

AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

**ECOFISIOLOGÍA, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays*  
L.) A LA APLICACIÓN FOLIAR DE AMINOÁCIDOS Y EXTRACTOS DE ALGAS EN  
VALLES ALTOS DE MÉXICO**

Tesis presentada a la Universidad Federal de Viçosa, como parte de los requisitos del Programa de Posgrado en Fitotecnia, para obtener el título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS-BRASIL  
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M385e  
2019  
Martínez Gutiérrez, Aarón, 1988-  
Ecofisiología, producción y calidad de híbridos de maíz (*Zea Mays* L.) a la aplicación foliar de aminoácidos y extractos de algas en Valles Altos de México / Aarón Martínez Gutiérrez. – Viçosa, MG, 2019.  
vi, 61 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Milho - Nutrição. 2. Bioestimulantes. 3. Adubação foliar. 4. Milho - Crescimento. 5. Milho - Rendimento. 6. Agricultura sustentável. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

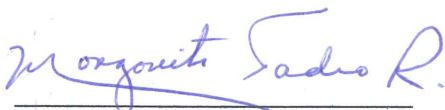
CDD 22. ed. 633.15896

AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ

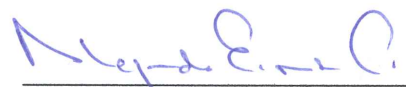
**ECOFISIOLOGÍA, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays*  
L.) A LA APLICACIÓN FOLIAR DE AMINOÁCIDOS Y EXTRACTOS DE ALGAS EN  
VALLES ALTOS DE MÉXICO**

Tesis presentada a la Universidad Federal  
de Viçosa, como parte de los requisitos  
del Programa de Posgrado en Fitotecnia,  
para obtener el título de *Doctor Scientiae*.

APROBADO: 15 de enero de 2019.



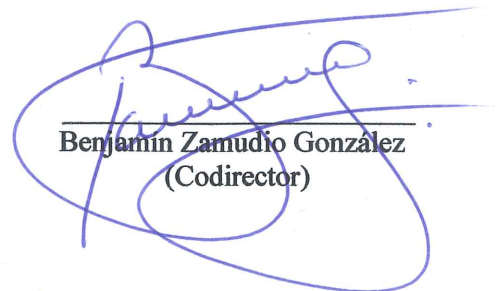
Margarita Tadeo Robledo



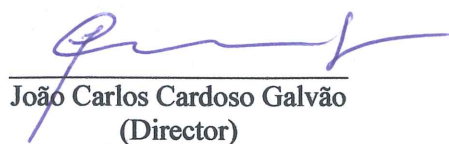
Alejandro Espinosa Calderón



Jose Eustaquio de Souza Carneiro



Benjamin Zamudio González  
(Codirector)



João Carlos Cardoso Galvão  
(Director)

## AGRADECIMIENTOS

- Primero, agradezco a Dios por la protección y salud, por guiarme en mis pasos y por la vida.
- Mi familia por el cariño, el apoyo y por creer en mis decisiones.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) del Gobierno de México, por el apoyo otorgado durante mis estudios de Posgrado.
- A la Universidad Federal de Vicosa, por la oportunidad de realizar este sueño.
- A los productores del Estado de México en especial a MVZ. Ricardo Sánchez Cruz, a Lic. Alfredo Contreras Valdés y C. Adolfo de la Rosa Gil por facilitar sus parcelas para la realización del experimento y todo el apoyo brindado.
- Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en el Campo Experimental Valle de México (INIFAP-CEVAMEX), y el Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo, por proporcionarme el espacio y laboratorios para la realización y seguimiento de mi trabajo de tesis.
- A la Empresa SYNGENTA México y NATVER por los insumos otorgados para la realización de este trabajo.
- A la Dra. Ofelia Angulo Guerrero, por todo el apoyo y colaboración desde el Tecnológico Nacional de México para realización de posgrado en Brasil.
- Al Dr. João Carlos Cardoso Galvão, por la confianza, amistad y la oportunidad de trabajar bajo su tutela durante el Doctorado.
- Al Dr. Benjamín Zamudio González, por la amistad, confianza, consejos, paciencia, apoyo y por todas esas enseñanzas en estos años, que sin duda me servirá en mi vida profesional y personal y especial atención en las correcciones y dirección de la tesis.
- Al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por la amistad, motivación, confianza, apoyo, la oportunidad de formar parte de su gran equipo de trabajo, y siempre con ese espíritu de ayudar a los demás.
- A la Dra. Margarita Tadeo Robledo, por su amistad, colaboración, apoyo, correcciones emitidas en este trabajo.
- A los laboratoristas del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo por su apoyo en la realización de análisis químico, en especial a Berenice por su ayuda.
- A los estudiantes de servicio social que me ayudaron en la toma de datos de laboratorio y campo, María Guadalupe Plata González, Fernanda Mora, Aylín Sánchez, Itzel Trejo, Luis Martínez, y en especial a Alejandra Moreno por su entrega al trabajo, siempre con deseos de aprender y superación.
- A mis amigos de Brasil que siempre me ayudaron y por todas esas experiencias compartidas en la Maestría y en el Doctorado. Denize, Eduardo, Carine, Gabi, Luana, Matheus, Saulo, Lorena, Brauly, Jadson, Talita, Jessy, Ana Luísa, Carla, Mayara, Rufini, Álvaro, Heider, Leone, Steliane, María Jose, Luis Artur, Zé Paulo, y a las familias Brasileñas que siempre me abrieron las puertas de sus casas, muchas gracias.
- A los miembros del jurado, por la participación y contribuciones en el trabajo.
- Agradezco a todos los que de alguna forma contribuyeron para la realización de este trabajo, muchas gracias!

