

# EFICIENCIA DE NITRÓGENO EN PLÁNTULAS DE MAÍZ

## NITROGEN EFFICIENCY IN MAIZE SEEDLINGS

Erika Yenisey Mora-García<sup>1</sup>, Jenaro Reyes-Matamoros<sup>2</sup>, David Martínez-Moreno<sup>1</sup> y María Guadalupe Tenorio-Arvide<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Biológicas, Boulevard Valsequillo y Av. San Claudio Edificio 112-A, Col. San Manuel, C. U., 72570, Puebla, Pue., México

<sup>2</sup> Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, 14 Sur 6301, Col. San Manuel, C. U., 72570, Puebla, Pue., México  
Correo electrónico: jenaro.reyes@correo.buap.mx

### Resumen

El objetivo de este estudio es evaluar la respuesta morfológica en plántulas de diferentes genotipos de maíz (*Zea mays* L.) cultivados en condiciones contrastantes de nitrógeno. Como material vegetal, se estudiaron cuatro cultivares de maíz sembrado en el estado de Puebla: variedad SB 302 Berentsen, criollo azul (Hueytamalco) y criollos blanco y azul (Tepexi de Rodríguez) por medio de ensayos de 42 días de crecimiento de las plantas aplicando la técnica de raíz flotante. Los experimentos tuvieron dos factores con un diseño completamente aleatorio. Las plantas se cultivaron en condiciones controladas usando la solución nutritiva modificada al 20 y 100% de nitrógeno. Los resultados indican que las plántulas de maíz revelaron un nivel significativo de variación fenotípica en su arquitectura. El criollo azul (Tepexi de Rodríguez) presentó los mejores resultados tanto al 20 como al 100% de nitrógeno.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., uso eficiente de nitrógeno, arquitectura de la raíz, variedades nativas

## Abstract

The aim of this paper is to evaluate the morphological response in seedlings of different genotypes of maize (*Zea mays* L.) grown under contrasting nitrogen conditions. As a plant material, four maize cultivars grown in the Mexican State of Puebla were studied: variety SB 302 Berentsen, blue landrace (Hueytamalco), and white and blue landraces (Tepexi de Rodríguez) assessed by 42- day trials of plant growth using a floating root technique. The two-factor experiments were a completely randomized design. The plants were grown under controlled conditions using the modified nutrient solution at 20 and 100% nitrogen. The results show that the maize seedlings revealed a significant level of phenotypic variation in their architecture. The blue landrace (Tepexi de Rodríguez) showed the best results both at 20 and 100% nitrogen.

**Key words:** *Zea mays* L., efficient use of nitrogen, root architecture, native varieties

## Introducción

El sistema radicular del maíz, al igual que en otras plantas, es un órgano fundamental cuya función principal es anclar a la planta y desempeña un papel indispensable en la captación de agua y nutrientes del suelo, además de ser el sitio de interacción con factores bióticos y abióticos que con frecuencia determinan la productividad del cultivo.

La arquitectura del sistema radicular del maíz (*Zea mays* L.) es muy versátil. Esta planta presenta

cinco tipos de raíces: a) primaria, b) escutelares seminales, c) laterales, d) de corona y e) aéreas. Debido a la complejidad del sistema radicular de esta especie, su ciclo de vida e importancia para la agricultura, se vislumbra que con las especies mutantes identificadas se pueda profundizar en los programas morfogenéticos que determinen la eficiencia de captación de agua y nutrientes, que son aspectos directamente relacionados con la arquitectura del sistema radicular (Liedgens *et*

*al.*, 2000; López-Busio *et al.*, 2003; Hochholdinger *et al.*, 2004; Espinoza-Velázquez *et al.*, 2012).

El desarrollo del sistema radicular del maíz puede ser embrionario y post-embrionario. El primer sistema consiste en una raíz primaria y un número variable de raíces seminales que emergen a partir de la semilla. Las raíces seminales son una parte importante para la captación inicial de agua y nutrientes y para el establecimiento de la plántula en el suelo. El segundo sistema está formado por raíces de corona o nodales (RC) y raíces aéreas (RA) que surgen tardíamente en los nodos del tallo (Hochholdinger y Feix, 1998). La raíz primaria y las raíces seminales se forman endógenamente, es decir, dentro del embrión. El número de raíces seminales por semilla varía entre tres y siete. La raíz primaria y las raíces seminales pueden ser persistentes durante todo el ciclo de vida del maíz (Hochholdinger *et al.*, 2004).

Las raíces laterales (RL) emergen de los diferentes tipos de raíces (Hochholdinger *et al.*, 2004). Las raíces seminales y las

raíces de corona forman la estructura de anclaje de la raíz, mientras que las raíces laterales aumentan el área de absorción en el suelo (Grzesiak, 2009). La raíz primaria aparece después de la germinación y se hace visible cuando rompe la coleorriza (CO), mientras que las RS emergen del nodo escutelar (NE). Por otra parte, el desarrollo del sistema radicular post-embrionario se divide en dos etapas: temprano y tardío. El primero se caracteriza por dos tipos de raíces: las raíces laterales que emergen de la raíz principal y las raíces escutelares seminales que se forman entre los seis a siete días de edad de la plántula. Las raíces de corona aparecen en el primer nodo del coleóptilo (NC) entre los siete a catorce días (Hochholdinger *et al.*, 2004). El desarrollo post-embrionario tardío se caracteriza por el crecimiento de las raíces de corona (RC) o nodales y raíces aéreas (RA), que surgen tardíamente en los nodos del tallo (Hochholdinger y Feix, 1998) y son importantes para el soporte foliar. La transición temprana a tardía del desarrollo post-embrionario de la

