

EFFECTO DE LA ENDOGAMIA SOBRE UNA POBLACIÓN MULTIPARENTAL DE MAÍZ, EN CONDICIONES DE BAJOS INSUMOS

INBREEDING EFFECT'S ON MULTIPARENTAL POPULATIONS OF MAIZE, UNDER LOW INPUTS CONDITIONS

Ernesto M. Ferro Valdés^{1*}, Gretel Geadá López², Mariol Morejón García³, Anaimy Gigato Toledo⁴, Yoel Martínez Maqueira⁵

¹Universidad de Pinar del Río. Departamento de Agronomía de Montaña. CP 20100,
<https://orcid.org/0000-0002-9060-8372>

²Universidad de Pinar del Río. Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias <https://orcid.org/0000-0002-8421-0624>

³Universidad de Pinar del Río. Departamento de Agronomía. <https://orcid.org/0000-0002-0166-877X>

⁴Universidad de Pinar del Río. Departamento de Agronomía de Montaña. CP 20100.
<https://orcid.org/0000-0001-5838-4586>

⁵Centro de Investigación y Servicios Ambientales ECOVIDA, Pinar del Río, Cuba. CP 20100.
<https://orcid.org/0000-0002-8687-0917>

*Autor para la correspondencia (e-mail): isyoelu@gmail.com

Recibido para su publicación: 14/04/2024 - Aceptado para su publicación: 18/06/2024

Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de la endogamia en una población multiparental de maíz, fue conducida una investigación en el municipio La Palma, provincia Pinar del Río. La evaluación se desarrolló por 7 años consecutivos en condiciones de bajos insumos en áreas de la UBPC hermanos Cruz y en la finca de un campesino perteneciente a la CCS Pedro Lantigua. Se utilizó una población multiparental de maíz, de amplia base genética nacional, la que se cultivó en la época de primavera, por ser este el momento en que se realizan las mayores siembras del grano en el municipio. La operación de muestreo se realizó similar a (Stangoulis *et al.*, 2009) acorde al momento del muestreo y a (Ramírez *et al.*, 2017) referente a la cantidad y método de selección. Se evaluó el rendimiento y 6 de sus componentes en cada ciclo de cultivo, lo que permitió realizar análisis de depresión consanguínea apoyados en cálculos de medias y representaciones gráficas. Los resultados muestran que la endogamia afecta significativamente el rendimiento y los componentes estudiados de manera acumulativa, siendo a partir de su quinto año de cultivo, que las poblaciones alcanzan valores de reducción fenotípica importantes..

Palabras claves: Maíz (*Zea mays*, *Lin*), endogamia, rendimiento, bajos insumos.

Abstract

With the objective of evaluating the effect of inbreeding in a multi-parent maize population, research was conducted in La Palma, province of Pinar del Río. The evaluation was carried out for 7 consecutive years under low-input conditions in two different areas. For experiments, a multi-parent maize population of broad national genetic base was used. Maize population was cultivated at spring season, because is the largest grain sowings season in the region. The sampling operation was carried out similar to (Stangoulis *et al.*, 2009) according to the time of sampling and to (Ramírez *et al.*, 2017) regarding the quantity and selection method. Yield and 6 of its components were evaluated in each crop cycle, which allowed analyzes of inbreeding depression supported by calculations of means and graphic representations. The results show that inbreeding affects the yield and the components studied cumulatively, and in its fifth year of cultivation, populations reaches significant phenotypic reduction values.

Keywords: Maize (*Zea mays*, *Lin*), inbreeding, yield, low inputs.

INTRODUCCIÓN

El *Zea mays*, *Lin* (maíz) ha sido reconocido entre los cultivos más importantes que proporcionan alimento a todo el planeta (Sangermán *et al.*, 2018), y en el caso de Cuba, es y ha sido fundamental en la seguridad y cultura alimentaria de nuestro pueblo (Ferro *et al.*, 2021; Ferro *et al.*, 2023). Sin embargo, los grandes volúmenes de importaciones anuales del grano (ONEI, 2021, 2022), no son más que una consecuencia de los bajos rendimientos

nacionales. Una de las causas fundamentales es que cerca del 85 % de los productores responsables de más del 80 % de la producción nacional desde el año 2000 (ONEI, 2022; Ortigoza *et al.*, 2019) utilizan variedades tradicionales o criollas, que llevan manejando por décadas, y aunque estas variedades les brindan adaptabilidad a sus condiciones productivas, sus rendimientos son discretos (Ortigoza *et al.*, 2019), debido principalmente entre otras cosas, al efecto reductor de la variabilidad interna de estas poblaciones provocado por la endogamia (Márquez, 2014; Boada *et al.*, 2016; Casiano de la Rosa 2017; Cervantes *et al.*, 2018; Hernández *et al.*, 2021).