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	iv
<b>RESUMO</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
Literatura citada.....	6
<b>CAPÍTULO 1- Fertilización foliar de aminoácidos y extractos de algas marinas en el rendimiento de maíz</b> .....	10
Resumen .....	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
Materiales y métodos.....	14
Resultados y discusión.....	17
Conclusiones.....	28
Literatura citada.....	29
<b>CAPÍTULO 2- Respuesta en la aplicación foliar de aminoácidos sobre la extracción y partición de nutrientes en el maíz</b> .....	33
Resumen .....	33
Abstract.....	34
Introducción.....	35
Materiales y métodos.....	38
Resultados y discusión.....	41
Conclusiones.....	54
Literatura citada.....	55
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	60
Anexo I.....	61

## RESUMEN

MARTÍNEZ, Aarón Gutiérrez, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, enero de 2019. **Ecofisiología, producción y calidad de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación foliar de aminoácidos y extractos de algas en Valles Altos de México.** Director: João Carlos Cardoso Galvão. Codirectores: Benjamín Zamudio González y Rodrigo Oliveira de Lima.

El maíz es un cultivo de gran importancia en México y en el mundo. La fertilización foliar con bioestimulantes es una práctica reportada mundialmente en los últimos años, no obstante, la mayoría de los estudios están relacionados en cultivos hortícolas, con escasa información en el cultivo de maíz. El objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta ecofisiológica, producción y calidad de híbridos de maíz a la aplicación foliar de aminoácidos y extractos de algas marinas en Valles Altos de México. Dos líneas de investigación fueron abordadas. La primera para el análisis del comportamiento agronómico se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en arreglo factorial de 3 ambientes  $\times$  5 bioestimulantes  $\times$  11 híbridos y se evaluó las siguientes características: rendimiento de grano, producción de paja, peso volumétrico, hileras por mazorca, granos por hilera, número de granos por mazorca, peso de 200 granos, diámetro de mazorca. Y la segunda línea para determinar la demanda nutricional, en cuánto a extracción, partición e índice de cosecha de nutrientes, fueron enviadas al laboratorio muestras para análisis químico considerando diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en arreglo factorial de 2 ambientes  $\times$  2 híbridos  $\times$  4 bioestimulantes. Para ambos híbridos se estimó el rendimiento de grano, biomasa total e índice de cosecha de planta. Los resultados indicaron: a) en promedio la productividad de los híbridos fue de 12.3 t ha<sup>-1</sup>; b) los bioestimulantes foliares proporcionaron mayor producción en grano de maíz, con aumento de 0.9 t ha<sup>-1</sup> hasta 1.3 t ha<sup>-1</sup> respecto al testigo, al mejorar los componentes agronómicos de rendimiento; c) los aminoácidos foliares aumentan el peso total de la biomasa vegetal, impactando los niveles de extracción, partición e índice de cosecha de los nutrientes; d) para producción 1 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz, se requiere aplicar en (kg): 21.3; 6.4; 17.4; 4.8; y 3.5 de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente y en (g): 14.8, 42.8, 14.5 y 8.4 de Cu, Mn, Zn y B, respectivamente; y e) los productos foliares evaluados constituyen alternativas técnicamente viables como complemento a la fertilización al suelo en los sistemas de producción de granos de Valles Altos de México.

## RESUMO

MARTÍNEZ, Aarón Gutiérrez, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2019. **Ecofisiologia, produção e qualidade de híbridos de milho (*Zea mays* L.) à aplicação foliar de aminoácidos e extratos de algas nos Vales Altos do México.** Orientador: João Carlos Cardoso Galvão. Coorientadores: Benjamín Zamudio González e Rodrigo Oliveira de Lima.

O milho é uma cultura de grande importância no México e no mundo. A adubação foliar com bioestimulantes é uma prática relatada mundialmente nos últimos anos, no entanto, a maioria dos estudos está relacionada às culturas hortícolas, com pouca informação no cultivo do milho. O objetivo deste trabalho foi determinar a resposta ecofisiológica, produção e qualidade de híbridos de milho à aplicação foliar de aminoácidos e extratos de algas marinhas em Valles Altos de México. Foram abordados duas linhas de pesquisa. Para a análise do comportamento agrônomo foi utilizado o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema fatorial 3 ambientes  $\times$  5 bioestimulantes  $\times$  11 híbridos, sendo avaliadas as seguintes características: produtividade de grãos, produção de palha, peso volumétrico, número de fileiras, grãos por fileiras, número de grãos por espiga, peso de 200 grãos, diâmetro da espiga. E a segunda linha para determinar a demanda nutricional, em termos de extração, partição e índice de colheita de nutrientes, foram enviadas ao laboratório as amostras para análise química considerando o delineamento blocos casualizados com quatro repetições, em arranjo fatorial de 2 ambientes  $\times$  2 híbridos  $\times$  4 bioestimulantes. Para ambos híbridos foram estimados o rendimento de grãos, biomassa total e índice de colheita de plantas. Os resultados indicaram: a) em média, a produtividade dos híbridos foi de 12,3 t ha<sup>-1</sup>; b) os bioestimulantes foliares proporcionaram maior produção de grãos de milho, com aumento de 0,9 t ha<sup>-1</sup> até 1,3 t ha<sup>-1</sup> em relação ao controle, ao melhorar os componentes agrônômicos da produtividade; c) os aminoácidos foliares aumentam o peso total da biomassa da planta, impactando nos níveis de extração, partição e índice de colheita de nutrientes; d) para produção de uma t ha<sup>-1</sup> de grãos de milho, é necessário aplicar em (kg): 21,3; 6,4; 17,4; 4,8; e 3,5 de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente e em (g): 14,8, 42,8, 14,5 e 8,4 de Cu, Mn, Zn e B, respectivamente; e e) os produtos foliares avaliados constituem alternativas tecnicamente viáveis em complemento à adubação do solo nos sistemas de produção de grãos de Vales Altos do México.

## ABSTRACT

MARTÍNEZ, Aarón Gutiérrez, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2019. **Ecophysiology, production and quality of corn hybrids (*Zea mays* L.) to the foliar application of amino acids and algae extracts in the High Valleys of Mexico.** Adviser: João Carlos Cardoso Galvão. Co-advisers: Benjamín Zamudio González and Rodrigo Oliveira de Lima.