raíz empieza tres a cuatro semanas después de la germinación con la formación de verticilos, después un conjunto de raíces emerge del tallo a un mismo nivel formando las raíces de corona en el segundo nodo. Las raíces aéreas pueden formar a su vez más raíces laterales, después que han penetrado en el suelo y proveen un soporte adicional y una mayor capacidad para la absorción de agua y nutrientes (Feldman, 1994; citado por Martínez de la Cruz *et al.*, 2011). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta morfológica en plántulas de diferentes genotipos de maíz cultivados en condiciones contrastantes de nitrógeno.

## Material y Métodos

Se estudiaron cuatro cultivares de maíz sembrados en el Estado de Puebla: la variedad Sb 302 Berentsen; el criollo azul de San Ángel Cuauxicota, Hueytamalco; y los criollos blanco y azul de Lomas de San Francisco, Tepexi de Rodríguez. Las plántulas se cultivaron durante 42 días usando el método de sistema de raíz flotante. El experimento fue de dos

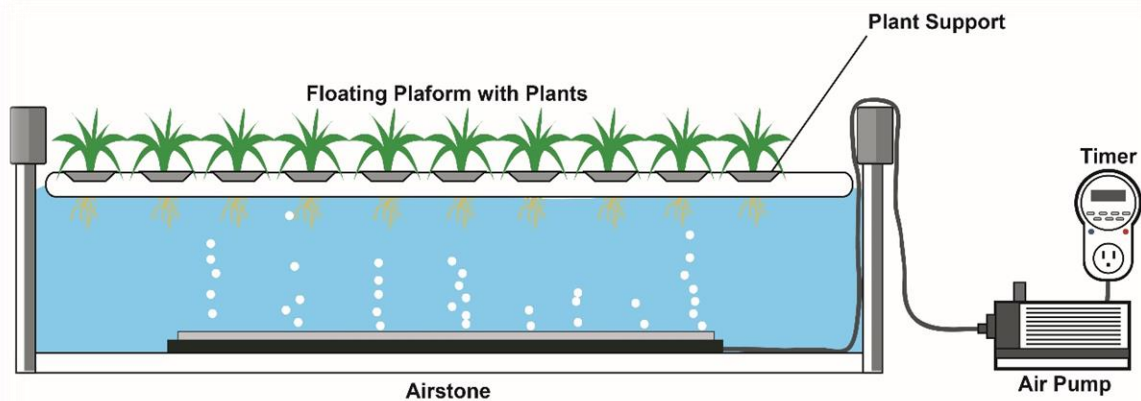
factores con un diseño completamente aleatorio. Los cultivares de maíz se estudiaron en concentraciones de 20 y 100% de nitrógeno de una solución nutritiva modificada de Hoagland y Arnon (1950).

El ensayo se realizó en dos etapas; en la primera, las semillas fueron cultivadas en solución nutritiva durante 22 días usando el método de rollo de papel descrito por Woll *et al.*, (2005). Para el estudio de cada dosis de N se elaboraron tres repeticiones por cultivar, en las cuales se colocaron cuatro semillas de maíz en cada uno.

En la segunda etapa, se realizó el trasplante a los 22 días usando el sistema de raíz flotante sobre tinas de plástico rectangulares de 50.0 × 63.0 cm con capacidad de 50 litros. Para el soporte de las plántulas se utilizaron plataformas de espuma de poliestireno. A las plataformas se les hicieron orificios de 1 pulgada de diámetro; posteriormente, se colocaron vasos de plástico de 1 onza con un orificio sobre la base, donde se fijaron las plántulas de maíz

enrolladas en tiras de esponja de 4.5 × 14.0 cm, las cuales sirvieron de sostén para las plantas. La

plataforma que sostiene las plantas flota directamente sobre la solución nutritiva (Figura 1).