Partiendo de la premisa que la eficacia biológica de una población aumenta con una velocidad proporcional a la variabilidad o diferencias genéticas de dicha población (Martínez, 2005), a nivel internacional, la mejora para maximizar el efecto de la diversidad sobre los caracteres agronómicos, se lleva a cabo por dos alternativas. La primera de ellas es a partir del desarrollo de poblaciones biparentales (Huang *et al.* 2015) pero que presentan una limitante generada por la limitada recombinación efectiva y la baja diversidad genética (Scott *et al.*, 2020). La segunda parte de la creación de poblaciones multiparentales (MAGIC population) (Scott *et al.*, 2020 y Arrones *et al.*, 2020), las cuales, al mezclar y recombinar genomas de múltiples fundadores, se combinan muchas propiedades beneficiosas (Scott *et al.*, 2020) proporcionando una mayor diversidad genética y fenotípica dentro de una única población (Shekhawat *et al.*, 2020).

Partiendo de los argumentos anteriores se llevó a cabo un programa para el desarrollo y evaluación de poblaciones multiparentales de maíz, con resultados interesantes para abordar el problema de los bajos rendimientos por la endogamia en poblaciones locales. Sin embargo, estas poblaciones no están exentas del efecto de la endogamia, por ello, esta investigación tuvo como objetivo determinar el período tras el cual sería necesario restaurar la variabilidad interna de una población multiparental de amplia base genética nacional, tras ser cultivada durante siete años, en condiciones de bajos insumos o tradicionales de las montañas del norte de Pinar del Río.

MATERIALES Y MÉTODOS

Soporte experimental

Se utilizó como material vegetal una población multiparental de amplia base genética nacional, la que se cultivó en primavera durante siete años seguidos, en dos locaciones distintas. Una de las locaciones utilizada fue la finca del productor Francisco Alfaro, perteneciente a la CCS Pedro Lantigua, y la segunda área, pertenece a la UBPC Hermanos Cruz. En ambos casos su cultivo se llevó a cabo en condiciones de bajos insumos agroquímicos y sin diseño experimental preconcebido, para asemejarlo más al sistema de producción campesino de la región. Se utilizó como marco de plantación, una distancia de 0,50 m entre plantas y 0,80 m entre hileras.

Las mazorcas fueron cosechadas alcanzada la madurez fisiológica, entre los 80 y 120 días, (Stangoulis *et al.*, 2009), tomando 50 mazorcas al azar de surcos distintos, previa determinación del número de la planta a cosechar en cada uno de ellos. Las mazorcas se secaron al sol, hasta que su estado de humedad permitiese su desgranado manual. De las 50 mazorcas se tomaron al azar 20, se ordenaron según su longitud, y se tomaron las 10 centrales para medir las variables a considerar en cada una de ellas (Ramírez *et al.*, 2017). Las variables utilizadas durante toda la experiencia fueron el rendimiento, expresado en toneladas por hectáreas, y seis de sus componentes, longitud de la mazorca (cm), diámetro de la mazorca (cm), peso de 100 granos (g), número de hileras (unidades), granos por hileras (unidades) y número de granos por mazorca (unidades).

Análisis de los datos

Con los datos de las variables tomadas se calcularon valores promedios utilizando Microsoft Excel 2016, que de igual forma se utilizó para confeccionar las figuras y tablas que se exponen en el documento. Partiendo de la variable peso de 100 granos fue calculado el rendimiento promedio de acuerdo a la fórmula descrita por Socorro *et al.*, (1989), en cada ciclo de siembra para un 12 % de humedad. Los datos, tanto los registrados de las mediciones, como los determinados, se utilizaron para determinar la depresión de los caracteres estudiados, tomado de base su primer año de cultivo. Se utilizó registros municipales y nacionales de la ONEI para compararlos con los resultados de esta experiencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La reducción fenotípica en los caracteres estudiados

La evaluación de estos caracteres, permitió reconocer variaciones en sus las métricas durante la etapa de estudio. Estos cambios pueden ocurrir debido a diferentes causas como, alteraciones en la genética de las poblaciones (Márquez, 2010) variaciones en las condiciones ambientales, cambios en el manejo del cultivo, o afectaciones ocasionadas por plagas y enfermedades (Boada *et al.*, 2016; Cadet *et al.*, 2018).

Durante el período de estudio no se realizaron cambios en el manejo del cultivo y tampoco se observó afectaciones por plagas que pudieran alterar los valores de las variables evaluadas. En el caso de las variables climáticas, los acumulados de precipitaciones en los meses de cultivo, durante los seis primeros años, se mantuvieron entre los 1073.20 y 726.80 mm, los que se consideran óptimos para el desarrollo del cultivo según Socorro *et al.*, (1989), la excepción se registró en el 2011 donde solo se acumularon 107.1 mm. Por otra parte, la temperatura promedio mensual osciló entre los 28.4 y 23.83 grados, considerada como adecuada para el desarrollo del cultivo en nuestro país según García (2014), quien planteó que el desarrollo óptimo del cultivo lo alcanza entre 21 y 32 °C. Por lo tanto, se determinó que las variaciones registradas en los caracteres estudiados, ocurrieron debido a efectos genéticos provocados por la endogamia.