Corn is a crop of great importance in Mexico and the world. Foliar fertilization with biostimulants is a practice reported worldwide in recent years; however, most studies are related to horticultural crops, with little information on maize cultivation. The objective of this work was to determine the ecophysiological response, yield and quality of corn hybrids to the foliar application of amino acids and seaweed extracts in Valles Altos de México. Two lines of research were addressed. The first one for the analysis of the agronomic behavior was used the experimental design of randomized complete blocks, with four repetitions in factorial arrangement of 3 environments  $\times$  5 foliar  $\times$  11 hybrids and the following characteristics were evaluated: grain yield, stover yield, volumetric weight, rows per cob, grains per row, number of grains per cob, weight of 200 grains, cob diameter. And the second line to determine the nutritional demand, in terms of extraction, partition and nutrient harvest index, samples were submitted to the laboratory for chemical analysis considering a complete randomized block design with four replications, in factorial arrangement of 2 environments  $\times$  2 hybrids  $\times$  4 foliar. For both hybrids, were estimated grain yield, total biomass and crop harvest index. The results indicated: a) on average, the productivity of the hybrids was 12.3 t ha<sup>-1</sup>. b) the foliar products biostimulants provided greater production in corn grain, with an increase of 0.9 t ha<sup>-1</sup> up to 1.3 t ha<sup>-1</sup> compared to the control, by improving the agronomic components of yield. c) foliar amino acids increase total weight of plant biomass, affecting extraction levels, partition and nutrient harvest index. d) for production 1 t ha<sup>-1</sup> of corn grain, it is required to apply in (kg): 21.3; 6.4; 17.4; 4.8; and 3.5 of N, P, K, Ca and Mg, respectively and in (g): 14.8, 42.8, 14.5 and 8.4 of Cu, Mn, Zn and B, respectively. e) the foliar products evaluated constitute technically viable alternatives as a complement to soil fertilization in the grain production systems of Valles Altos de México.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz es uno de los cereales más importante en México por ser base de la alimentación de los mexicanos. A nivel nacional se produce alrededor de 27.8 millones de toneladas de grano de maíz en una superficie de 7.5 millones de hectáreas con un rendimiento promedio de 3.8 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2017). México se destaca entre los cinco países con mayor producción de maíz a nivel mundial y el quinto mayor consumidor, debido a las cuestiones culturales de alimentación.

A pesar del maíz ser cultivado prácticamente en todas las regiones del país, existe un predominio en las regiones del norte del país, el Estado de Sinaloa y Jalisco se ubican como los principales productores de maíz con una participación de 21.8% y 13.5%, respectivamente, lo cual representa un volumen de 5.3 millones de toneladas (SIAP, 2017). En estas regiones presentan elevada productividad en promedio de hasta 10 t ha<sup>-1</sup>, superando las demás regiones del país.

Al considerar el rendimiento promedio nacional bajo riego, de 8.0 toneladas por hectárea, se observa que únicamente tres estados se encuentran por arriba de dicho promedio: Chihuahua, Sinaloa y Guanajuato. Con respecto promedio nacional de rendimientos en temporal se destacan nueve entidades que superan dicho nivel: Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Colima, Campeche, Estado de México, Tlaxcala y Guerrero (SIAP, 2017).

Los rendimientos de maíz en México varían en las diferentes regiones del país, siendo uno de los factores que contribuye para la baja productividad media nacional. Los bajos rendimientos de maíz se deben a los factores climáticos específicos de cada ambiente, pero lo que más afecta los bajos rendimientos es la nula adopción de tecnologías por los productores, como son: la introducción de variedades mejoradas y las mejores prácticas agrícolas en el cultivo, lo cual refleja directamente en el volumen de la producción en México.

En los Valles Altos del Estado de México cerca de 700 mil hectáreas son destinados para producción de maíz, ubicados entre 2200 a 2800 msnm con condiciones de “punta de riego”, humedad residual o temporal con precipitaciones pluviales favorables (Turrent, 2009), de ésta superficie se estima aproximadamente un 15% son factibles para la siembra con semilla mejorada

de alto potencial en rendimiento (Espinosa *et al.*, 2008). Tiene una participación de 8.2% del total producción en México, que representa un volumen de 2.0 millones de toneladas.

En estas regiones el promedio histórico oscila por debajo de la media nacional ( $<3.8 \text{ t ha}^{-1}$ ), sin embargo recientemente se ha observado incremento en el rendimiento de grano debido a la adopción de nuevas tecnologías para estas condiciones ambientales, donde se destaca el uso de semillas mejoradas liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y por la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán (FESC) de la Universidad Autónoma de México (UNAM) (Tadeo *et al.*, 2016; Espinosa *et al.*, 2018), por las adopción de mejores prácticas agrícolas como el manejo eficiente de la fertilización química y orgánica (Johnston y Bruulsema, 2014), prácticas más finas como la nutrición foliar al follaje (Zamudio *et al.*, 2018) y diversas innovaciones tecnológicas que proporcionan mejores respuestas en los componentes agronómicos del cultivo.

Diversos estudios reportan gran número de efectos positivos en la planta cuando se aplica la fertilización foliar, principalmente a nivel fisiológico, morfológico, y, en consecuencia, aumenta en la producción y la calidad de los cultivos (Tejada y González, 2004; Abbas y Ali, 2011; Osman *et al.*, 2013; Santi *et al.*, 2017). Lo anterior, se debe a la alta eficiencia de esta técnica en los cultivos al favorecer la absorción y asimilación de los nutrientes en la planta, con mejores respuestas en los órganos de interés económico lo cual impacta en el rendimiento y la rentabilidad de los cultivos.

Por otra parte, esta práctica de nutrición foliar muestran resultados positivos cuando existen condiciones adversas de clima (Yuncaí *et al.*, 2008) o cuando se dificulta la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas. Sin embargo, la aplicación de los fertilizantes foliares debe estar orientada con base a diagnóstico químico tanto de suelo como de tejidos vegetales y deben existir ciertas condiciones favorables para su aplicación (Fernández *et al.*, 2015).