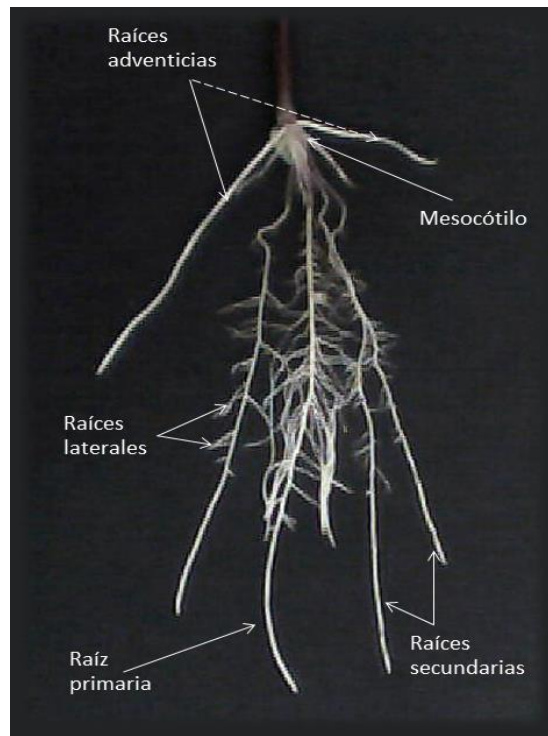
**Figura 1. Sistema de raíz flotante**

El esquema de plantación en las plataformas fue de 6 × 4 plántulas con una densidad de población de 48 plantas/m<sup>2</sup>. Para la oxigenación de las raíces se instalaron dos bombas de aire con un temporizador para programar el tiempo de aeración. Las bombas proporcionaron aire al difusor, el cual permitió que las burbujas originadas en la solución nutritiva suministraran oxígeno a las raíces de las plantas. El temporizador se programó para que el encendido ocurriera por un período de 15 minutos cada 3 horas. Una vez transcurridos los 42 días de cultivo, se eligieron seis plantas completamente sanas al azar por cada uno de los cultivares y por

cada uno de los tratamientos de nitrógeno.

Las plántulas fueron evaluadas a los 42 días de germinación. Los parámetros evaluados fueron la longitud del mesocótilo (LM), la longitud de la raíz primaria (LRPr), el número de raíces secundarias (NRS), la longitud de las raíces secundarias (LRS), el número de raíces adventicias (NRA), la longitud de las raíces adventicias (LRA), la longitud de la plántula (LPI), el peso seco de la raíz (PSR) y el peso seco de la plántula (PSPI). Las variables LM, LRPr, LTRS, LTRA y LPI se midieron manualmente usando una regla (Figura 2). Particularmente, la variable LPI se midió tomando el nodo marcado

por las raíces adventicias hasta la hoja más larga de la plántula.



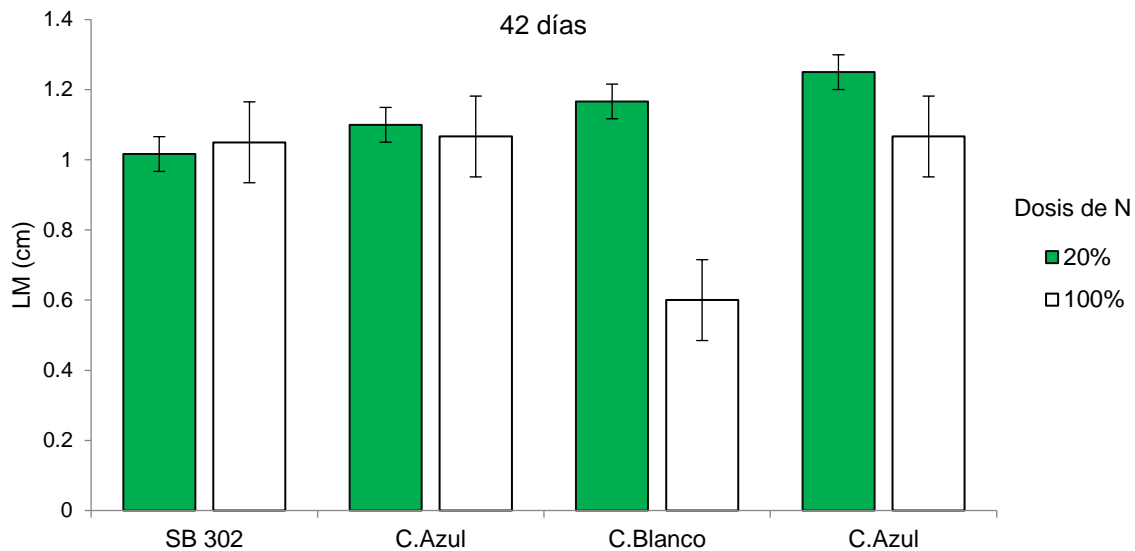
**Figura 2. Partes de la raíz visible en plántulas de 14 días (Reyes *et al.*, 2016)**

Las variables PSR y PSPI se midieron con una báscula de precisión después de que las muestras permanecieron 24 horas a 70 °C en la estufa de secado. Una vez obtenidos los datos, se realizó el análisis de varianza con el uso del paquete estadístico de

Excel a niveles de confianza ( $p \leq 0.05$ ).