Al analizar el carácter largo de la mazorca y diámetro de la mazorca, se observó diferencias entre los años evaluados y entre los sitios de evaluación (Figura 1 a, b).

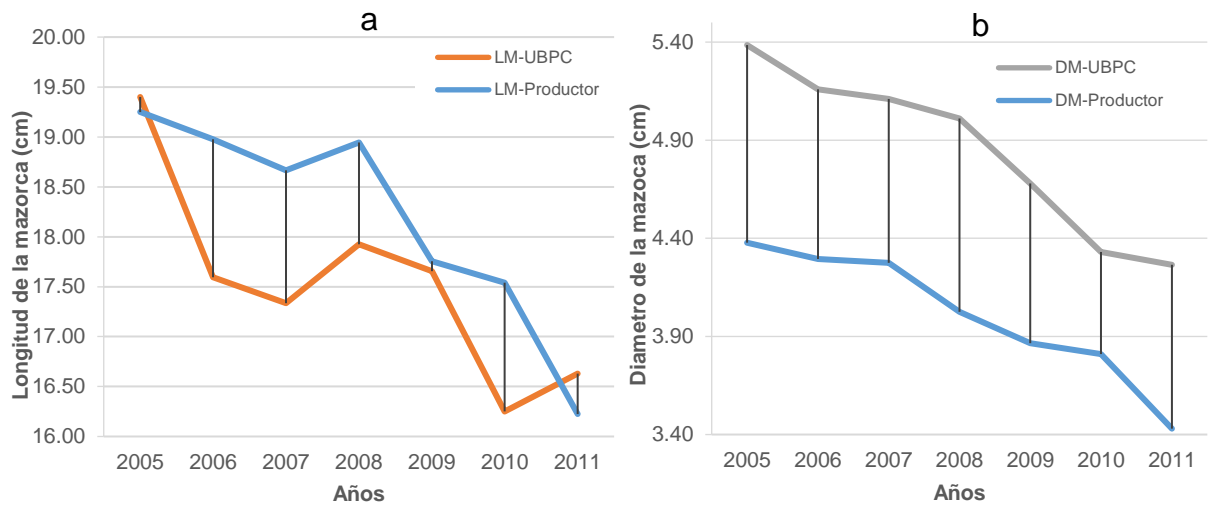


Figura 1. Representación de los valores de los caracteres asociados a la mazorca en los 7 años de evaluaciones. a) longitud de la mazorca y b) diámetro de la mazorca.

Figure 1. Representation of the values of the characteristics associated with the cob in the 7 years of evaluations. a) cob length and b) cob diameter

Se encontró una tendencia general al decrecimiento de los valores iniciales de estos caracteres en ambos sitios, respecto al séptimo año de evaluación de la población. El largo de la mazorca registró valores de más de 19 cm como promedio en ambos lugares en su primer año de cultivo, sin embargo, posterior a 7 años este carácter se redujo hasta valores de alrededor de 16.5 cm. Las mediciones realizadas arrojaron una reducción del largo de la mazorca en 3.03 cm, el 15.71 % en la finca del productor, y 2.77 cm, el 14.28 % en el caso de la UBPC. Como promedio general la reducción de este carácter fue de 2.90 cm, lo que representó una disminución del 15 % de los valores que ostentaba la población en su primer año.

Los resultados obtenidos se corresponden con los obtenidos por Perches *et al.*, (2009) y Casiano de la Rosa (2017), quienes declararon que el decrecimiento del largo de la mazorca debido a la endogamia se produce por la reducción del vigor, así como por otros efectos negativos asociados a ella.

El carácter diámetro de la mazorca manifestó un comportamiento similar al anterior, ya que en ambos sitios de cultivo se registró reducción, siendo en la UBPC menor que en la finca del productor. Para el diámetro de la mazorca los datos mostraron como promedio general una reducción de 1.03 cm, lo que representó una reducción del 21.18 %. Individualmente la UBPC mostró una reducción del 20.80 % y 21.64 % en la finca del productor. Se conoce que la reducción del diámetro de la mazorca debido a la endogamia es un fenómeno observado en los programas de mejoramiento de maíz. Investigaciones anteriores indican que la endogamia puede resultar en una reducción del diámetro de la mazorca hasta en un 43% en comparación con la variedad original (Moreno *et al.*, 1981). Destacar que las diferencias encontradas con los resultados obtenidos por Moreno *et al.*, (1981), se deben esencialmente a los métodos de fecundación utilizados en cada experiencia, libre polinización por un lado y autofecundación repetida por otro.

