

Variación fenotípica de maíz

Indicadores de eficiencia a nitrógeno en etapa de plántula

Jenaro Reyes-Matamoros¹, Rolando Rueda-Luna¹, David Martínez-Moreno² y Gabriela De Lima-Valis²

Instituto de Ciencias¹, Facultad de Ciencias Biológicas²

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Puebla, Pue.; México

jenaro.reyes@correo.buap.mx

Abstract— The aim of the study was to analyze the degree of phenotypic variation in the maize morphology (*Zea mays* L.) at seedling stage in different conditions of nitrogen availability. As a plant material were studied 4 maize cultivars: SB 302 Berentsen, and white, blue and red landraces of Tecamachalco, Puebla by traits of 14, 21, 28 and 35 days of seedling growth using the method of paper roll culture described by Woll et al. (2005). The two-factor experiments were a completely randomized design. The seedlings were cultivated in controlled conditions using the nutrient solution of Hoagland and Arnon (1950). The results show that maize seedlings grown under the influence of 10 and 100% of nitrogen revealed a significant phenotypic variation in the level of its architecture. Among maize seedlings grown, the blue creole presented the best response to application of 10% of nitrogen. While white creole showed the best result for 100% of nitrogen.

Keywords— *Zea mays* L., morphology, nitrogen use efficiency, root system.

Resumen— El objetivo del estudio fue analizar el grado de variación fenotípica en la morfología de maíz (*Zea mays* L.) en etapa de plántula bajo diferentes condiciones de disponibilidad de nitrógeno. Se evaluaron 4 cultivares de maíz: la variedad SB 302 Berentsen y los criollos blanco, azul y rojo de Tecamachalco, Puebla por medio de ensayos vegetativos de 14, 21, 28 y 35 días de crecimiento utilizando el método de rollo de papel descrito por Woll et al. (2005). Los experimentos fueron de dos factores con un diseño completamente al azar. Las plantas se cultivaron en condiciones controladas usando la solución nutritiva de Hoagland y Arnon (1950). Los resultados muestran que las plantas de maíz cultivadas bajo la influencia de 10 y 100% de nitrógeno revelaron un nivel significativo de variación fenotípica en su arquitectura. Entre las plantas cultivadas, el criollo azul presentó la mejor respuesta para la dosis de 10% de nitrógeno. Mientras que el criollo blanco mostró el mejor resultado para 100% de nitrógeno.

Palabras clave— *Zea mays* L., morfología, uso eficiente de nitrógeno, sistema radicular.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz, *Zea mays* L., es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas. De acuerdo a Thompson [1] en México las importaciones de maíz crecen más rápido que su producción, lo que alternativamente requiere de rendimientos más altos para satisfacer las necesidades de la población. El estado de Puebla ocupa el décimo lugar a nivel nacional en la producción de maíz con 851,089 ton en una superficie sembrada de 565,054.00 has, obteniendo un rendimiento de 1.899 ton/ha [2]. Sin embargo, para lograr obtener una buena producción es necesario administrar a las plantas nutrimentos esenciales. Entre los elementos minerales esenciales, el nitrógeno (N) es el que con más frecuencia limita el crecimiento y el rendimiento del maíz. Esta condición ocurre porque las plantas requieren cantidades relativamente grandes de N (de 1.5 a 3.5% de peso seco de la planta) y porque la mayoría de los suelos no tienen suficiente N en forma disponible para mantener los niveles deseados de producción. Debido a que la deficiencia de N puede disminuir el rendimiento y la calidad del grano, es necesario tomar medidas para asegurar que niveles adecuados de N estén disponibles para las plantas.

Uno de los problemas actuales de la nutrición por elementos minerales es la eficiencia con la cual las plantas pueden usar los elementos. Es importante que los elementos incorporados al suelo sean

usados con eficiencia, tanto por su elevado costo económico como por los impactos ambientales que estos pueden provocar. De este modo, el uso eficiente de los fertilizantes constituye uno de los factores para mantener la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas. Los productores agrícolas no tienen claro la dosis óptima de N, por lo que a menudo aplican un exceso de N elevando los costos de producción [3]. Para reducir éstos costos y mitigar la contaminación por N, es necesario contar con estrategias que mejoren el aprovechamiento del N [4], y que contribuya a optimizar el uso de los fertilizantes, ya que la contaminación con N no es solamente una relación de números, ya que para mantener niveles adecuados de productividad es necesario conocer la dosis óptimas económicas de nitrógeno, por el efecto positivo que tienen en la producción agrícola intensiva [5].

El uso eficiente de nitrógeno en la producción agrícola podría direccionar los problemas económicos y ambientales asociados a la producción de granos. Los fitomejoradores están interesados en mejorar el uso eficiente del nitrógeno en las plantas para disminuir la aplicación de N y, en consecuencia, reducir los costos, y las pérdidas de N en el medio ambiente [6]. Una manera para reducir la aplicación de fertilizante nitrogenado es mediante el desarrollo de variedades con mejor uso de N. Se ha reportado altos niveles de variación entre los genotipos en la absorción y el uso eficiente de nitrógeno entre líneas de maíz con base en los datos de rendimiento de grano [7]. Sin embargo, poca atención se ha dado a los rasgos de la raíz como criterios de selección para el uso eficiente de nitrógeno [8].