## Resultados y Discusión

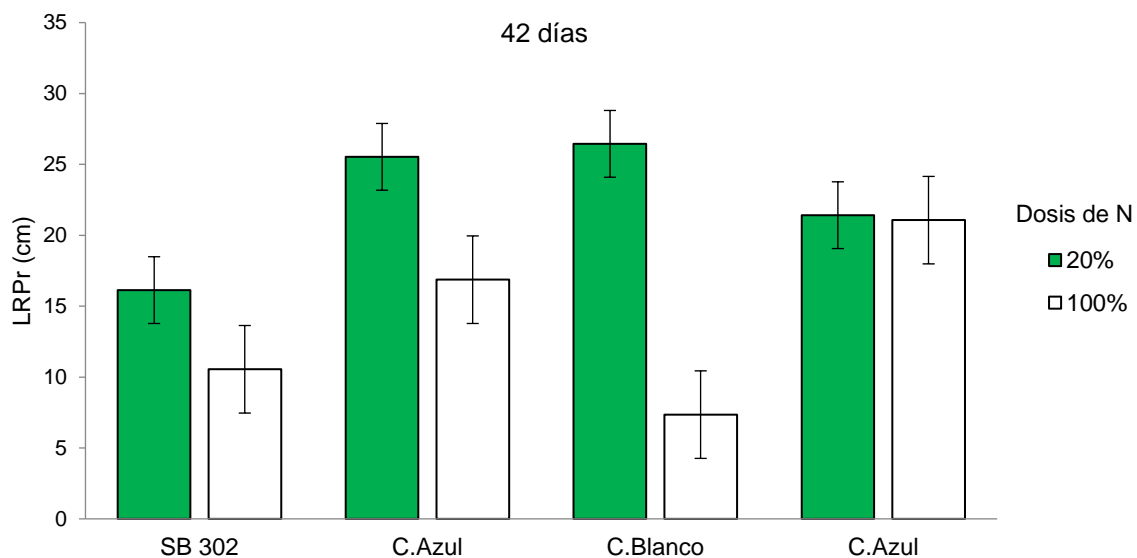
Las Figuras 3 a 12 muestran la respuesta morfológica de los cultivares de maíz en plántulas de 42 días de crecimiento aplicando la técnica de raíz flotante.



**Figura 3. Longitud del mesocótilo (cm)**

En la Figura 3 se observa que entre las plántulas de maíz no se presentan diferencias para los factores en estudio. El criollo azul (Tepexi de Rodríguez) mostró los valores más altos para este

parámetro, tanto al 20% como al 100% de N. Por el contrario, el cultivar SB 302 Berentsen al 20% de N y el criollo blanco (Tepexi de Rodríguez) al 100% de N registraron los valores más bajos.



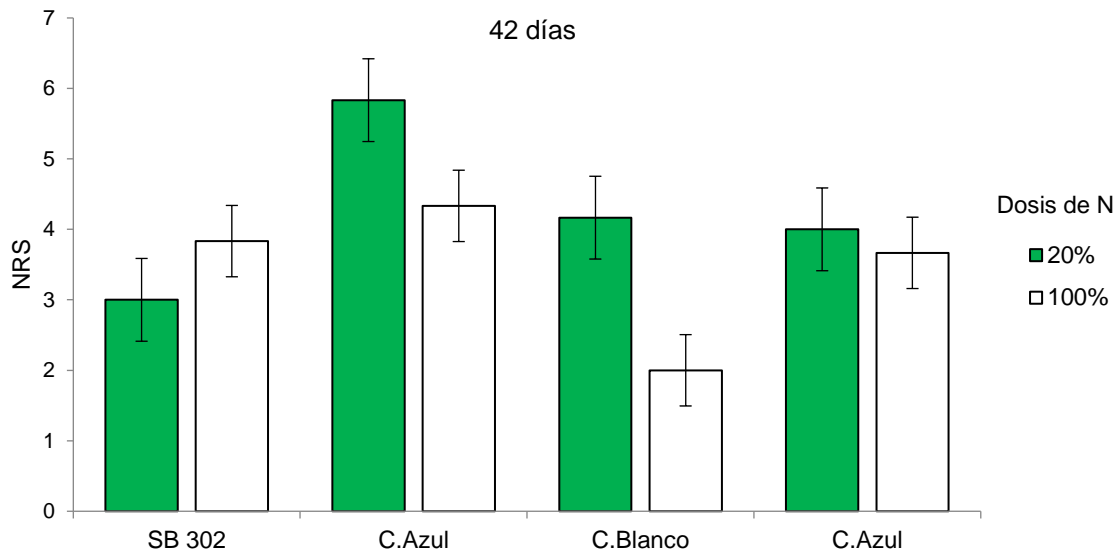
**Figura 4. Longitud de la raíz primaria (cm)**

En la Figura 4 se muestra que no hubo diferencias entre los valores de las plántulas. No obstante, el criollo blanco (Tepexi

de Rodríguez) al 20% de N y el criollo azul (Tepexi de Rodríguez) al 100% de N presentaron los mejores valores. Cabe mencionar

que el valor de los cultivares al 20% de N están por encima de los resultados de las plantas bajo la

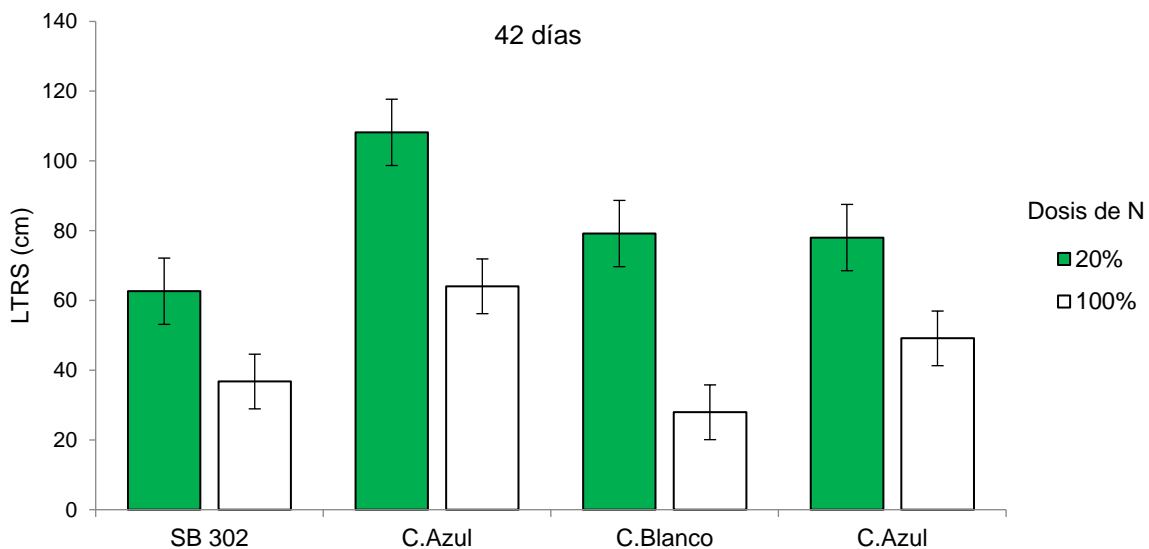
aplicación de 100% de N, con excepción del criollo azul (Tepexi de Rodríguez).