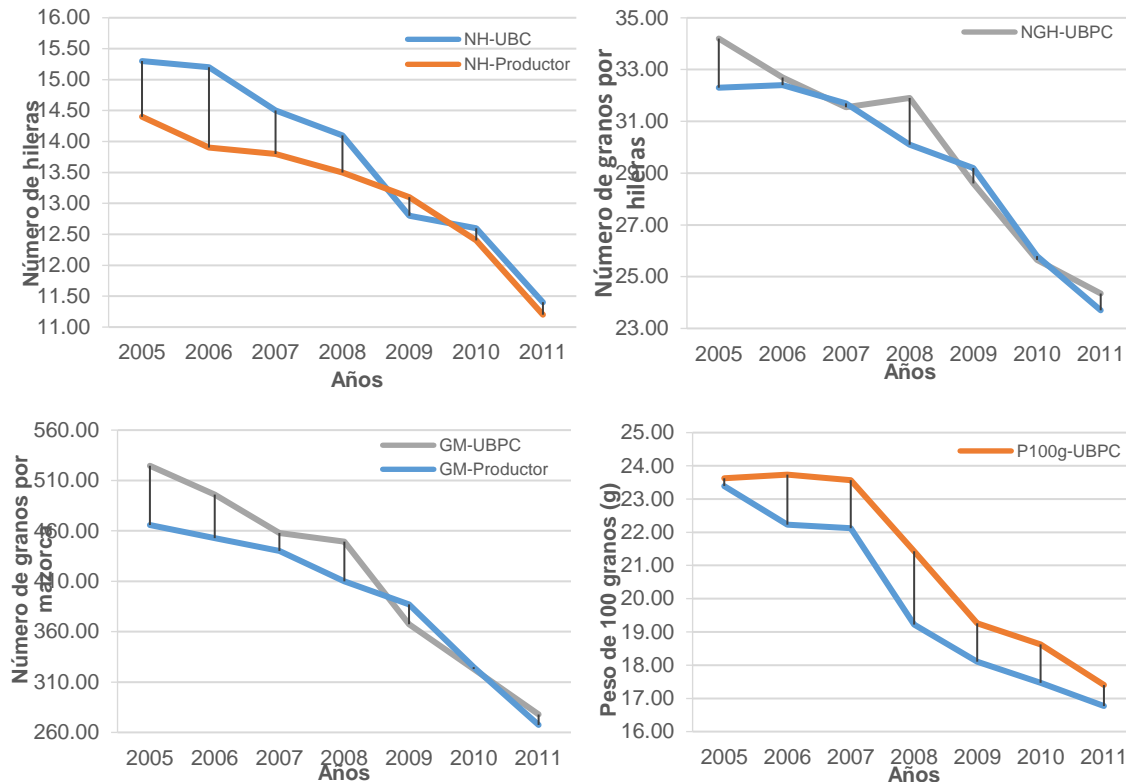


Figura 2. Representación de los valores de los caracteres, a) número de hileras, b) número de granos por hilera, c) número de granos por mazorca y d) peso de 100 granos.
 Figure 2. Representation of the values of the characters, a) number of rows, b) number of grains per row, c) number of grains per ear and d) weight of 100 grains.

Por último, el número de granos por hileras arrojó un 44.94 % de reducción respecto a sus valores iniciales. Aunque en algunos momentos los valores promedios anuales se igualaron y fueron hasta superiores a los de la UBPC, de forma general en la mayoría de los casos la reducción fenotípica fue superior en la finca del productor.

Estos resultados se corresponden con los obtenidos por varios autores, quienes plantearon que la endogamia tiene un impacto negativo sobre la productividad del maíz, ya que va afectando de manera diferenciada los distintos componentes del rendimiento a través de efectos genéticos aditivos, no aditivos y citoplasmáticos (Perches *et al.*, 2009; Cervantes *et al.*, 2018; Hernández *et al.*, 2021).

El rendimiento no fue diferente del resto (Figura 3). Al compararle durante los 7 años en ambos sitios de cultivo, se registró una tendencia a la disminución gradual del mismo. Este fenómeno fue señalado por (Márquez, 2014; Boada *et al.*, 2016) al precisar que, en el caso específico de las variedades de maíz de polinización abierta, la endogamia puede reducir el rendimiento.

