

GENMAIZ 2.0: PROPAGACIÓN ALTERNATIVA COMO ESTRATEGIA TEMPRANA PARA PROYECTAR POTENCIAL EN RENDIMIENTO Y CALIDAD

GENMAÍZ 2.0: ALTERNATIVE PROPAGATION AS AN EARLY STRATEGY TO PROJECT POTENTIAL IN YIELD AND QUALITY

Rivera-Arredondo, M.^{1*}; Acosta-García, G.²; Escutia-Ponce J.M.¹; Pérez-Flores J.G.³

¹Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato. Carretera Valle-Huanímaro km 1.2 Valle de Santiago Gto. * E-mail: mriveraa@utsoe.edu.mx

²Instituto Tecnológico Nacional de México en Celaya. Antonio García Cubas Pte#600 Av. Tecnológico Celaya Gto. México

³Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, 42184 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Fecha de envío: 19, mayo, 2025

Fecha de publicación: 20, septiembre, 2025

Resumen:

El maíz es un cultivo fundamental para la seguridad alimentaria y la industria agrícola, por lo que optimizar su rendimiento y calidad es prioritario; el presente estudio se justifica por la necesidad de evaluar si métodos alternativos de propagación de las mismas líneas P₁ (E60-10), P₂(CML529) y F₁₋₁ (E60-10*CML-529), pueden ofrecer ventajas sobre la propagación tradicional por semilla. El objetivo fue comparar el crecimiento temprano y proyectar el potencial de rendimiento y calidad entre dos líneas de maíz propagadas por métodos diferentes: una mediante siembra tradicional de semilla y otra a partir de plántulas de semillas regeneradas *in vitro*. El experimento se realizó en la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, con coordenadas 20°23'54.13"N, -101°13'21.49"W, en primavera-verano, evaluando ambos grupos a los 70 días después de la siembra mediante la medición de las variables; largo de hoja (LH), ancho de hoja (AH), número de hojas (NH), altura de planta (ALP), índice de área foliar (IAF) y diámetro total (DT), parámetro clave para estimar el desarrollo vegetativo y su relación con el rendimiento. La metodología consistió en el establecimiento paralelo de ambas líneas bajo condiciones de campo y análisis estadístico. El resultado mostró diferencias significativas para las variables (LH), (AH), (NH), (ALP), (IAF), excepto (DT). Mediante contrastes ortogonales se evidenció que el genotipo P₂(CML-529) propagado por embrión inmaduro muestra un desarrollo vegetativo y eficiencia fisiológica significativamente superiores en índice de área foliar a la tradicional, lo que sugiere un posible impacto positivo en el rendimiento y la calidad del grano, posiblemente en el contenido de aceite. En conclusión, la propagación mediante embriogénesis cigótica representa una estrategia prometedora para proyectar y mejorar el rendimiento y calidad del maíz para algunos genotipos, validando la importancia de explorar métodos innovadores en la producción agrícola.

Palabras clave: Métodos de propagación, cultivo *in vitro*, crecimiento temprano, innovación en maíz.

Abstract:

Maize is a fundamental crop for food security and the agricultural industry, so optimizing its yield and quality is a priority. This study is justified by the need to evaluate whether alternative propagation methods for the same lines— P_1 (E60-10), P_2 (CML529), and F_{1-1} (E60-10*CML-529)—can offer advantages over traditional seed propagation. The objective was to compare early growth and project the potential yield and quality between two maize lines propagated by different methods: one by traditional seed sowing and the other from *in vitro* regenerated seedlings. The experiment was conducted at the Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, at coordinates 20°23'54.13"N, -101°13'21.49"W, during the spring-summer season, evaluating both groups 70 days after sowing by measuring the following variables: leaf length (LH), leaf width (AH), number of leaves (NH), plant height (ALP), leaf area index (LAI), and stem diameter (SD), a key parameter for estimating vegetative development and its relationship to yield. The methodology consisted of parallel establishment of both lines under field conditions and statistical analysis. The results showed significant differences for the variables LH, AH, NH, ALP, and LAI, except for stem diameter (SD). Orthogonal contrasts revealed that the P_2 (CML-529) genotype propagated by immature embryo exhibited significantly superior vegetative development and physiological efficiency in terms of leaf area index compared to the traditional method, suggesting a possible positive impact on yield and grain quality, potentially including oil content. In conclusion, propagation through zygotic embryogenesis represents a promising strategy for enhancing and improving maize yield and quality in certain genotypes, validating the importance of exploring innovative methods in modern agricultural production.