En este sentido, a nivel mundial se han intensificado investigaciones sobre los efectos de la fertilización foliar en diferentes cultivos, particularmente en el uso de bioestimulantes agrícolas (Kauffman *et al.*, 2007; Calvo *et al.*, 2014; Bulgari *et al.*, 2015; Du Jardin, 2015; Colla *et al.*,

2017; Zamudio *et al.*, 2018) como estrategia para el aumento del rendimiento y la calidad de los cultivos.

Los bioestimulantes de plantas contienen sustancias o microorganismos que, al aplicarse a las plantas en periodos específicos de desarrollo, es capaz de mejorar la eficacia de éstas en la absorción y asimilación de nutrientes, tolerancia a estrés abiótico, independientemente del contenido en nutrientes de la sustancia (EBIC, 2018) y a su vez puede mejorar alguna de sus características agronómicas del cultivo (Bulgari *et al.*, 2015).

Aunque el uso de bioestimulantes en la agricultura ha crecido de manera exponencial, no existe una definición legal o regulatoria de los bioestimulantes en ninguna parte del mundo, lo que impide una lista detallada y categorización de las sustancias y microorganismos cubiertos por el concepto (Du Jardín, 2015). A pesar de esto, en la literatura se reportan diversos trabajos científicos con sustancias húmicas (Schiavon *et al.*, 2010; Rose *et al.*, 2014; Olivares *et al.*, 2015), extractos de algas marinas (Billard *et al.*, 2014; Battacharyya *et al.*, 2015), productos a base de aminoácidos en su formulación (Quezada *et al.*, 2015; Teixeira *et al.*, 2018; Tejada *et al.*, 2018; Popko *et al.*, 2018) y otras categorías que cubre tanto sustancias como microorganismos (Du Jardín, 2015; Calvo *et al.*, 2014; Halpern *et al.*, 2015).

En el caso de las algas, su uso como fuente de materia orgánica y como fertilizante se reporta en la literatura hace muchos años (Nelson y Van, 1984) pero se desconoce su mecanismo de acción en el aumento de la productividad de cultivos agrícolas, sin embargo, recientemente se ha reportado efectos estimulantes en estos grupos taxonómicos, lo cual despertó gran interés de la comunidad científica y la industria.

Los extractos de algas marinas y las sustancias húmicas contienen hormonas de crecimiento vegetal, las cuales afectan la fisiología de las plantas cuando se aplican en pequeñas cantidades, como auxinas, giberelinas, citocininas y ácido abscísico (Canellas *et al.*, 2002; Quaggiotti *et al.*, 2004; Craigie, 2011) y otras clases de compuestos similares a hormonas (esteroles y poliaminas) encontradas en extractos de algas marinas (Craigie, 2011). Además de fitohormonas, los constituyentes químicos del extracto de algas marinas incluyen polisacáridos complejos, ácidos grasos, vitaminas y nutrientes minerales. Por otra parte, Calvo *et al.* (2014) mencionan que los

extractos de algas presentan efectos antiestrés y dentro de ellas podrían estar involucradas compuestos protectores (ej. Betaínas) que funcionan como antioxidantes y como reguladores de genes endógenos sensibles al estrés.

El uso de aminoácidos es una práctica que se ha documentado a nivel mundial en varios cultivos agrícolas, no obstante, en la literatura se encuentran pocos trabajos relacionados con el cultivo de maíz (Quezada *et al.*, 2015; Tejada *et al.*, 2018; Zamudio *et al.*, 2018), siendo la mayor parte de la investigación se llevó a cabo para cultivos hortícolas y en condiciones controladas de invernadero (Amanda *et al.*, 2009; Kunicki *et al.*, 2010; Haider *et al.*, 2012; Mattner *et al.* 2013; Petrozza *et al.*, 2013).

Los aminoácidos son moléculas orgánicas constituidos de un carbono central, asimétrica, ligado a un grupo carboxilo (COOH), un grupo amino (NH<sub>2</sub>) e un átomo de hidrogeno, además de presentar un radical orgánico “R” ligado a esta estructura, una característica que distingue los diferentes aminoácidos (Buchanan *et al.*, 2000). Se han atribuido varias funciones a los aminoácidos, tales como: síntesis de las proteínas, precursores de hormonas vegetales, quelante de nutrientes e agroquímicos, mayor resistencia al estrés abiótico (Popko *et al.*, 2018).

En una descripción general de los diferentes roles de aminoácidos en las plantas, Rai (2002) concluye, que la gran variedad de los procesos fisiológicos en las plantas es regulada por aminoácidos libres, por lo que se recomienda la aplicación de estos productos en condiciones críticas de crecimiento y desarrollo de la planta, o cuando se presentan condiciones climáticas adversas (heladas, sequía). Los aminoácidos se encuadran en los compuestos capaces de actuar en los procesos morfo fisiológico vegetal como precursores de hormonas endógenas o como activadores de enzimas y de disponibilidad de compuestos capaces de promover tolerancia a estreses (Castro y Carvalho, 2014). La glicina betaína es un caso especial de derivado de aminoácido con propiedades anti estrés (Chen y Murata, 2011) además de la prolina, que presenta actividad antioxidante debido a la eliminación de radicales libres, y ambos contribuyen a la mitigación del estrés ambiental (Du Jardin 2015).

En los suelos agrícolas se encuentran diferentes tipos de aminoácidos, sin embargo, la capacidad de los aminoácidos para ser absorbidos por las raíces está estrechamente relacionada con su disponibilidad en la rizosfera y con la actividad de los transportadores de aminoácidos en las membranas celulares en contacto con la solución del suelo (Jämtgård *et al.*, 2010). Owen y Jons, (2001) mencionan que las raíces de las plantas tienen escasa capacidad competitiva para capturar aminoácidos de la solución del suelo, debido a la rápida renovación de aminoácidos por microorganismos presentes en el suelo y el movimiento de estas moléculas acostumbran ser lentos en el suelo. Sin embargo, se sugiere que las actividades quelatantes y complejantes de aminoácidos libres y péptidos específicos contribuyen a la disponibilidad y absorción de nutrientes por parte de las raíces (Du Jardin, 2015).