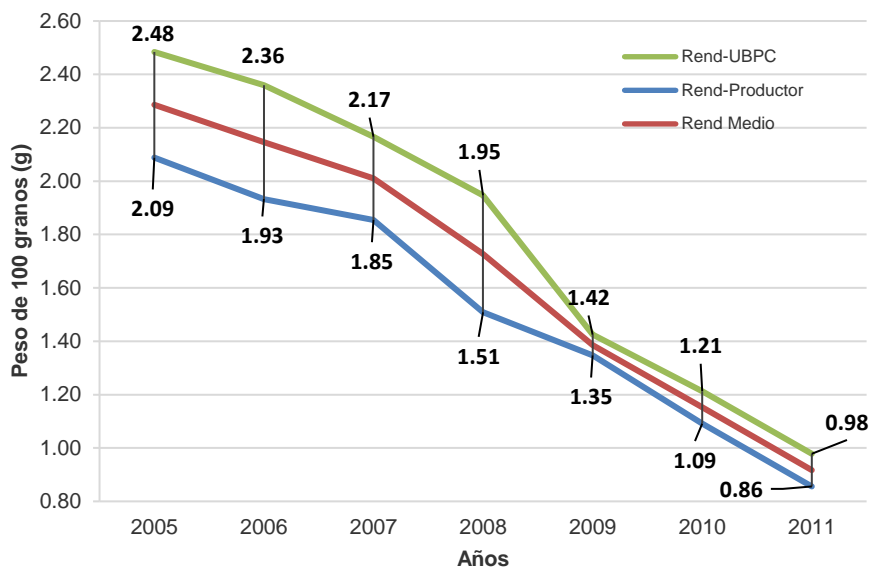


Figura 3. Representación de los valores de rendimiento registrados en ambos lugares de cultivo y sus valores medios.
 Figure 3. Representation of the yield values recorded in both cultivation locations and their average values.

En el caso de la UBPC la disminución del rendimiento fue importante, ya que de 2.48 ton/ha logradas en el 2005, decayó hasta 0.95 ton/ha en el 2011. La diferencia de 1.51 ton/ha entre el primer y el último año representó una disminución del rendimiento del 60.62 % en los 7 años. Los registros del productor mostraron valores de reducción del 59 % entre el primer y el último año, calculado de la diferencia de 2.09 en el 2005 y 0.86 ton/ha, en el año 2011. Como promedio general la reducción fue del 59.89 %.

Referente a los aspectos que influyen en la reducción del rendimiento Perches *et al.*, (2009) y Hernández *et al.*, (2021) plantearon que la endogamia afecta principalmente los componentes del rendimiento como la longitud de mazorca y el peso del grano a través de efectos genéticos aditivos. No obstante, Perches *et al.*, (2009) adiciona que los efectos recíprocos (maternos y no maternos) son los que más influyen en la expresión fenotípica de la profundidad de grano, lo que implica que la endogamia afecta este componente a través de efectos citoplasmáticos y de interacciones nucleares-citoplasmáticas. Además, la endogamia puede influir en otros aspectos como el número de hileras, y el número de granos por hilera, siendo estos componentes importantes para la productividad y calidad del maíz (Reinoso, 2019). Durante el período que se analiza, todos los caracteres estudiados fueron afectados por la endogamia.

Análisis del efecto reductor de la endogamia por años

Según las referencias tomadas de ambos productores, y las mediciones realizadas, la población mostró cambios sustanciales respecto a las características iniciales ya al quinto año de cultivo. Los datos que se muestran en la tabla 1, corroboran esas afirmaciones.

Tabla 1. Diferencial entre años de cultivo expresados en %, para cada carácter estudiado.
 Table 1. Differential between years of cultivation expressed in %, for each character studied

	2do año (05-06)	3er año (06-07)	4to año (07-08)	5to año (08-09)	6to año (09-10)	7mo año (10-11)
Rend	-6.13	-6.32	-14.06	-19.78	-16.87	-20.41
LM	-5.38	-1.56	2.42	-3.96	-4.57	-2.77

DM	-3.15	-0.74	-3.73	-5.42	-4.74	-5.47
NH	-2.02	-2.75	-2.47	-6.16	-3.47	-9.60
NGH	-2.11	-2.84	-1.98	-6.77	-10.99	-6.61
GM	-4.19	-5.37	-4.31	-12.17	-14.19	-15.78
P100G	-2.23	-0.60	-11.03	-8.08	-3.41	-5.31
Suma	-25.21	-20.18	-35.16	-62.35	-58.25	-65.94

Los diferenciales entre los años muestran que ocurre un aumento gradual de la reducción de todos los caracteres. Con la excepción del largo de la mazorca en el 2008, en el resto ocurre disminución de su fenotipo respecto al año anterior. Los caracteres más afectados por la endogamia y que más contribuyeron a la reducción del rendimiento fueron el número de hileras y granos por hileras, peso de 100 granos y el número de granos por mazorca.

Destacar que a partir del cuarto año la suma de los diferenciales comenzó a aumentar respecto a los años anteriores, llegando a superar el 35 %. No obstante, coincidentemente con lo planteado por los productores sobre el cambio notable en su quinto año de cultivo, en el 2009 las sumas de las diferencias respecto al 2008 superaron el 60 por ciento y oscilaron en ese rango hasta el 2011, año en que finalmente se decidió sustituirlas.

La tabla 2 muestra las diferencias del rendimiento por cada año respecto al primero, en ambos sitios de cultivo. En correspondencia con los resultados de la figura 3 y la tabla 1, la tabla 2 muestra también que en el año 2009 ocurren cambios importantes en el rendimiento de las poblaciones.

Tabla 2. Reducción del rendimiento en toneladas por hectáreas, por años de cultivo respecto al primer año.
 Table 2. Reduction in yield in tons per hectare, by crop years compared to the first year.