**Figura 5. Número de raíces secundarias (cm)**

La Figura 5 indica que entre las plantas no hubo diferencias para ninguno de los factores estudiados. Sin embargo, el criollo azul (Hueytamalco) al 20 y 100%

registró los mejores resultados. Se observa que las plantas cultivadas al 20% de N sobresalen a las cultivadas al 100%, con excepción del cultivar SB 302 Berentsen.



**Figura 6. Longitud total de las raíces secundarias (cm)**

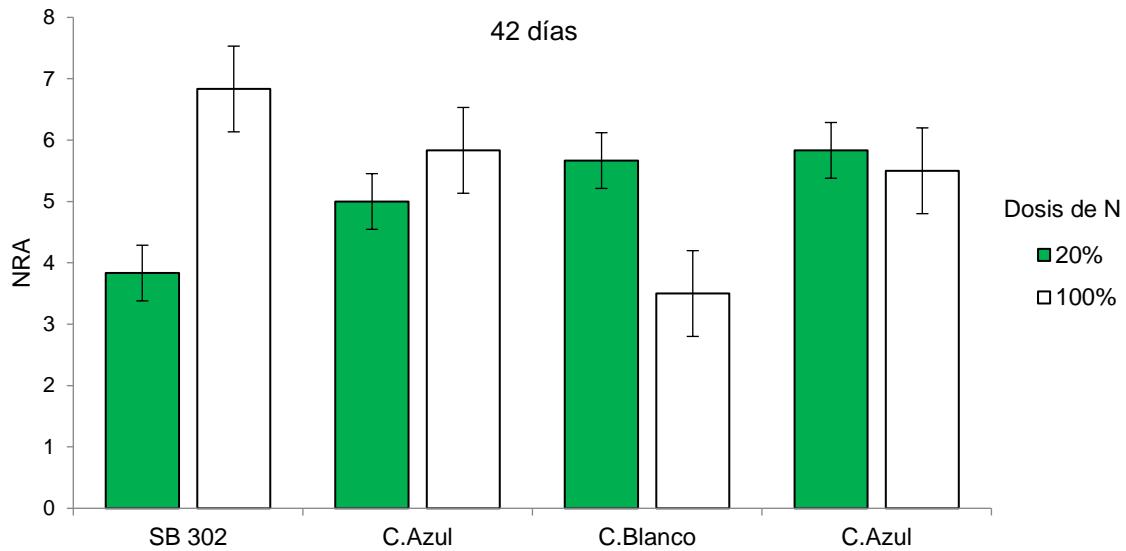
En la Figura 6 se muestra que existen diferencias

significativas entre los valores de la longitud total de las raíces



secundarias para el factor dosis ( $p = 0.008$ ). Se observa que los datos registrados para las plántulas desarrolladas al 20% están por encima de los valores de las

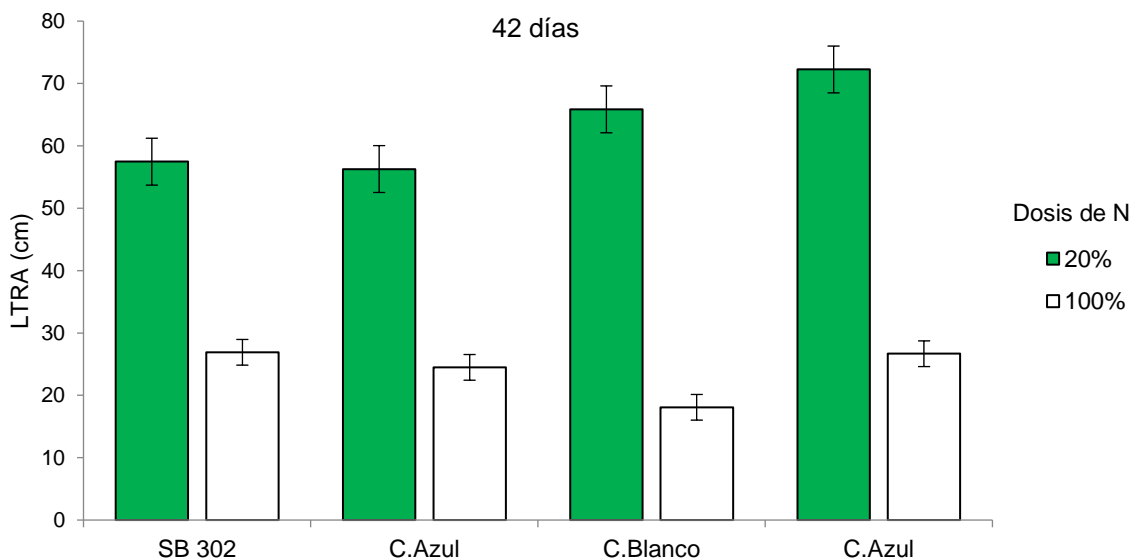
plántulas cultivadas al 100% de N. El criollo azul (Hueytamalco) al 20 y 100% de N presentó los mayores valores.