En este sentido, la fertilización foliar de aminoácidos resulta más eficiente, debido a la rápida absorción y transportes de los nutrientes lo cual favorecen a la nutrición de la planta, a través de una reducción de gasto de energía para la síntesis de proteína (Teixeira *et al.*, 2018). La eficiencia de absorción y transporte de los aminoácidos se debe a la gran permeabilidad en la cutícula vía fertilización foliar. Existe mayor penetración en la membrana cuticular e una velocidad mayor del previsto por el proceso de difusión simple en los aminoácidos que presentan efectos quelatizantes con los nutrientes minerales (Ashmead *et al.*, 1986). Y su absorción en el tejido vegetal es más rápido debido al efecto de aumento de la permeabilidad de los aminoácidos sobre la cutícula en una aplicación foliar, donde la carga iónica del metal es neutralizada por los aminoácidos de una forma similar a los quelatos sintéticos (Teixeira *et al.*, 2018).

Algunos estudios han demostrado la eficiencia de la absorción de aminoácidos por las plantas (Furuya y Umemiya 2002; Maini 2006; Koukounaras *et al.*, 2013 y Sadak *et al.*, 2014; Gioseffi *et al.*, 2012), sin embargo, en función de los efectos de los aminoácidos y la ausencia de información sobre su modo de acción en las plantas, se requiere de investigaciones adicionales para conocer mejor su eficiencia en la producción agrícola (Castro y Carvalho, 2014). En base a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta ecofisiológica, producción y calidad de híbridos de maíz a la aplicación foliar de productos a base de aminoácidos y extractos de algas marinas Valles Altos del Estado de México.

## LITERATURA CITADA

- Abbas, M.K. and Ali, A.S. 2011. Effects of foliar application of NPK on some growth characters of two cultivars of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Am. J. Plant Physiol.* 6:220–227.
- Amanda, A.; Valagussa, M.; Piaggese, A. and Ferrante, A. 2009. Effect of biostimulants on quality of baby leaf lettuce grown under plastic tunnel. *Acta Hort.* 807:407–412.
- Ashmead, H. D. 1986. The absorption mechanism of amino acid chelates by plant cells. In Ashmead, H. D.: *Foliar feeding of plants with amino acid chelates*. Noyes Publications, Park Ridge, NY. pp. 219–235.
- Battacharyya, D.; Babgohari, M. Z.; Rathor, P. and Prithiviraj, B. 2015. Seaweed extracts as *biostimulants in horticulture*. *Sci. Hort.* 1 (196):39–48. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.012.
- Billard, V.; Etienne, P.; Jannin, L.; Garnica, M.; Cruz, F. and Garcia, M. J.M. 2014. Two biostimulants derived from algae or humic acid induce similar responses in the mineral content and gene expression of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *J. Plant Growth Regul.* 33:305–316.
- Buchanan, B. B.; Gruissem, W. and Jones, R. L. 2000. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Maryland: American Society of Plant Physiologists. 1367p.
- Bulgari, R.; Cocetta, G.; Trivellini, A.; Vernieri, P. and Ferrante, A. 2015. Biostimulants and crop responses: a review, *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 1 (31): 1-17, Doi: 10.1080/01448765.2014.964649
- Calvo, P.; Nelson, L. and Kloepper, J.W.; 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* 383:3–41.
- Canellas, L. P.; Olivares, F. L.; Okorokova, F. A. L. and Facanha, A. R. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiol.* 130:1951–1957.
- Castro, P. R. C. e Carvalho, M. E. A. 2014. *Aminoácidos e suas aplicações na agricultura*. Piracicaba: ESALQ,. 58p. (Série Produtor Rural, 57).
- Chen, T. H. H. and Murata, N. 2011. Glycinebetaine protects plants against abiotic stress: mechanisms and biotechnological applications. *Plant Cell Environ.* 34:1-20.
- Colla, G.; Hoagland, L.; Ruzzi, M.; Cardarelli, M.; Bonini, P.; Canaguier, R.; and Rouphael, R. 2017. Biostimulant Action of Protein Hydrolysates: Unraveling Their Effects on Plant Physiology and Microbiome. *Front. Plant Sci.* 8:2202. doi: 10.3389/fpls.2017.02202.
- Craigie, J.S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 23: 371-393.
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hort.* 196:3–14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021.

- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Zamudio, G. B.; Virgen, V. J.; Turrent, F. A.; Rojas, M. I.; Gómez, M. N. O.; Sierra, M. M.; López, L. C.; Palafox, C. A.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F.; Canales, I. E.; Zaragoza, E. J.; Martínez, Y. B.; Valdivia, B. R.; Cárdenas, M. A.; Mora, G. K. y Martínez, N. B. 2018. H-47 AE, híbrido de maíz para valles altos de México. México. *Rev. Fitotec. Mex.* 1(41): 87 – 89.
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Turrent, F. A.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Caballero, H. F.; Valdivia, B. R. y Rodríguez, M. F. A. 2008. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. México. *México. Ciencias.* 92 (93): 118–125.
- EBIC. 2018. European Biostimulants Industry Council. Home biostimulants in: <http://www.biostimulants.eu/>
- Fernández, V; Sotiropoulos, T; Brown, P. 2015. Fertilización foliar: principios científicos y práctica de campo. Paris, Francia, Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). p. 49–82.
- Furuya, S. and Umemiya, Y. 2002. The influence of chemical forms on foliar-applied nitrogen absorption for peach trees. *Acta Hort.* 594:97–103.
- Gioseffi, A. de Neergaard, and J. K. Schjoerring. 2012. Interactions between uptake of amino acids and inorganic nitrogen in wheat plants. *Biogeosciences*, 9, 1509–1518.
- Haider, M. W.; Ayyub, C.M.; Pervez, M.A.; Asad, H.U.; Manan, A.; Raza, S.A. and Ashraf, I. 2012. Impact of foliar application of seaweed extract on growth, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum L.*). *Soil Environ.* 31:157–162.
- Halpern, M.; Bar-Tal, A.; Ofek, M.; Minz, D.; Muller, T. and Yermiyahu, U., 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy.* 129:141–174.
- Jämtgård, S. 2010. The Occurrence of Amino Acids in Agricultural Soil and their Uptake by Plants. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences Department of Agricultural Research for Northern Sweden. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. ISSN 1652-6880. ISBN 978-91-576-7504-0. 52 pp
- Kauffman, G.L.; Kneivel, D.P. and Watschke, T.L., 2007. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. *Crop Sci.* 47:261–267.
- Koukounaras, A.; Tsouvaltzis, P. and Siomos, A.S. 2013. Effect of root and foliar application of amino acids on the growth and yield of greenhouse tomato in different fertilization levels. *J Food, Agric Environ* 11:644–648.
- Kunicki, E.; Grabowska, A.; Sękara, A. and Wojciechowska, R. 2010. The effect of cultivar type, time of cultivation, and biostimulant treatment on the yield of spinach (*Spinacia oleracea L.*). *Folia Hort.* 22:9–13.
- Maini, P. 2006. The experience of the first biostimulant, based on amino acids and peptides: a short retrospective review on the laboratory researches and the practical results. *Fertilitas Agrorum* 1:29–43.
- Mattner, S. W.; Wite, D.; Riches, D.A.; Porter, I. J. and Arioli, T. 2013. The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. *Biol Agric Hort* 29:258–270.