El crecimiento y desarrollo de las raíces son fundamentales para la absorción de N por las plantas ya que el N es un elemento móvil que puede perderse fácilmente debido a la lixiviación, la escorrentía y la volatilización [9]. Por lo tanto, un sistema radicular más grande debe ser benéfico para la absorción de N y, por consiguiente para el crecimiento de las plantas [10]. En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue analizar el grado de variación fenotípica en el crecimiento y morfología radical en maíz (*Zea mays* L.) en etapa de plántula bajo diferentes condiciones de disponibilidad de nitrógeno.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó en condiciones de invernadero en Ciudad Universitaria de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Municipio de Puebla (19° 14' latitud norte, y 98° 18' longitud oeste, a una altitud de 2150 msnm). Se estudiaron 4 cultivares de maíz: la variedad SB 302 Beretsen, y los criollos azul, blanco y rojo pertenecientes al municipio de Tecamachalco, Puebla. El experimento fue de dos factores con un diseño completamente al azar. Las plantas fueron cultivadas en condiciones controladas utilizando la solución nutritiva de Hoagland y Arnon [11] modificada al 10 y 100% de nitrógeno. El ciclo de cultivo de las plantas fue de 14, 21, 28 y 35 días. Las plantas se caracterizaron usando el método de rollo de papel descrito por Woll *et al.* [12]. Una vez finalizada cada fecha del ensayo, se seleccionaron al azar seis plántulas sanas de maíz de cada cultivar y dosis de nitrógeno, las cuales fueron consideradas como una unidad experimental. Las variables fueron: longitud de mesocótilo (LM), longitud de la raíz primaria (LRPr), número de raíces secundarias (NRS), longitud de raíces secundarias (LRS), número de raíces adventicias (NRA), longitud de raíces adventicias (LRA), longitud de la planta (LPI), peso fresco de la raíz (PFR), peso fresco de la planta (PFPI), peso seco de la raíz (PSR), peso seco de la planta (PSPI) y relación raíz-planta (R-RPI). Las variables LM, LRPr, LRS, LRA y LPI fueron medidas de manera manual usando una regla (Figura 1). Particularmente, la variable LPI se midió tomando el nodo marcado por las raíces adventicias, hasta la hoja más larga de la planta. Los parámetros LRS y LRA representan la longitud promedio de raíces secundarias y adventicias, respectivamente. La variable R-RPI se obtuvo por medio del cociente entre el peso seco de la raíz y el peso seco de la planta (vástago). Las variables PFR y PFPI fueron medidas con una báscula de

precisión. El PSR y PSPI fueron medidos después de que las muestras permanecieron 24 horas a 70 °C en la estufa de secado. A los datos obtenidos, con ayuda del paquete estadístico Microsoft Excel se les realizó el análisis de varianza a niveles de confianza ($p \leq 0.05$).

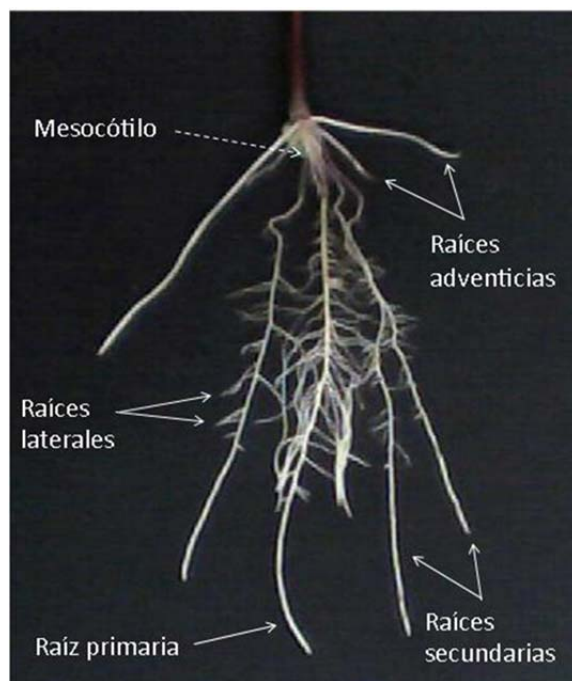


Fig. 1. Raíz de plantas de maíz a los 14 días de crecimiento.

III. RESULTADOS

Los resultados de las variables en estudio en los ensayos de 14, 21, 28 y 35 días de crecimiento de maíz se muestran de la figura 2 a la 8. En la figura 2 se observa que luego de aplicar el ANDEVA para un nivel de significancia del 5% entre los valores de LM existen diferencias ($p = 0.013$) para el factor cultivar a los 14 días de crecimiento de las plantas. Los mayores valores los presentó el criollo azul tanto para 10% como para 100% de N. En relación a los 21 de las plantas se muestran entre los valores de LM existen diferencias ($p = 0.013$) para el factor cultivar. El criollo azul mostró los mejores valores tanto para 10% como para 100% de N. Luego de 28 días de germinación, las plantas presentaron diferencias ($p = 0.007$) para el factor cultivar. Los mayores valores los exhibió el criollo azul para ambas dosis de N. Referente a los 35 días de las plantas se advierte que no existen diferencias entre los valores de LM para ninguno de los factores estudiados. Los mejores valores los presentó el criollo azul tanto para 10% como para 100% de N.

En la figura 3 se observa que a los 14 días existen diferencias ($p = 0.043$) para el factor dosis de N entre los valores de LRPr de los cultivares. Los mayores valores los registró el criollo blanco tanto para 10% como para 100% de N. Después de 21 días de crecimiento se muestra que entre los valores de LRPr no existen diferencias para los factores evaluados. Las plantas a los 28 días muestran que existen diferencias ($p = 0.045$) para el factor dosis de N. El criollo rojo mostró los mejores valores para 10% de N. Acerca de los 35 días de las plantas se observa que entre los valores de LRPr no existen diferencias para los factores estudiados.