	2do año (2006)	3er año (2007)	4to año (2008)	5to año (2009)	6to año (2010)	7mo año (2011)
UBPC	0.13	0.32	0.54	1.06	1.27	1.51
Productor	0.16	0.23	0.58	0.74	1.00	1.23

Se puede observar que en ambos sitios de cultivo el rendimiento decrece año tras año respecto al primero. En el caso de la UBPC en su quinto año de cultivo el rendimiento cae de 1.95 a 1.42 toneladas por hectárea, o sea 0.53 toneladas menos, llevándolo a valores muy bajos con respecto a los primeros años. Situación similar muestra la población conducida en la CCS, la que entre el segundo y quinto año decrece su rendimiento entre 1.93 y 1.35 toneladas por hectárea, mostrando una diferencia de 0.58 toneladas. Estos resultados se corresponden con lo planteado por Márquez, (2010), quien considera que para cualquier método de polinización en la reproducción de germoplasma, por ejemplo, de una variedad de polinización libre, la endogamia se va acumulando a lo largo de las generaciones, causando un cambio negativo de las características cuantitativas de la variedad. Apoyando este planteamiento, Sigarra, (1985) por su parte argumentó que la endogamia en variedades de maíz de polinización abierta puede afectar su rendimiento de diversas maneras, como por ejemplo, generar altos niveles de consanguinidad, que puede llevar a una disminución en la variabilidad genética y a la acumulación de alelos recesivos perjudiciales, provocando la depresión consanguínea y una menor adaptabilidad de las plantas a diferentes condiciones ambientales, así como en una mayor susceptibilidad a enfermedades y estrés biótico y abiótico.

La figura 4 muestra el rendimiento promedio de la población multiparental de amplia base genética nacional en los dos ambientes de cultivo, en comparación con los registros promedios de rendimiento nacional y municipal, durante el período 2005 al 2022. Como se puede observar, en su primer y segundo año de cultivo la población multiparental de amplia base genética nacional cultivada en la UBPC, supero el rango medio óptimo de 1.61 a 2.21 toneladas por hectáreas, con un rendimiento promedio cercano al máximo nacional registrado en el período de 2005 al 2022 de 2.61 toneladas por hectáreas. Al igual ocurrió con el rendimiento promedio en ambos ambientes, que en el primer año fue superior a la media nacional promedio 2.21 toneladas por hectáreas. Sin embargo, en la CCS la población de amplia base genética nacional no logró superar el rango óptimo marcado entre la media nacional y local calculada para el período 2005 al 2017, pero durante tres años consecutivos se mantuvo en el rango óptimo marcado con registros de rendimiento superiores a los reportados por Chirino et al., (2019), y los anuarios estadísticos municipales (AEM La Palma, 2017; AEM La Palma, 2022) para el cultivo del maíz en el municipio La Palma, lo que representa un resultado interesante para una agricultura de bajos insumos.

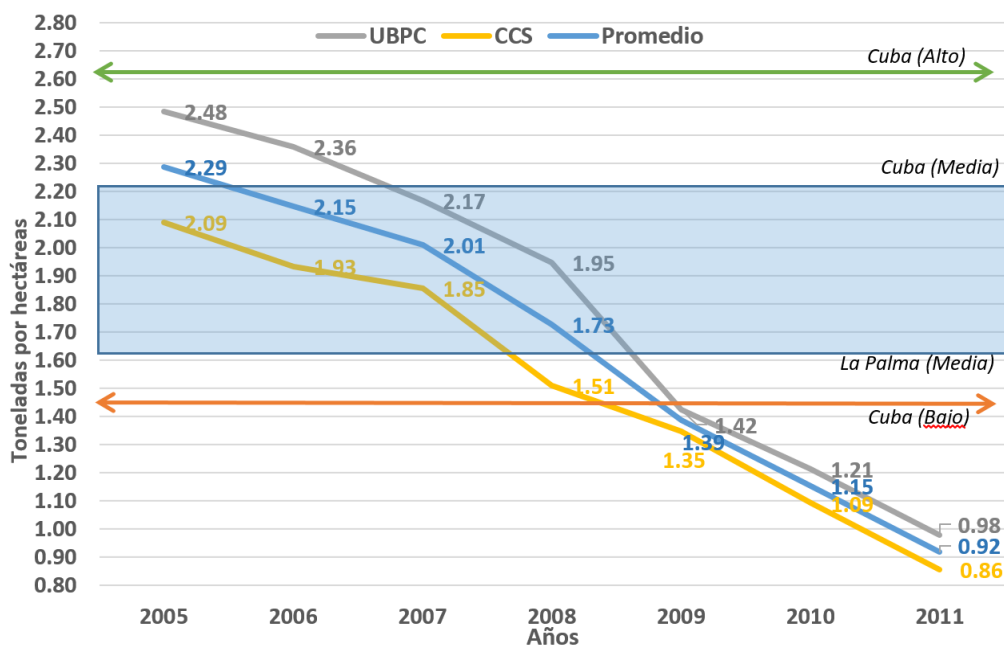


Figura 4. Representación del rendimiento medio de la población de maíz de amplia base genética, en los dos ambientes de cultivo y su promedio local en los 7 años de estudio, en comparación con los valores medios de rendimiento del cultivo, nacional y municipal durante el período 2005 al 2022.