Keywords: Propagation methods, *in vitro* culture, early growth, maize innovation.

INTRODUCCIÓN

Maíz es uno de los cultivos más relevantes a nivel mundial por su contribución a la seguridad alimentaria y la industria agrícola, lo que ha impulsado la búsqueda de estrategias para mejorar su rendimiento y calidad (Gao et al., 2020; Laghari et al., 2024; Yan et al., 2022; Ocwa et al., 2024). Diversos estudios han demostrado que la aplicación de prácticas innovadoras, como el uso de biotecnología y métodos alternativos de propagación, puede incrementar la productividad y modificar parámetros de calidad en el grano (Gao et al., 2020; Yan et al., 2022). Sin embargo, la mayoría de la producción comercial aún depende de la propagación tradicional por semilla, lo que limita la exploración de alternativas como la regeneración *in vitro* de plántulas a partir de embriones inmaduros. El objetivo de esta investigación es comparar el crecimiento temprano y proyectar el potencial de rendimiento y calidad entre líneas de maíz propagadas por métodos convencionales e *in vitro*, utilizando el índice de área foliar como parámetro clave (Laghari et al., 2024; Qi et al., 2020).

El alcance del estudio se centra en la evaluación de diferencias atribuibles al método de propagación en condiciones de campo, mientras que las limitaciones incluyen la extrapolación de resultados preliminares a etapas avanzadas del cultivo y la influencia de factores ambientales no controlados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en 2024 en la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato (UTSOE), ubicada en 20°23'54.13"N, -101°13'21.49"W, durante el ciclo primavera-verano, bajo temperaturas promedio máximas y mínimas de 29.3 y 10.8 °C, y una precipitación acumulada de 97.4 mm. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones por población; cada unidad experimental consistió en cuatro surcos de 0.75 m de ancho y 5 m de longitud, con 0.20 m entre plantas, logrando una densidad de 66,600 plantas ha⁻¹. El material experimental incluyó dos grupos de tres poblaciones derivadas del cruzamiento entre E60-10 (P₁) y CML-529 (P₂): uno propagado por semilla y otra a partir de semillas regeneradas *in vitro*, (Ramírez-Díaz et al., 2019). El cultivo *in vitro* se realizó en medio Murashige y Skoog (1962) al 100 %, pH 5.6 ± 0.01, con 3 % de sacarosa, 0.6 % de agar, 0.1 mg L⁻¹ de AIA y 0.5 mg L⁻¹ de BAP, incubando los embriones a 28 ± 2 °C bajo 16 h luz/8 h oscuridad, siguiendo protocolos de desinfección y extracción según (Chablé et al., 2017). Las plántulas *in vitro* se aclimataron en invernadero en Peat Moss, trasplantadas al alcanzar 7 cm de altura y 4 cm de raíz. El manejo agronómico incluyó riego por goteo cada tercer día y fertilización 240-40-00, aplicando la mitad del nitrógeno y todo el fósforo en la siembra, y el resto del nitrógeno en anthesis (Chablé et al., 2017).

Mediante un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones según se tomaron las muestras (Tinoco et al., 2022). Las variables evaluadas fueron, altura de planta (ALP, cm), número total de hojas (NH), largo y ancho de hoja (LH, AH, cm), para calcular el índice de área foliar (IAF, cm²), Los datos se analizarán mediante un análisis de varianza, con contrastes ortogonales para comparar cada genotipo de acuerdo con su origen (semilla vs. semilla proveniente de embriones inmaduros). Los análisis se realizaron con el software InFostat versión 2008.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 1), mostro diferencias significativas ($p < 0.05$ y $p < 0.01$) para las variables LH, AH, NH, ALP y IAF, excepto en diámetro del tallo (DT), donde es significativo al 5% ($p < 0.05$). Esto indica que la variación en las características de crecimiento se debe principalmente al tipo de planta (semilla convencional vs semilla proveniente de embrión inmaduro).

Cuadro 1. Análisis de varianza para las variables evaluadas en seis poblaciones de maíz provenientes de semillas y de embriones inmaduros. Primavera-verano 2025. Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato en Valle de Santiago Gto.