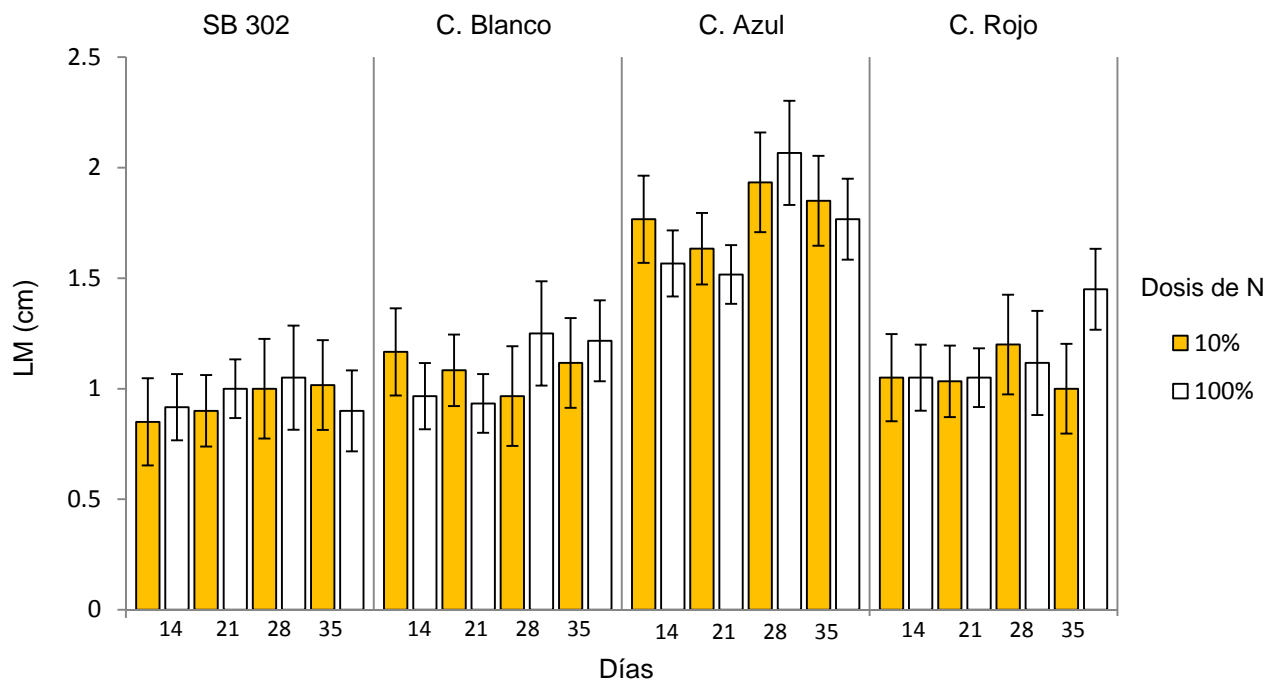


Fig. 2. Longitud de mesocótilo (cm).

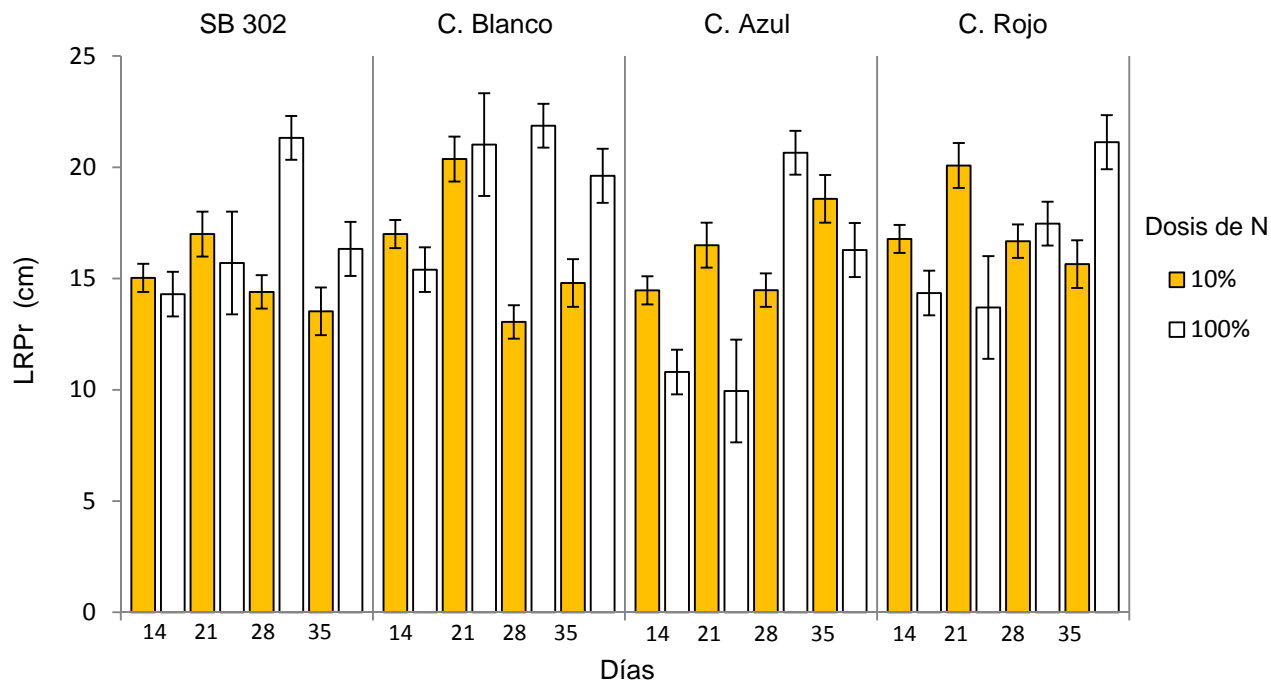


Fig. 3. Longitud de la raíz primaria (cm).

