
- SAS Institute Inc. (2014b). SAS/STAT 13.2 User's guide. The GLM procedure. Cary, NC.
- Shanmugha, K., Krishnamurthi, M., Rajeswari, Sekar, S., & Shanmuganathan, M. (2010). Genetic base broadening of Sugarcane (*Saccharum* Spp.) by introgression of genes through intergeneric hybridisation. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol*, 27, 1–9.
- Silva, E., Castillo, F., Molina, J., Benítez, I., Santacruz, A., & Castillo, R. (2011). Selección de progenitores, varianzas genéticas y heredabilidad para acumulación temprana de sacarosa en caña de azúcar. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(2), 107–114.
- Silva, L., Bhering, L., Teodoro, P., Barbosa, M., Gasparini, K., Assis, C., & Peixoto, L. (2017). Selecting sugarcane genotypes by the selection index reveals high gain for technological quality traits. *Genetics and Molecular Research*, 16(2), 1–12. <https://doi.org/10.4238/gmr16029678>
- Simón, G., Collavino, N., Gray, L., & Mariotti, J. (2016). Heredabilidad de la resistencia a la roya común (*Puccinia melanocephala* H. et P. Sydow) en familias FS de caña de azúcar (*Saccharum* spp). *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 42(1),

- 165–174. Retrieved from
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142017000200013&lang=pt
- Singh, R. K., & Singh, S. B. (2004). Breeding strategies for commercially elite early maturing varieties of sugarcane (*Saccharum Species Complex*). *Sugar Tech*, 6(1–2), 89–92.
- Sopena, R. A. (2008). Idia XXI. Cultivos industriales. *Mejoramiento Genético de Caña de Azúcar*, 152.
- SRA. (2019). Sugar Research Australia. Retrieved from
<https://sugarresearch.com.au/growers-and-millers/varieties/>
- SRI. (2019). Division of crop improvement. Retrieved from
<http://www.sugarres.lk/divisions/division-of-crop-improvement/>
- Unigarro, C. (2014). *Efecto de las variables edafoclimáticas y biométricas sobre el contenido de sacarosa de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca*. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- Vallejo, F., Espitia, M., Checa, O., Tulio, L., Salazar, F., & Restrepo, E. (2005). *Análisis estadísticos para los diseños genéticos en fitomejoramiento*. Cali, Palmira: Universidad nacional de Colombia.
- Vallejo, F., & Estrada, E. (2013). *Mejoramiento genético de plantas*. Cali, Colombia: Universidad nacional de Colombia.
- Viveros, C., Baena, D., Salazar, F., López, L., & Victoria, J. (2014). Características de la caña de azúcar asociadas con toneladas de caña por hectárea y sacarosa (% caña). *Acta Agronómica*, 64(3), 268–272.
- Zhang, L. H., Weng, L. X., & Jiang, Z. D. (2007). Sugarcane. In: *Biotechnology in agriculture and forestry. Transgenics Crops V*, 60, 537–551.