- Nelson, W.R. and Van Staden, J. 1984. The effect of seaweed concentrate on growth of nutrient-stressed, greenhouse cucumbers [*Cucumis sativus* *Ecklonia maxima*]. *Hortic. Sci.* 19:81–82.
- Olivares, F.L.; Aguiar, N.O.; Rosa, R. C. C. and Canellas, L.P. 2015. Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Sci. Hortic.* 183:100–108.
- Osman, E.A.M.; E.L-Masry, A.A. and Khatab, K.A. 2013. Effect of nitrogen fertilizer sources and foliar spray of humic and/or fulvic acids on yield and quality of rice plants. *Adv. Appl. Sci. Res.* 4:174–183.
- Owen, A. G., and Jones, D. L. 2001. Competition for amino acids between wheat roots and the rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. *Soil Biol. Biochem.* 33 (1):651–657. doi: 10.1016/S0038-0717(00)00209-1.
- Petrozza, A.; Summerer, S.; Di Tommaso, G.; Di Tommaso, D. and Piaggese, A. 2013. Evaluation of the effect of Radifarmw treatment on the morpho-physiological characteristics of root systems via image analysis. *Acta Hortic.* 1009:149–153.
- Quezada, J.C; Lenssen, A.W.; Moore, K.J.; Sawyer, J.E and Summer, P. 2015. Amino acid biosynthesis byproducts are a suitable source of nitrogen for corn production. *Field Crops Research* 184:123–132.
- Popko, M.; Michalak, I.; Radosław, W.; Mateusz, G.; Katarzyna, C. and Henryk, G. 2018. Effect of the New Plant Growth Biostimulants Based on Amino Acids on Yield and Grain Quality of Winter Wheat. *Molecules.* 23, 470; doi: 10.3390/molecules23020470.
- Rai, V. K. 2002. Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biol. Plant.* 45:481–487.
- Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R., Cavagnaro, T.R. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. In: Sparks, D.S. (Ed.), *Advances in Agronomy.* 1(124): 37–89.
- Sadak, M. S. H.; Abdelhamid, M. T.; and Schmidhalter, U. 2014. Effect of foliar application of amino acids on plant yield and some physiological parameters in bean plants irrigated with seawater. *Acta Biol. Colomb.* 20: 141–152. doi: 10.15446/abc.v20n1.42865.
- Santi, C.; Zamboni, A.; Varanini, Z.; and Pandolfini, T. 2017. Growth stimulatory effects and genome-wide transcriptional changes produced by protein hydrolysates in maize seedlings. *Front. Plant Sci.* 8:2017. doi: 10.3389/fpls.2017.00433
- Schiavon, M.; Pizzeghello, D.; Muscolo, A.; Vaccaro, S.; Francioso, O. and Nardi, S. 2010. High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). *J. Chem. Ecol.* 36:662–669.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2017) Información Básica, en: [ww.siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=15](http://ww.siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15). F
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; García, Z. J. J.; Lobato, O. R.; Gómez, M. N. O.; Sierra M. M.; Valdivia, B. R.; Zamudio, G. B.; Martínez, Y. B.; López, L. C.; Mora, G. K. Y.; Canales, I. E. I.; Cárdenas, M. A. L.; Zaragoza, E. J. y Alcántar, L. H. J. 2016. Tsiri Puma, híbrido de

- maíz para Valles Altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. *Rev. Fitotec. Mex.* 39(3):331-333.
- Tejada, M. and González, J. L. 2004. Effects of foliar application of a byproduct of the waste of olive oil mill process on rice yield. *Eur. J. Agron.* 21:31-40.
- Tejada, M.; Rodríguez, M.B.; P, P. and Parrado, J. 2018. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield. *European Journal of Agronomy* 96: 54-59.
- Teixeira, W. F.; Fagan, E. B.; Soares, L. H.; Soares, J. N.; Reichardt, K. and Dourado Neto, D. 2018. Seed and Foliar Application of Amino Acids Improve Variables of Nitrogen Metabolism and Productivity in Soybean Crop. *Front. Plant Sci.* 9:396. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00396>.
- Turrent, F., A. 2009. Potencial productivo de maíz. México. *Rev. Ciencias* 92(93): 126-129.
- Yuncaí, H.; Burucs, Z. and Schmidhalter, U. 2008. Effect of foliar fertilization application on the growth and mineral nutrient content of maize seedlings under drought and salinity. USA. *Soil Science and Plant Nutrition.* 54(1), 133-141.
- Zamudio, G. B.; Félix, R. A.; Martínez, G. A.; Galvão, C. J. C.; Espinosa, C. A. y Tadeo, R. M. 2018. Producción de híbridos de maíz con urea estabilizada y nutrición foliar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 6 (9): 1231-1244.