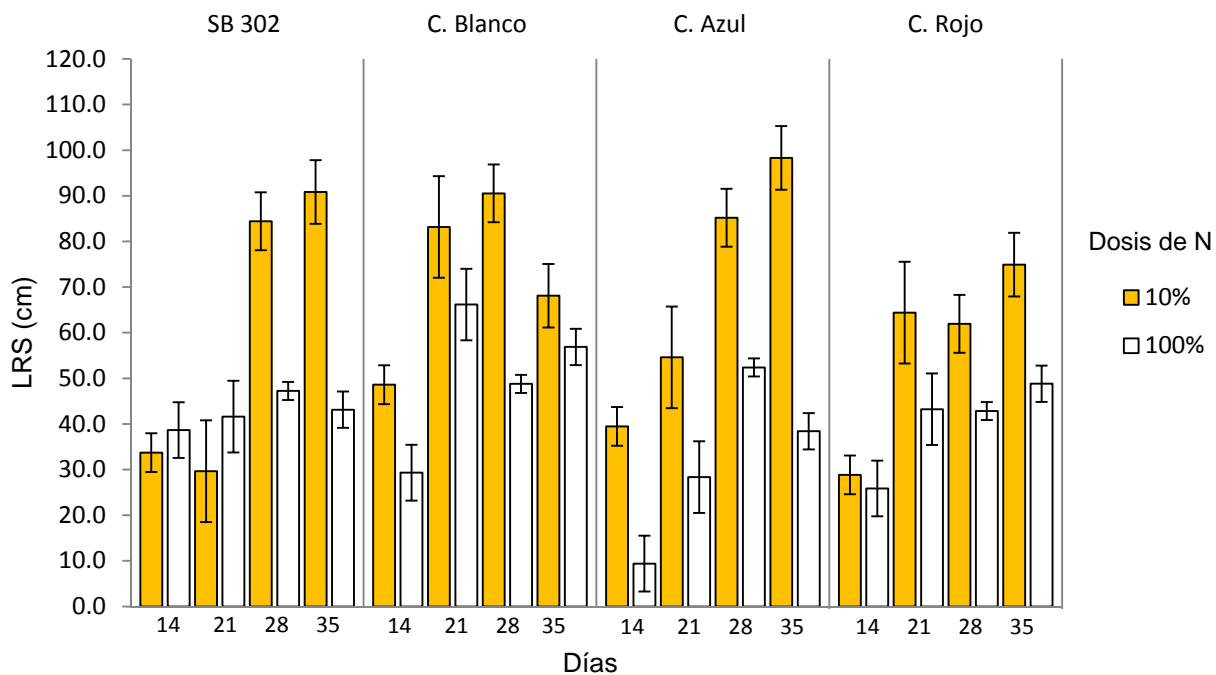


Fig. 4. Longitud de raíces secundarias (cm).