Figure 4. Representation of the average yield of the corn population with a broad genetic base, in the two cultivation environments and its local average in the 7 years of study, in comparison with the average values of crop yield, national and municipal during the period 2005 to 2022.

De forma general se pudo observar, que las diferencias del rendimiento entre ambos sitios de cultivo tomaron valores entre 0.31 y 0.44 toneladas por hectárea en sus primeros 4 años. Ya en el año 2009 estas disminuyeron hasta solo 0.08 ton/ha, y posteriormente se mantuvieron alrededor de las 0.12 ton/ha. A partir del 2009, su quinto año de cultivo, las diferencias del rendimiento entre ambos sitios de cultivo, sin importar los contrastes del medio, se acortaron significativamente. Destacar que ya en su quinto año de cultivo el rendimiento de ambas poblaciones decayó por debajo del menor valor promedio nacional, 1.44 toneladas por hectáreas y continuo su decrecimiento hasta disminuir por

debajo de la tonelada por hectárea en su séptimo año de cultivo. Este resultado es consistente con lo planteado por Márquez, (2010), sobre el hecho de la reducción del rendimiento por acumulación de efectos negativos de la endogamia en las poblaciones de maíz de libre polinización.

Las poblaciones multiparentales de amplia base genética nacional mostraron resultados interesantes para la agricultura de bajos insumos que se practica en el municipio La Palma en sus primeros 4 años de cultivo, en correspondencia con los promedios nacionales y locales que se reportan. Posterior a ello, la endogamia provoca una disminución gradual importante del rendimiento y todos sus componentes, que reduce el potencial de las poblaciones por el efecto de la homocigocis y la acumulación de alelos recesivos Sigarroa (1985).

CONCLUSIONES

Los resultados permiten plantear que las poblaciones multiparentales, sufren una importante disminución fenotípica por el efecto combinado de los bajos insumos y de la endogamia en su quinto año de cultivo. Por lo tanto, se considera como el período óptimo llevar a cabo las mezclas de restauración de la variabilidad intrapoblacional, en el 4to año de cultivo.

ÉTICA Y CONFLICTO DE INTERESES

Las personas autores del manuscrito en cuestión, declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras que se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrones, A.; Díez, M.J.; Vilanova, S.; Plazas, M.; Mangino, G.; Pascual, L.; Prohens, J.; Gramazio, P. (2020) The Dawn of the Age of Multi-Parent MAGIC Populations in Plant Breeding: Novel Powerful Next-Generation Resources for Genetic Analysis and Selection of Recombinant Elite Material. *Biology* 9, 229; doi:10.3390/biology9080229
- Boada, R., & Espinosa, J. (2016). Factores que limitan el potencial de rendimiento del maíz de polinización abierta en campos de pequeños productores de la Sierra de Ecuador. *Siembra*, 3(1), 67-82. <https://doi.org/10.29166/siembra.v3i1.262>
- Cadet-Díaz, Sheila, & Guerrero-Escobar, Santiago. (2018). Factores que determinan los rendimientos de la producción de maíz en México: evidencia del censo agropecuario 2007. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(3), 311-337. Recuperado el 10 de mayo de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000300311&lng=es&tlng=es.
- Casiano de la Rosa, Gustavo (2017). Heterosis de líneas endogámicas de maíz en prueba con poblaciones de origen geográfico divergente. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de maestro en ciencias. Montecillo, Estado de México, México.
- Cervantes Ortiz, F., Hernández Esparza, J., García Rodríguez, J. G., Rangel Lucio, J. A., Andrio Enríquez, E., Mendoza Elos, M., Rodríguez Pérez, G., & Rodríguez Mercado, D. (2018). Aptitud combinatoria general y específica