Table 1. Analysis of variance for the variables evaluated in six maize populations derived from seeds and immature embryos. Spring-Summer 2025. Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Valle de Santiago, Gto.

| Fuentes de variación | GL | LH | AH | NH | ALP | DT | IAF |
|----------------------|----|---------|--------|--------|----------|-------|--------------|
| Repetición | 4 | 70.13 | 0.35 | 0.55 | 158 | 30.7 | 508617.5 |
| Genotipo | 5 | 760.9** | 14.8** | 17.2** | 1130.4** | 90.2* | 17143416.6** |
| Error | 20 | 59.5 | 0.55 | 0.89 | 358.2 | 10.8 | 905500.3 |
| CV (%) | | 9.7 | 10.6 | 11.7 | 15.9 | 25.6 | 25.7 |

Los * y ** es significativo para ($p < 0.05$ y 0.01), respectivamente; GL, grados de libertad; LH, largo de hoja; AH, ancho de hoja; NH, numero de hojas; ALP, altura de planta; DT, diámetro total; IAF, índice a área foliar; CV, coeficiente de variación.

Los contrastes realizados (Cuadro 2) entre medios de propagación (semilla vs embrión inmaduro) evidenciaron una interacción genotipo por método de propagación, mostrando respuestas diferenciadas en las variables morfofisiológicas evaluadas. El genotipo P₂ (CML-529) mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en todas las variables analizadas. Particularmente, el índice de área foliar (IAF, cm²) presentó una diferencia absoluta de 4.5 unidades, con una suma de cuadrados de 5227. Esta diferencia representa una mejora del 45.5% en IAF al emplear embriones inmaduros en lugar de semillas, considerando que el valor promedio bajo propagación por semilla fue aproximadamente 9.9. Asimismo, se observaron incrementos notables en el área foliar (AL) y el número de hojas (NH),

lo que indica un desarrollo vegetativo significativamente superior cuando P₂ es propagado vía embrión inmaduro. Esto sugiere una mayor eficiencia fisiológica de este método para dicho genotipo, posiblemente relacionada con una mayor homogeneidad celular o una expresión diferencial de genes relacionados con el crecimiento temprano.

Cuadro 2. Contrastes ortogonales para seis genotipos de maíz comparados con base en su origen (semilla vs embriones inmaduros). Primavera-verano 2025. Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato en Valle de Santiago Gto.

Table 2. Orthogonal contrasts for six maize genotypes compared based on their origin (seed vs. immature embryos). Spring-Summer 2025. Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, Valle de Santiago, Gto.

| Semilla | VS | Embrión | LH | | AH | | NH | | AL | | DT | | IAF (m ²) | |
|------------------|----|------------------|------------|----------|------------|--------|------------|--------|------------|---------|------------|------|-----------------------|--------|
| | | | Diferencia | SC | Diferencia | SC | Diferencia | SC | Diferencia | SC | Diferencia | SC | Diferencia | SC |
| P ₁ | | P ₁ | -12.8 | 409.6 | -0.7 | 1.2 | -0.6 | 0.9 | -10.4 | 270.4 | -0.8 | 1.7 | -0.99 | 245.8 |
| P ₂ | | P ₂ | -28.7 | 2059.2** | -4.5 | 51.1** | -4.6 | 52.9** | -85.4 | 18233** | -10.3 | 266* | -4.5 | 5227** |
| F ₁₋₁ | | F ₁₋₁ | 2.6 | 16.9 | -0.2 | 0.001 | -0.4 | 0.4 | 1.6 | 6.4 | -0.2 | 0.11 | -0.04 | 3.89 |

Los * y ** es significativo con p< 0.05 y 0.01, respectivamente; GL, grados de libertad; LH, largo de hoja; AH, ancho de hoja; NH, número de hojas; ALP, altura de planta; DT, diámetro total; IAF, índice a área foliar.

En contraste, el genotipo P₁ (E60-10) no mostró diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables evaluadas entre ambos métodos de propagación, a pesar de que todos los valores tendieron a ser ligeramente mayores bajo embrión inmaduro. Por ejemplo, el IAF fue 0.99 unidades mayor, lo que representa un aumento del 12.6%, aunque no significativo. Esta estabilidad sugiere que P₁ presenta una plasticidad fenotípica baja frente al medio de propagación, lo que podría atribuirse a mecanismos genéticos más conservadores en su desarrollo temprano.

El híbrido F_{1-1} (E60-10*CML-529) tampoco presentó diferencias significativas, con variaciones mínimas en todas las variables. En el caso del IAF, la diferencia fue de apenas 0.04 unidades (0.5%), lo que indica una alta estabilidad fisiológica y desarrollo consistente sin importar el tipo de medio de propagación. Este comportamiento es deseable en genotipos híbridos destinados a programas de propagación masiva o cultivo comercial, donde la uniformidad del desempeño es clave.