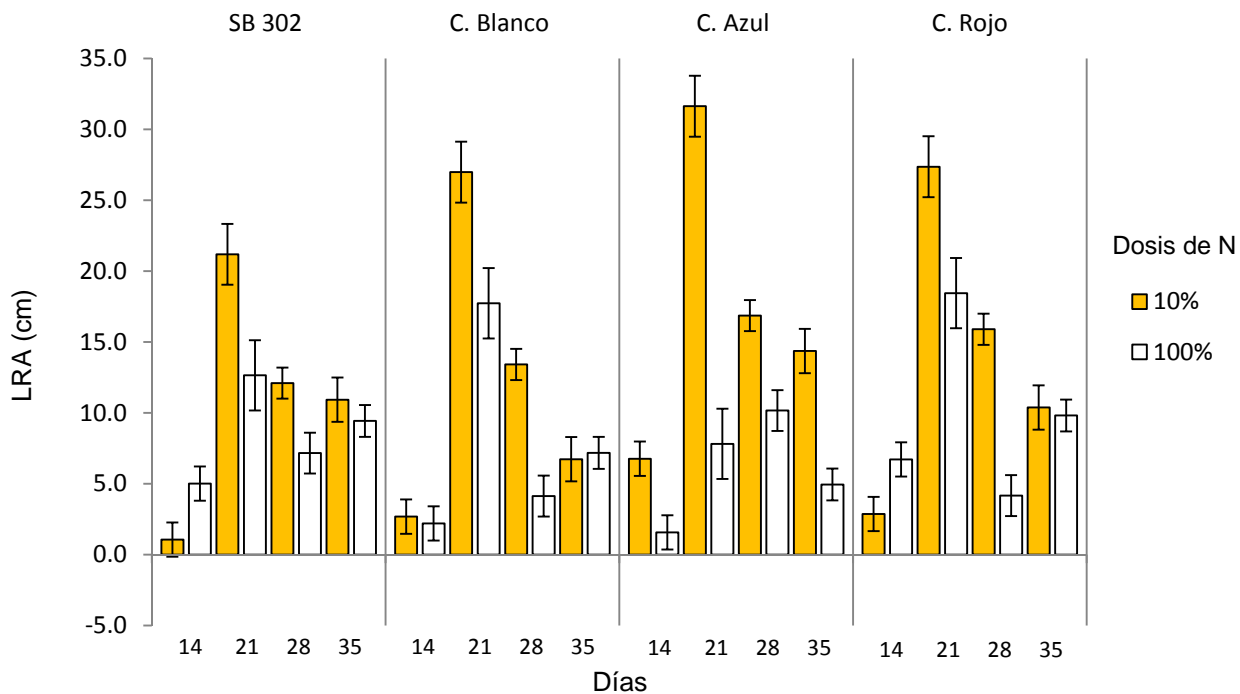


Fig. 5. Longitud de raíces adventicias (cm).

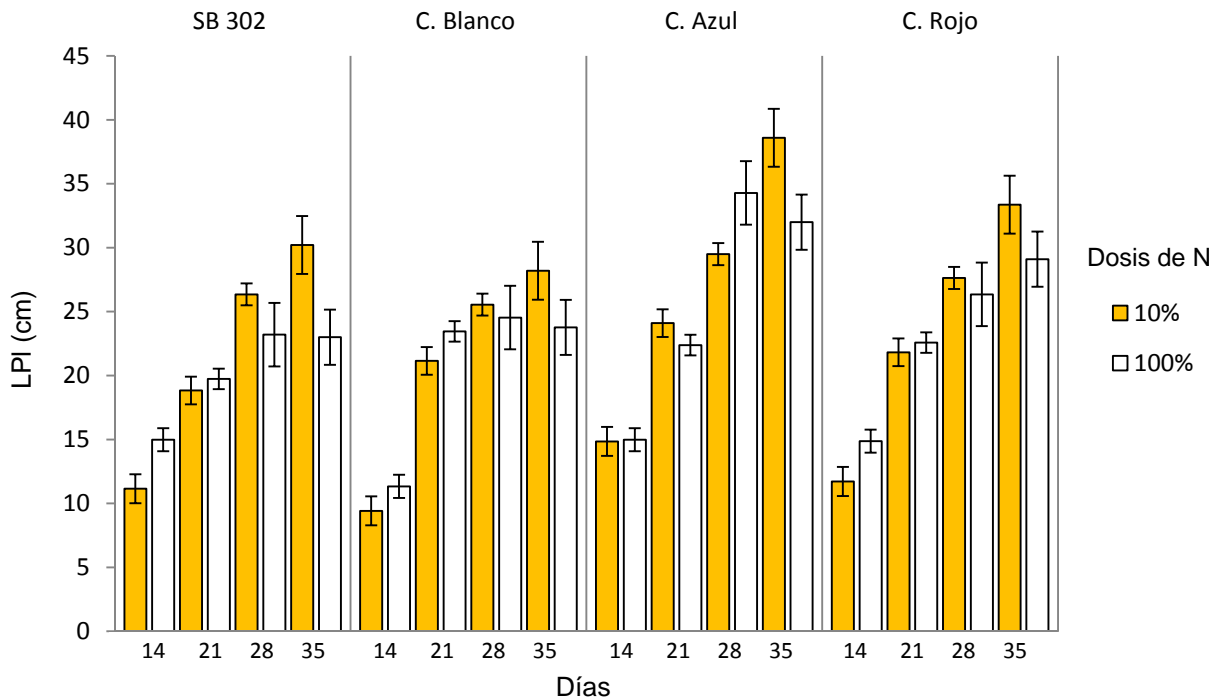


Fig. 6. Longitud de la planta (cm).