**Figura 7. Número de raíces adventicias**

En la Figura 7 se observa que entre los valores de número de raíces adventicias de las plantas no existen diferencias. Pese a ello, el criollo azul (Tepexi de Rodríguez)

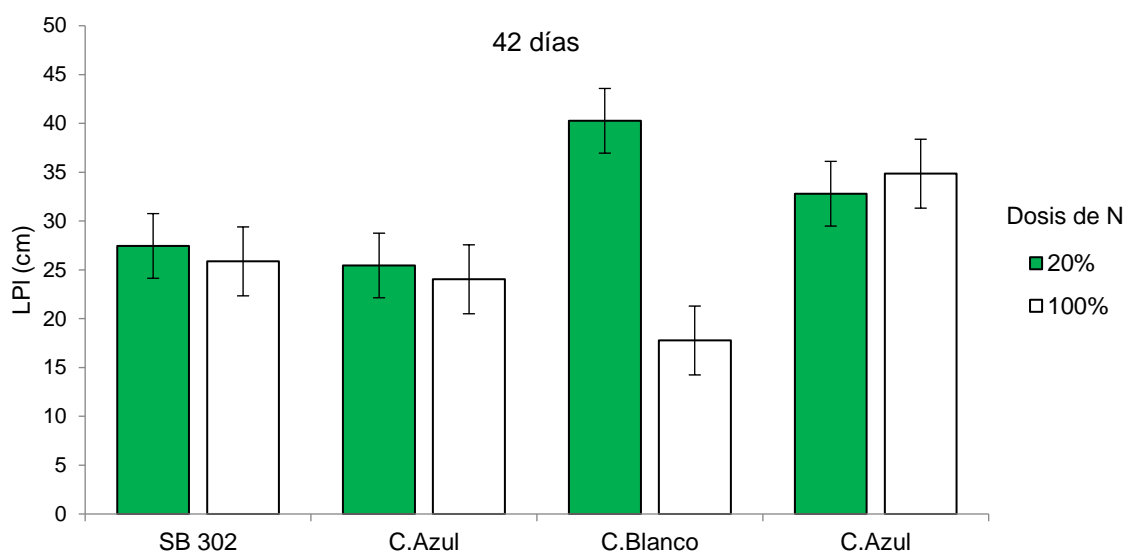
tuvo los mejores valores al 20% de N, mientras que el cultivar SB 302 Berentsen presentó los mejores valores al 100% de N.



**Figura 8. Longitud total de las raíces adventicias (cm)**

La Figura 8 señala que entre los valores de la longitud total de las raíces adventicias hay diferencias significativas entre las plantas sólo en el factor dosis de N ( $p = 0.003$ ). No obstante, el criollo azul (Tepexi de Rodríguez) al 20%

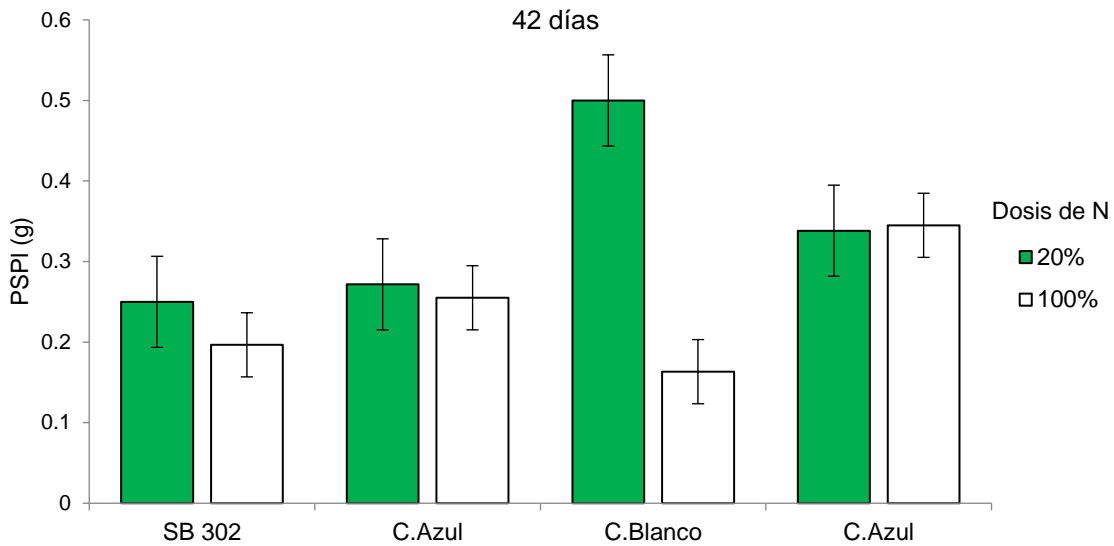
de N y la variedad SB 302 Berentsen al 100% de N tuvieron los mejores valores. Asimismo, el criollo azul (Hueytamalco) al 20% de N y el criollo blanco (Tepexi de Rodríguez) al 100% de N obtuvieron los menores valores.