En conjunto, estos resultados destacan que la respuesta al medio de propagación es dependiente del genotipo, y que el uso de embriones inmaduros puede ser particularmente ventajoso para genotipos con alta plasticidad fenotípica, es decir, sus características (como altura, área foliar, vigor) se ven afectadas positiva o negativamente por el medio como P_2 . Este enfoque puede mejorar el rendimiento y la uniformidad del desarrollo en etapas tempranas, lo que resulta relevante para programas de mejoramiento, micropropagación y producción de plantas élite.

CONCLUSIÓN

En el contexto de GENMAIZ 2.0, la propagación in vitro mediante embriogénesis cigótica ha demostrado incrementar significativamente el diámetro del tallo, la altura de planta y el índice de área foliar (IAF), favoreciendo un mayor crecimiento temprano y una mayor superficie fotosintética, lo que se traduce en una mayor captación de luz, producción de biomasa y potencial de rendimiento y calidad en el maíz. Estos beneficios son especialmente notables en el genotipo CML-529 (P_2), que mostró mejoras significativas en el desarrollo vegetativo al ser propagado por embriones inmaduros, sugiriendo una mayor eficiencia fisiológica y uniformidad, posiblemente por una homogeneidad celular superior o una expresión génica diferencial en etapas tempranas. En contraste, otros genotipos como P_1 y el híbrido F_{1-1} presentaron alta estabilidad y uniformidad sin diferencias significativas entre métodos de propagación, lo que es deseable para cultivos comerciales. Además, medir variables como número de hojas, tamaño de planta, ancho y largo de la hoja a los 70 días después de la siembra permite evaluar el desarrollo en una etapa clave, cercana a la transición reproductiva, facilitando la predicción del rendimiento final y la selección temprana de genotipos superiores.

En conjunto, estos hallazgos resaltan la importancia de adaptar el método de propagación y el monitoreo de variables morfológicas según el genotipo, optimizando así el rendimiento, la calidad y la eficiencia en programas de mejoramiento y producción de maíz élite.

LITERATURA CITADA

- Chablé-Moreno, F., Huerta-Santoyo, D., Raya-Pérez, J. C., Ramírez-Pimentel, J. G., Aguirre-Mancilla, C. L., Estrada-Luna, A. A., & Covarrubias-Prieto, J. (2017). Cultivo in vitro de embriones inmaduros de cruza interpoblacionales de maíz S2 con el empleo de BAP y AIA. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 1–11. Recuperado de <http://somecta.org.mx>
- Gao, C., El-Sawah, A., Ali, D., Hamoud, Y., Shaghaleh, H., & Sheteiwy, M. (2020). The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 10(3), 319. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030319>
- Laghari, A., Buriro, M., Laghari, G., & Talpur, K. (2024). Impact of different NPK levels and sowing methods on maize growth, yield, and quality characteristics. *Pakistan Journal of Biotechnology*, 21(1), 824. <https://doi.org/10.34016/pjbt.2024.21.01.824>
- Ocwa, A., Mohammed, S., Mousavi, S., Illés, Á., Bojtor, C., Ragán, P., Rátonyi, T., & Harsányi, E. (2024). Maize grain yield and quality improvement through biostimulant application: A systematic review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01687-z>
- Qi, D., Hu, T., & Song, X. (2020). Effects of nitrogen application rates and irrigation regimes on grain yield and water use efficiency of maize under alternate partial root-zone irrigation. *Journal of Integrative Agriculture*. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(20\)63205-1](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(20)63205-1)
- Ramirez Diaz, J. L., Vidal Martinez, V. A., Alemán de la Torre, I., Ledesma Miramontes, A., Gómez Montiel, N. O., Salinas Moreno, Y., Bautista Ramirez, E., Tapia Vargas, L. M., & Ruiz Corral, A. (2019). Selección de líneas y cruza de maíz combinando las pruebas de mestizos y cruza dialélicas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 335–346.
- Tinoco Alfaro, C. A., Ramírez Fonseca, A., Villarreal Farías, E., & Ruiz Corral, A. (2008). Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 271–278.
- Yan, D., Najjoma, D., Talwana, H., Mudingotto, J., Kagoda, F., Basena, E., & Ocwa, A. (2022). Effect of planting time and treated sawdust in controlling termites in maize. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4012345>