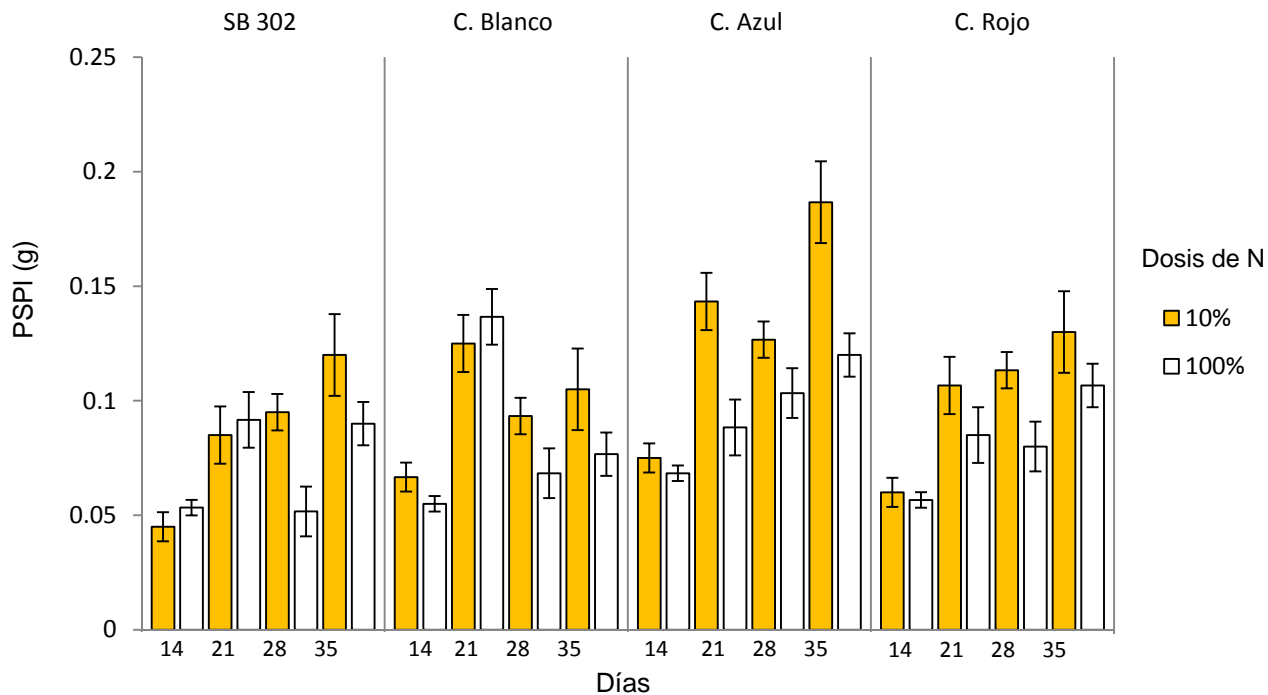
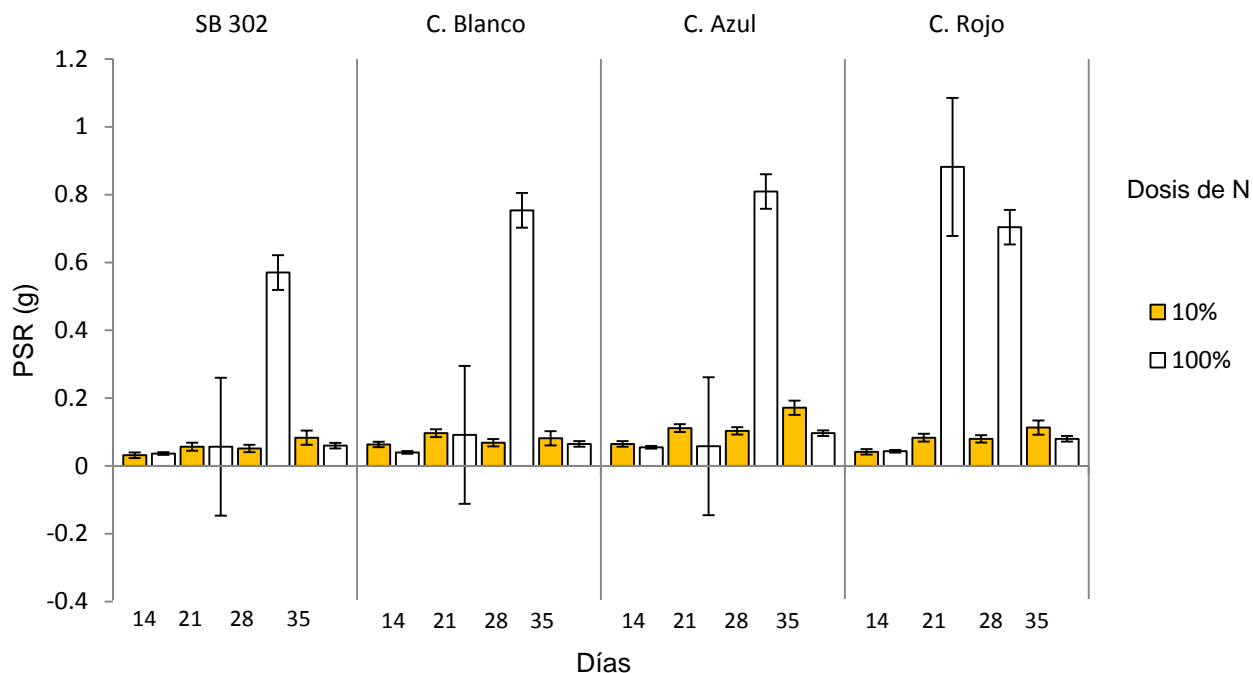


Fig. 7. Peso seco de la planta (g).



En la figura 4 se muestra que a los 14 días no hubo diferencias entre los valores de LRS de las plantas para ninguno de los factores estudiados. Los mayores valores en esta fecha los obtuvo el criollo blanco para 10% de N y la variedad SB 302 Berentsen para 100% de N. Asimismo, a los 21 días de crecimiento, las plantas no presentaron diferencias entre los valores de LRS. Los cultivares al 10% de N se encuentran por encima de los valores de las plantas bajo 100% de N, a excepción de SB 302 Berentsen. Concerniente a los 28 días se observa que entre los valores de LRS de los cultivares existen diferencias ($p=0.006$) para el factor dosis de N. Los cultivares al 10% de N se encuentran por encima de los valores de las plantas bajo la aplicación de 100% de N. A los 35 días de crecimiento se observa que existen diferencias ($p=0.044$) para el factor dosis de N. Los criollos azul y blanco respondieron mejor al 10 y 100% de N respectivamente.

En la figura 5 se distingue que a los 14 días entre los valores de LRA de las plantas no hubo diferencias para los factores evaluados. Los mayores valores los registró el criollo azul para el 10% de N y el criollo rojo para el 100% de N. Al término de 21 de las plantas existen diferencias ($p=0.042$) entre los valores de LRA para el factor dosis de N. Los criollos azul y rojo mostraron los mejores valores para 10 y 100% de N respectivamente. A los 28 días entre los valores de los cultivares se observan diferencias ($p=0.012$) para el factor dosis de N. Los mayores valores los registró el criollo azul para ambas dosis de N. Después de 35 días de las plantas se advierte que no existen diferencias para ninguno de los factores evaluados. Los mejores valores los presentó el criollo azul para el 10% y el criollo rojo para 100% de N.