- de caracteres agronómicos en líneas de maíz (*Zea mays* L.) de baja endogamia. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, ahead, 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000204>.
- Chirino G., E.; Ferro V., E.M.; Cruz D., Y.; Maqueira R., D. y Coro, J. (2019) Efecto del cambio de la fitotecnia sobre el rendimiento del maíz en condiciones locales campesinas. *Revista ECOVIDA* Vol 9, No 1. 13 - 23 pág.
- Ferro V., E. M., Sarmiento C., R., Martínez C., L., Gigato T., A., Chirino G., E., & Gómez S., M. A. (2021). El maíz (*Zea mays*), en la evolución histórica y social del municipio La Palma. *Revista ECOVIDA*, 11(3), 305-328. <https://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/235>
- Ferro V., E. M.; Geada L., G.; Morejón G., M.; Gigato T., A.; Martínez M, Y. (2023) Incongruencia entre actores del sistema de semillas de maíz: un riesgo para el desarrollo local. *Revista COODES* Vol. 11 No. 1. Disponible en: <https://coodes.upr.edu.cu/index.php/coodes/article/view/525>
- García C., A. (2014). Cadena de producción, distribución, comercialización, consumo del maíz en Granma (Dimensión ecológico productiva). *Observatorio de soberanía alimentaria y agroecología. Investigación sistematización OSALA*.
- Hernández Alonso, E., & De León Castillo, H. (2021). Comportamiento genético para componentes de rendimiento en una población de maíz enano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 26, 131-144. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2943>.
- Huang, B. E.; Verbyla, K. L.; Verbyla, A.P.; Raghavan, C.; Varshney, R. K.; Singh, V. K.; Gaur, P.; Leung, H.; Cavanagh, C.R. (2015) MAGIC populations in crops: current status and future prospects. *Theor Appl Genet* 128:999–1017.
- Márquez-Sánchez, F. (2010). Endogamia en la reproducción del maíz por cruza en cadenas. *Agrociencias* 44. 183-186.
- Márquez-Sánchez, F. (2014). Endogamia en el maíz en la selección recurrente para aptitud combinatoria. *Revista de Fitotecnia Mexicana*. 37(4), 315-317.
- Martínez F., M.A. (2005) Biodiversidad: Visiones y estrategias para la conservación. *CLADES* No. 13. Disponible en: <http://www.clades.cl/revistas/13/rev13agr5.htm>.
- Moreno M., José D.; Mendoza O., A.; Torregroza C., M. (1981). Efecto de la endogamia en líneas S1 de la variedad de maíz blanco Rubí (G) III Sin. 3. *Revista ICA*. Bogotá, Colombia. Vol. XVI No. 1. pp 1-10. Recuperado el 14 de mayo de 2024. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19999/75728_1605.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- Onei. (2021). Anuario Estadístico de Cuba 2020 (Sección Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca). Oficina Nacional de Estadística e Información. http://www.onei.gob.cu/sites/default/files/agropecuario_-2020_0.pdf
- Onei. (2022). Anuario Estadístico de Cuba 2021 (Sección Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca). Oficina Nacional de Estadística e Información.
- Ortigoza G., J.; López, C.A.; González, J.D. (2019). Guía técnica cultivo del maíz. San Lorenzo, Paraguay: FCA, UNA; 2019. p. 52. https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_04.pdf

- Perches, M., Herrera, S. R., Badillo, M. E., & Escalante, F. B. (2009). Aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas endogámicas de maíz de valles altos del centro de México. *Agricultura Técnica en México* Vol. 35 Núm. 3. p. 285-293.
- Ramírez, A.M.; Haller, V.H. y M.L. Guevara R., M.L. (2017) Estimación de rendimiento de variedades nativas de maíz en el estado de Tlaxcala. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 13 (1): 8-14.
- Reinoso G., E. (2019). Comportamiento Per Se en líneas S2 maíz (*Zea mays* L.) de alto rendimiento. Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias. Colegio de postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, México. 116 pág.
- Sangermán-Jarquín, D. M.; Olán, M.; Gámez-Vázquez, A.J.; Navarro-Bravo, A.; Á. Ávila Perches, M.A. y Schwentesius-Rindermann, R. (2018). Etnografía y prevalencia de maíces nativos en San Juan Ixtenco, Tlaxcala, con énfasis en maíz ajo (*Zea mays* var. *Tunicata* A. St. Hil.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 41 (4): 451 - 459.
- Scott, M. F., Ladejobi, O., Amer, S., Bentley, A. R., Biernaskie, J., Boden, S. A., Clark, M., Dell'Acqua, M., Dixon, L. E., Filippi, C. V., Fradgley, N., Gardner, K. A., Mackay, I. J., O'Sullivan, D., Percival-Alwyn, L., Roorkiwal, M., Singh, R. K., Thudi, M., Varshney, R. K., Mott, R. (2020). Multi-parent populations in crops: A toolbox integrating genomics and genetic mapping with breeding. *Heredity*, 125(6), 396-416. <https://doi.org/10.1038/s41437-020-0336-6>
- Shekhawat, N.; Singh, K.; Sharma, V.; Meghwal, D.R. (2020) MAGIC populations: Usefulness to define genetic basis of complex crop traits. *Food Sci. Reports* 2020, 1, 53–55.
- Sigarroa, A. (1985) Capítulo 8, Consanguinidad y Heterosis en: Cornide, M. T., Lima, H., Gálvez, G., Sigarroa, A. *Genética vegetal y fitomejoramiento*. Editorial Científico-Técnica. La Habana. Cuba. 1985. 639 p.
- Socorro Quesada, M.A. y Martín Fagundo, D.S. (1989). *Granos*. Ciudad de la Habana. Editorial Pueblo y Educación. 190 –317 pág.
- Stangoulis, J. y Sison C. (2009) *Protocolos de Muestreo en Cultivos para Análisis de Micronutrientes*. HarvestPlus. Serie de monografías técnicas. 20 pág.