**Figura 9. Longitud de la plántula (cm)**

En la Figura 9 se muestra que entre los valores de la longitud de las plántulas no hay diferencias para los factores estudiados. El criollo blanco (Tepexi de Rodríguez) al 20% de N presentó

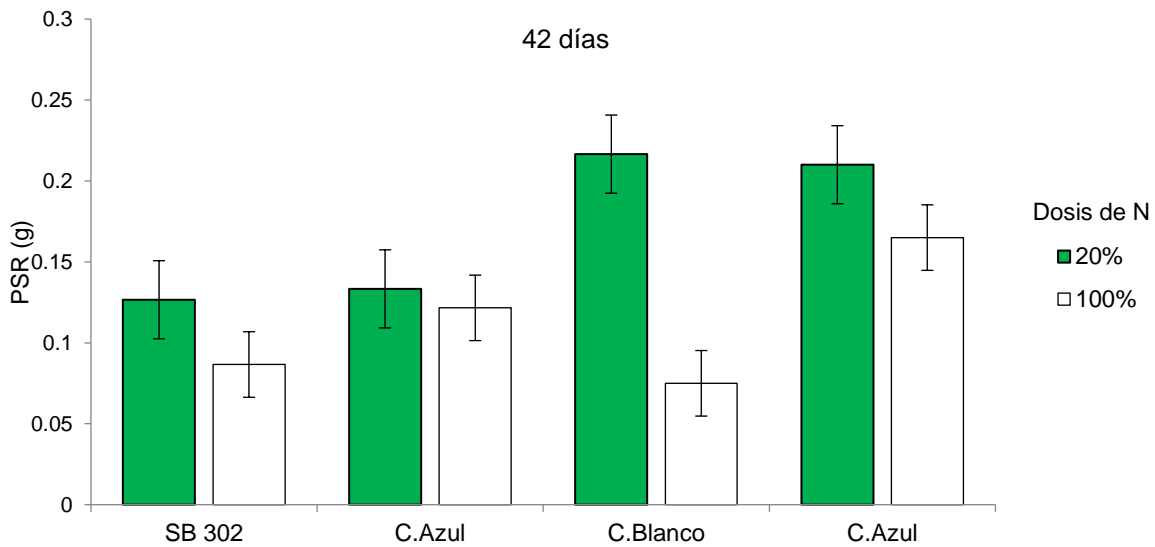
los mejores valores, pero también presentó los menores valores al 100% de N. El criollo azul (Tepexi de Rodríguez) al 100% de N registró los datos más altos.



**Figura 10. Peso seco de la plántula (g)**

En la Figura 10 se advierte que los valores del peso seco de las plantas no difieren significativamente. Esto representa que los cultivares de maíz bajo la influencia de 20 y 100% de N tuvieron medidas

similares. Asimismo, se observa que el criollo azul (Tepexi de Rodríguez) al 20 y 100% de N registró los datos más altos. Por otro lado, el cultivar SB 302 Berentsen al 20 y 100% de N presentó el menor valor.



**Figura 11. Peso seco de la raíz (g)**

En la Figura 11 se muestra que las plántulas no presentan diferencias para los dos factores

evaluados. Cabe señalar que el criollo blanco (Tepexi de Rodríguez) al 20% y el criollo azul

(Tepexi de Rodríguez) al 100% de N obtuvieron los mejores resultados. Por el contrario, el cultivar SB 302 Berentsen al 20% de N y el criollo blanco (Tepexi de Rodríguez) al 100% de N mostraron los datos más bajos.

Por último, en la Figura 12 se observa el sistema radicular de los cultivares de maíz a los 42 días de crecimiento en función de la dosis de nitrógeno aplicado.



**Figura 12. Raíces de plántulas de maíz. En cada imagen, del lado izquierdo se muestran las plántulas cultivadas al 20% de N y del lado derecho las plántulas al 100% de N. Las plántulas a los 42 días de crecimiento: A) Sb 302, B) Criollo azul (Hueytamalco), C) Criollo blanco (Tepexi de Rodríguez), D) Criollo azul (Tepexi de Rodríguez)**

Linkohr *et al.* (2002) determinaron que la morfología de una raíz vigorosa y un sistema radicular bien distribuido son de gran importancia para la adquisición de nutrientes móviles como  $\text{NO}_3^-$ , así como nutrientes inmóviles como P y K. Esto se debe a que el sistema de la raíz está expuesto a más volumen de suelos

y, en consecuencia, aumenta la absorción de nutrientes. Las plántulas de maíz cultivadas a los 42 días bajo la influencia de 20 y 100% de nitrógeno revelaron un nivel significativo de variación fenotípica en su arquitectura (Camacho, 2016). El criollo azul (Tepexi de Rodríguez) registró los

mejores resultados con ambas dosis de N.