En la figura 6 se muestra que no existen diferencias entre los valores de LPI a los 14 de las plantas para los factores estudiados. Los mejores valores medios al 10% de N los obtuvo el criollo azul y la variedad SB 302 Berentsen al 100% de N. A los 21 días se observa que no existen diferencias entre los valores de LPI de los cultivares para los factores evaluados. Las plantas cultivadas en 100% de N presentaron mejores valores. A los 28 días de crecimiento, las plantas no presentaron diferencias para los factores evaluados. Los mejores valores los presentó el criollo blanco para ambas dosis de N.

Después de 35 días se muestra que existen diferencias ($p=0.008$) para el factor cultivar y diferencias ($p=0.004$) para el factor dosis de N. Las plantas cultivadas en 100% de N obtuvieron los mejores valores respecto a las plantas en la dosis de 10% de N. El criollo azul presentó los mejores valores para ambas dosis de N.

En la figura 7 se observa que a los 14 días entre los valores de PSP1 no se presentan diferencias para los factores evaluados. Los mayores valores los registró el criollo azul tanto para 10% como para 100% de N. Asimismo, para 21 días de crecimiento, se muestra que entre los valores de PSP1 no existen diferencias para los factores estudiados. Los mejores valores los obtuvo el criollo azul y el criollo blanco para 10 y 100% de N respectivamente. Después de los 28 días de germinación existen diferencias ($p=0.023$) para el factor cultivar y diferencias ($p=0.006$) para el factor dosis de N. Las plantas en 10% de N respondieron mejor en comparación con las cultivadas en 100% de N. después de 35 días de las plantas se observan diferencias ($p=0.033$) entre los valores de PSP1 para el factor dosis de N. Los mayores valores los reportó el criollo azul para ambas dosis de N. Las plantas en 10% de N respondieron mejor en comparación con las cultivadas en 100% de N.

En la figura 8 se muestra que a los 14 días entre los valores de PSR de las plantas no hubo diferencias para los factores evaluados. Los mayores valores los registró el criollo azul para ambas dosis de N. Asimismo, a los 21 días de las plantas no se observa diferencias en el PSR para los factores evaluados. Los mejores valores los obtuvo el criollo blanco para ambas dosis de N. Después de 28 días de crecimiento se observa que entre los valores de PSR existen diferencias ($p=0.000$) para el factor dosis de N. Los mejores valores medios los presentó el criollo azul para ambas dosis de N. Por último, a los 35 días de las plantas se observa que no existen diferencias para los factores estudiados. El criollo azul mostró los mejores valores para ambas dosis de N.

IV. DISCUSIÓN

El análisis de los resultados muestra que se presentan diferencias significativas en la variable LM para el factor cultivar a los 21, 28 y 35 días de germinación. Estos resultados concuerdan con Sánchez [13] quien encontró diferencias en el comportamiento del mesocótilo de plántulas provenientes de tres diferentes regiones ecológicas: (Hidalgo), (Edo. de México y Tlaxcala) y (Tamaulipas). Resultados similares con Mejía [14] donde observó diferencias significativas en el mesocótilo a los 21 y 28 días de crecimiento de las plantas. Se muestran diferencias en LRS en el factor dosis, resultados que coinciden con lo reportado por Juárez [15] donde obtuvo mejores resultados en la LRS a dosis bajas. La variable LPI mostró diferencias significativas a los 35 días y PSR a los 28 días. Resultados concuerdan con Mejía [14] se presentaron diferencias en estas variables. Debido a que sobre estos parámetros influye directamente la concentración de nitrógeno [16,17]. En el experimento se observó que la respuesta de la LPI fue mayor en 100% de N, comparado con 10% de N. Resultados que coinciden con los reportados por Abdel *et al.* [18] donde dicho parámetros respondió mejor en altas dosis de N. También concuerdan con Mejía [14] tuvo mayor respuesta el 100% de N. Linkohr *et al.* [19] 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 amonio (NO_3^-). Sistema de la raíz está expuesto a más volumen de suelo y, en consecuencia aumenta la absorción de nutrientes. Algunos autores afirman que las plantas vigorosas con gran biomasa son excelentes para tener un mejor rendimiento en condiciones de campo [20,21,22]. Esto, probablemente por el uso eficiente de los nutrientes y el agua por las plantas. Desde esta perspectiva, los cultivares con un sistema radicular vigoroso podrían contribuir de manera significativa en el manejo de las plantas y la supervivencia de las mismas bajo estrés de N. Por lo que la elección de

cultivares de maíz basados en PSR en la etapa de plántulas puede ser con éxito un factor predictivo de la eficiencia en el uso de nutrientes [23].

V. CONCLUSIONES

Las plantas de maíz cultivadas durante 14, 21, 28 y 35 días bajo la influencia de 10 y 100% de nitrógeno revelaron un nivel significativo de variación fenotípica en su arquitectura. El criollo azul presentó la mejor respuesta a la aplicación de 10% de nitrógeno. Mientras que el criollo blanco mostró el mejor resultado al 100% de nitrógeno.