## CAPÍTULO 1

### **Fertilización foliar de aminoácidos y extractos de algas marinas en el rendimiento de maíz**

**RESUMEN:** Existen pocos estudios relacionados a la fertilización foliar con bioestimulantes en el cultivo de maíz. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la fertilización foliar de productos a base de aminoácidos y extractos de algas marinas en el rendimiento de híbridos de maíz en Valles Altos del Estado de México. Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en arreglo factorial de 3 ambientes  $\times$  5 bioestimulantes  $\times$  11 híbridos. Se analizaron las siguientes características: rendimiento de grano, producción de paja, hileras por mazorca, granos por hilera, número de granos por mazorca, peso volumétrico, peso de 200 granos y diámetro de mazorca. Se observaron diferencias significativas para el factor ambiente, híbridos y foliares. Temascalcingo presentó mayor rendimiento de grano de 13.5 t ha<sup>-1</sup>. Los híbridos presentaron rendimientos superiores reportados en la literatura, destacándose los genotipos H-66, H-50 y H-76. Los cuatro tratamientos foliares incrementaron en el rendimiento de grano en 7.9% hasta 11.4% respecto al testigo. Los productos foliares presentaron efectos positivos en los componentes de rendimiento evaluados en este trabajo, lo cual impactó de manera directa en el rendimiento de grano.

**Palabras claves:** alta productividad, agricultura sustentable, bioestimulantes, nutrición mineral, *Zea mays* L.

## **Foliar fertilization of amino acids and seaweed extracts in corn yield**

**ABSTRACT:** There are few studies related to foliar fertilization with biostimulants in the cultivation of corn. The objective of this work was to determine the effect of foliar fertilization of products based on amino acids and seaweed extracts on the performance of corn hybrids in the High Valleys of the State of Mexico. We used an experimental design of randomized complete blocks with four replicates, in a factorial arrangement of 3 environments  $\times$  5 biostimulants  $\times$  11 hybrids. The following characteristics were evaluated: grain yield, stover yield, volumetric weight, rows per cob, grains per row, number of grains per cob, weight of 200 grains, cob diameter. Significant differences were observed for the environment, hybrid and foliar factors. Temascalcingo presented higher grain yield of 13.5 t ha<sup>-1</sup>. The hybrids presented higher yields related to literature, highlighting the genotypes H-66, H-50 and H-76. The four foliar treatments increased in grain yield by 7.9% up to 11.4% compared to the control. Foliar products have positive effects on the performance components evaluated in this work, which directly impacted grain yield.

**Keywords:** high yield, sustainable agriculture, biostimulants, mineral nutrition, *Zea mays* L.

## INTRODUCCIÓN

En los Valles Altos de México, el cultivo de maíz es producido por pequeños y medianos productores que todavía hacen uso de poca tecnología en la conducción del cultivo, lo cual limita alcanzar el máximo rendimiento. La incorporación de nuevas tecnologías en los sistemas de producción agrícola, como es el caso de la fertilización foliar con bioestimulantes puede aumentar los rendimientos actuales y contribuir en el ingreso del productor.

A nivel mundial se han intensificado estudios sobre los efectos en la fertilización de bioestimulantes (Kauffman *et al.*, 2007; Calvo *et al.*, 2014; Bulgari *et al.*, 2015; Du Jardin, 2015; Colla *et al.*, 2017) en diferentes cultivos, sin embargo, existen pocos estudios relacionados al cultivo de maíz (Quezada *et al.*, 2015; Tejada *et al.*, 2018; Zamudio *et al.*, 2018) con escasa información que compruebe su eficiencia en las características agronómicas, siendo la mayor parte de la investigación se realiza para cultivos hortícolas y bajo condiciones de invernadero (Haider *et al.*, 2012; Grabowska *et al.*, 2012; Mattner *et al.* 2013; Petrozza *et al.*, 2013).

Según Calvo *et al.* (2014) los bioestimulantes pueden ser sintéticos o naturales y están compuestos por sustancias como hormonas vegetales, macro y micronutrientes, aminoácidos, proteínas y microorganismos. Por lo tanto, los bioestimulantes pueden ser definidos por su composición y modo de acción, por su impacto en la planta (Yakhin *et al.*, 2017), o por las diversas funciones que ejercen en las plantas, así como la respuesta final sobre el rendimiento del cultivo (Du Jardín, 2015).

Los extractos de algas son una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos de la biomasa de algas marinas que contienen en su material de origen carbohidratos (manitol), minerales, osmolitos (betaínas), compuestos metabolitos secundarios (ej. fenoles), aminoácidos, vitaminas y hormonas de crecimiento vegetal (Battacharyya *et al.*, 2015). Los extractos de algas marinas además de afectar la fisiología de las plantas, presenta alta resistencia al estrés osmótico, reducción en la degradación de las proteínas, evitando la oxidación de los cloroplastos y un retraso en la senescencia lo cual mantiene mayor tiempo el aparato fotosintético de la planta (Jannin *et al.*, 2013). Los extractos de algas también son considerados como quelatos de iones metálicos que

mejoran la absorción de los nutrientes cuando se aplican en condiciones de crecimiento subóptimas o bajo estrés ambiental (Crouch y Van Staden, 1994).

En relación a la síntesis industrial de aminoácidos, son obtenidos mediante hidrólisis química y/o enzimática de subproductos agroindustriales de origen animal o vegetal y de biomasa de cultivos específicos (Cavani *et al.*, 2006). Rai (2002) sugiere que la gran variedad de los procesos fisiológicos en las plantas es regulada por aminoácidos libres. Estos pueden actuar como agentes antiestrés (Mladenova *et al.*, 1998), fuente de nitrógeno y precursores de hormonas (Rai, 2002; Zhao, 2010; Maeda y Dudareva, 2012) como aditivos con insecticidas y fungicidas (Cavani *et al.*, 2006) y como agentes quelatantes (Ashmead, 1986; Popko *et al.*, 2018). En este contexto, los aminoácidos cuando se usan junto con nutrientes resultan más efectivos en los fertilizantes agrícolas. Los nutrientes quelados con aminoácidos forman moléculas muy pequeñas, eléctricamente neutras, que aceleran su absorción y transporte dentro de la planta (Ashmead, 1986).