El criollo azul (Tepexi de Rodríguez) al 20% de N a los 42 días mostró los mejores valores en los parámetros de longitud del mesocótilo, número de raíces adventicias, longitud total de las raíces adventicias y peso seco de la plántula, mientras que al 100% de N los mejores valores se presentaron en los parámetros de longitud de la raíz primaria, longitud del mesocótilo, longitud de la plántula, peso seco de la plántula y peso seco de la raíz.

En el ensayo se observó que la respuesta de los cultivares para la longitud de la plántula fue mayor al 100% de N comparado con la dosis de 20% de N en el método de raíz flotante. Estos resultados concuerdan con los reportados por Abdel *et al.* (2013), donde dicho parámetro respondió mejor en altas dosis de N.

Sen *et al.* (2012) mencionan que la identificación de genotipos con sistema radicular eficiente y mejorado en el uso eficiente de nitrógeno es un factor para el desarrollo de híbridos adecuados, lo cual permitirá reducir la pérdida

de rendimiento del maíz, a la vez que tendrá un efecto positivo sobre el medio ambiente mediante la reducción de la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados. Este planteamiento resulta importante debido a que si se conocen tanto las cantidades adecuadas en las que se debe fertilizar un cultivo como los genotipos más viables y eficientes a fertilizantes nitrogenados, la aplicación excesiva y el impacto desfavorable para el medio ambiente se reducirían significativamente.

## Conclusiones

En relación con el factor dosis de nitrógeno a los 42 días, se muestran diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) en la longitud total de las raíces secundarias, donde el criollo azul (Hueytamalco) presentó la mejor respuesta y el criollo azul (Tepexi de Rodríguez) la presentó para la longitud total de las raíces adventicias.

Con respecto al factor cultivar a los 42 días no se presentaron diferencias significativas; no obstante, se observa que el criollo azul (Tepexi de Rodríguez) registró la mejor

respuesta para la longitud del mesocótilo, el peso seco de la planta al 20 y 100% de nitrógeno, el número de raíces adventicias, la longitud total de las raíces

adventicias al 20% de nitrógeno, la longitud de la raíz primaria, la longitud de la plántula y el peso seco de la raíz al 100% de nitrógeno.

## Referencias

- Abdel, G., A. H., Bharath, K., Reyes, M., J., Gonzalez, P., P. J., Jansen, C., San Martin, J. P., Lee, M. y Lübberstedt, T. (2013). Genotypic variation and relationships between seedling and adult plant traits in maize (*Zea mays* L.) inbred lines grown under contrasting nitrogen levels. *Euphytica*, 189(1): 123-133.
- Camacho, G., A. K. (2016). Variación fenotípica en la arquitectura radicular del maíz (*Zea mays* L): Indicadores de eficiencia a nitrógeno en etapas de crecimiento de la plántula. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, p. 103.
- Espinoza-Velázquez, J., Valdés-Reyna, J. y Alcalá-Rodríguez, J. M. (2012). Morfología y anatomía de radículas múltiples en plántulas de maíz derivadas de cariopsis con poliembrionía. *Polibotánica*, 33: 207-221.
- Grzesiak, M. T. (2009). Impact of soil compaction on root architecture, leaf water status, gas exchange and growth of maize and triticale seedlings. *Plant Root*, 3: 10-16.
- Hoagland, D. R. y Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. California, Agricultural Experiment Station, Circular 347, p. 32.
- Hochholdinger, F., Feix, G. (1998). Early post-embryonic root formation is affected in the maize mutant Irt1. *Plant J.*, 16: 247-255.
- Hochholdinger, F., Woll, K., Sauer, M. y Dembinsky, D. (2004). Genetic dissection of root formation in maize (*Zea mays*) reveals root-type specific developmental programmes. *Annals of Botany*, 93(4): 359-368.
- Liedgens, M., Soldati, A., Stamp, P. y Richner, W. (2000). Root development of maize (*Zea mays* L.) as observed with minirhizotrons in lysimeters. *Crop Science*, 40: 1665-1672.

- Linkohr, B. I., Williamson, L., Fitter, A. y Leyser, H. (2002). Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of Arabidopsis. *The Plant Journal*, 29(6): 751-760.
- López-Bucio, J., Cruz-Ramírez, A. y Herrera-Estrella, L. (2003). The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 6: 280-287.
- Martínez de la Cruz, E., Beltrán, P. E. y López, B. J. (2011). La arquitectura radicular del maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia Nicolaita*, p. 13.
- Reyes, M. J., Martínez, M. D., Andrés, H. A. R. y Mejía, P. C. (2016). Arquitectura radicular en plantas de maíz por la influencia de nitrógeno. *Revista Saberes Compartidos*, 13-14: 27-32.
- Sen, S., Setter, T. y Smith, M. E. (2012). Maize root morphology and nitrogen use efficiency—a review. *Agricultural reviews*, 33(1): 16-26.
- Woll, K., Borsuk, L., Stransky, H., Nettleton, D., Schnable, P. S. y Hochholdinger, F. (2005). Isolation characterization and pericycle specific transcriptome analyses of the novel maize (*Zea mays* L.) lateral and seminal root initiation mutant rum. *Plant Physiol.*, 139: 1255-1267.