En relación al factor dosis de nitrógeno las plantas muestran diferencias ($p \leq 0.01$) en el número de raíces secundarias a los 28 y 35 días. Asimismo, se registraron en la longitud de raíces secundarias y adventicias, al peso seco de planta y raíz y la relación raíz-planta a los 28 días, y en el número de raíces adventicias y longitud de la planta a los 35 días. Se observan diferencias ($p \leq 0.05$) en la longitud de raíz primaria a los 14 y 28 días, en la longitud de raíces adventicias a los 21 días, y en la longitud de raíces secundarias y peso seco de la planta a los 35 días de crecimiento.

Respecto al factor cultivar se observan diferencias ($p \leq 0.01$) en la longitud de mesocótilo a los 14, 21 y 28 días, y en la longitud de la planta a los 35 días. Se muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a los 35 días en el peso seco de la planta.

REFERENCIAS

- [1] Thompson, S. 2011. Los mercados de productos básicos y las proyecciones agropecuarias a 2020 del USDA. XI Foro de Expectativas del Sector Agroalimentario y Pesquero, México, 12 p.
- [2] SIAP. 2013. Cierre de la producción agrícola por estado. [Consultado el 15 de enero de 2014]. Disponible en línea en: <http://www.siap.gob.mx>.
- [3] Dellinger, A.E., Schmidt, J.P. and Beegle, D.B. 2008. Developing nitrogen fertilizer recommendations for corn using an active sensor. *Agron. J.*, 100: 1546-1552.
- [4] Arregui, L.M. and Quemada, M. 2008. Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rainfed conditions. *Agron. J.*, 100: 277-284.
- [5] Overman, A.R. and Scholtz III, R.V. 2002. Corn response to irrigation and applied nitrogen. *Soil Sci. Plant Anal.*, 33: 3609-3619.
- [6] Zhang, W., Tian, Z. and Zhang, N. 1995. The survey of ground water pollution by nitrogen application in northern China. *J. Plant Nutr. Fert. Sci.* 19, 80-87.
- [7] Presterl, T., Seitz, G., Schmidt, W. and Geiger, H.H. 2002. Improving nitrogen use efficiency in European maize comparison between line per se and testcross performance under high and low soil nitrogen. *Maydica* 47: 83-91.
- [8] Tuberosa, R., Sanguineti, M.C., Landi, P., Giuliani, M.M., Salvi, S. and Conti, S. 2002. Identification of QTLs for root characteristics in maize grown in hydroponics and analysis of their overlap with QTLs for grain yield in the field at two water regimes. *Plant Mol. Biol.* 48, 697-712.
- [9] Whitehead, D.C. and Raistrick, N. 1990. Ammonia volatilization from five compounds used as fertilizers following surface application to soils. *J. Soil Sci.* 41, 387-394.
- [10] Mackay, A.D. and Barber, S.A. 1986. Effects of nitrogen on root growth of two corn genotypes in the field. *Agron. J.* 78, 699-703.
- [11] Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. California, Agricultural Experiment Station, Circular 347, 32 p.

- [12] Woll, K., Borsuk, L., Stransky, H., Nettleton, D., Schnable, P.S. and Hochholdinger, F. 2005. Isolation characterization and pericycle specific transcriptome analyses of the novel maize (*Zea mays* L.) lateral and seminal root initiation mutant rum1. *Plant Physiol.*, 139: 1255-1267.
- [13] Sánchez, F.J. 2012. Variabilidad genética de la termoestabilidad en poblaciones de maíz nativo de México: Una aportación al reto del cambio climático. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, 158 p.
- [14] Mejía, P., C. 2014. Respuesta de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación de niveles contrastantes de nitrógeno. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 81 p.
- [15] Juárez, H., B., Reyes, M., J. y Lübberstedt, T. 2015. Diseño y análisis de un experimento de uso eficiente de nitrógeno en maíz. En: *Matemáticas y sus aplicaciones 6, Capítulo 8*, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, pp. 195–212.
- [16] Blanco, L., Uhart, S., Andrade, F., Echeverría, H. y Sainz, H. 2004. Componentes del rendimiento en el cultivo del maíz (*Zea mays*) ante diferentes dosis de nitrógeno. *Centro Agrícola*, 31: 1-2.
- [17] Wang, Z.R., Rui, Y.K., Shen, J.B. and Zhang F.S. 2008. Effects of N fertilizer on root growth in *Zea mays* L. seedlings. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(4): 677-682.
- [18] Abdel, G., A.H., Bharath, K., Reyes, M., J., Gonzalez, P., P.J., Jansen, C., San Martin, J.P., Lee, M. and 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.
- [19] Linkohr, B.I., Williamson, L., Fitter, A. and Leyser, H. 2002. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of *Arabidopsis*. *Plant J.* 29: 751-760.
- [20] Richer, W., Stamp, P. and Kiel, C. 1997. Is seedlings root morphology predictive of seasonal accumulation of shoot dry matter in maize. *Crop Sci.* 37: 1237-1241.
- [21] Bohn, M., Novais, J., Fonseca, R., Tuberosa, R. and Grift, T.E. 2006. Genetic evaluation of root complexity in maize. *Acta Agron. Hung.* 54: 291-303.
- [22] Paschold, A.C., Marcon, H. and Hochholdinger, F. 2010. Molecular dissection of heterosis manifestation during early maize root development. *Theor. Appl. Genet.* 120: 383-388.
- [23] Kumar, B., Abdel, G., A.H., Reyes, M., J., Hochholdinger, F. and Lübberstedt, T. 2012. Genotypic variation for root architecture traits in seedlings of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *Plant Breeding*, 131(4): 465-478.