La absorción de aminoácidos por las plantas es más ventajosa energéticamente ya que reduce los procesos de transformación química de los elementos en sus diferentes formas de asimilación. Una vez absorbido y asimilado por la planta, son incorporadas rápidamente al metabolismo vegetal, como si fueran sintetizadas por las mismas sin la necesidad de consumir energía para incorporar dicho elemento (Jones y Kielland, 2002). Por lo tanto, esta fácil asimilación, mejora la nutrición de los cultivos, especialmente en los momentos críticos del desarrollo de la planta, aumentando en el rendimiento, así como en la calidad del grano o fruta cosechada (Parrado *et al.*, 2008; Tejada *et al.*, 2016).

En México no existe información respecto a la fertilización foliar de productos a base de aminoácidos y extractos de algas marinas para el cultivo de maíz. La adición de estos productos impactará de manera diferencial la respuesta genética de la semilla de maíz en un mayor rendimiento de grano y mejores respuestas en las características agronómicas al favorecer la síntesis y asimilación de los fotosintatos. En base a lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fertilización foliar de productos a base de aminoácidos y extractos

de algas marinas en el rendimiento y comportamiento de híbridos de maíz en Valles Altos del Estado de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se establecieron en tres ambientes de Valles Altos del Estado de México en el ciclo agrícola primavera-verano 2017. El primer experimento se ubicó en Jocotitlán (JOC) (19°43' N, 99°51' O, y 2700 msnm), con precipitación media anual de 669.0 mm y temperatura oscila entre 3.0 y 24.0 °C, siembra fue realizado el 10 de abril; el segundo experimento se ubicó en Temascalcingo (TEM) (19°55'N,100°00' O, y 2350 msnm), precipitación media anual de 874.6 mm, con temperatura de 10.6 y 23.0 °C, la siembra fue realizada el 22 de abril y el tercer experimento correspondió a Jilotepec (JIL) (19°59' N, 99°30' O, y 2500 msnm) con precipitación media anual de 850 mm y temperatura varían de 8.0 °C y 24.0 °C, la siembra se realizó el 20 de mayo de 2017.

En las tres áreas, los suelos están constituidas por Phaeozem de color oscura, rica en materia orgánica y de textura franco arcillosa (30, 38, 32% de arcilla, limo y arena respectivamente) (Sotelo *et al.*, 2011). En el Cuadro 1 se presentan los resultados de análisis de las características químicas del suelo de los tres ambientes antes de la siembra.

**Cuadro 1.** Características químicas del suelo en los tres ambientes de producción para el cultivo de maíz, en profundidades de 0-20 cm. INIFAP. Ciclo agrícola 2017.

Ambiente	pH	MO	P <sup>1</sup>	K	S	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CIC	V <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
	Agua	%	--- mg dm <sup>-3</sup>	---	---	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	-----	-----	-----	--- %	---
Jocotitlán	5.6	2.1	46.8	205	5.6	5.25	2.32	0.2	0.8	10.1	80.9	1.8
Temascalcingo	6.7	1.9	72.2	350	2.8	6.64	3.24	0.0	0	11.0	95.0	0
Jilotepec	6.5	2.8	137	420	7.0	14.8	6.52	0.0	0	22.7	98.0	0

*Notas:* <sup>1</sup>Método de Bray 1. <sup>2</sup>Saturación de base. <sup>3</sup>Saturación de aluminio. Micronutrientes (mg dm<sup>-3</sup>), *Jocotitlán*: B =0.18; Cu = 1.01; Fe = 96.1; Mn = 35.8; Zn = 0.57; *Temascalcingo*: B = 0.65; Cu = 1.01; Fe = 46.4; Mn = 39.7; Zn = 2.57; *Jilotepec*: B=0.28; Cu= 2.74; Fe=45.6; Mn=35.3; Zn=2.28.

En los tres ambientes fueron aplicados riegos de pre-siembra con 20 días de anticipación con capacidad de campo adecuado para germinación y emergencia de las semillas. Posteriormente los experimentos se manejaron bajo condiciones de temporal con precipitaciones y temperaturas favorables durante el ciclo del cultivo, lo que permitió un buen desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas, hasta llegar a su madurez fisiológica ( $R_6$ ).

En cada uno de los experimentos fueron evaluados once híbridos de grano blanco, cuatro liberados por la FES – Cuautitlán, UNAM (TSIRI PUMA; ATZIRI PUMA; TLAOLI PUMA; IXIM PUMA) y siete liberados por Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (H-50, #46#48; H-66; H-76; H-77; H-47AE; H-49AE); estos dos últimos y los cuatro de la UNAM son considerados de tipo trilineal con tecnología de androesterilidad.

Los tratamientos foliares con bioestimulantes fueron aplicados en dos etapas fenológicas del cultivo, la primera aplicación se realizó entre  $V_5$ - $V_6$  y la segunda aplicación entre  $V_8$ - $V_{10}$ . Para el primer tratamiento fue considerado el testigo (T1) con aplicación de agua al follaje. Para el segundo tratamiento fue utilizado Eurobor (T2) que contiene 5% de nitrógeno orgánico, 25% de aminoácidos libres (histidina, fenilalanina, ácido aspártico, ácido glutámico, isoleucina, treonina, prolina, arginina, metionina, serina, glicina, cistina, leucina, valina, alanina, lisina, tirosina) y 3% boro soluble en agua. El tercer tratamiento con Euroligo (T3) que presenta la siguiente composición: 5% de nitrógeno orgánico, 25% de aminoácidos libres (histidina, fenilalanina, ácido aspártico, ácido glutámico, isoleucina, treonina, prolina, arginina, metionina, serina, glicina, cistina, leucina, valina, alanina, lisina, tirosina) y micronutrientes (Zn 1%, Mn 0.5%, Fe 0.5 %, B 0.1%, Mo 0.01%).

Para el cuarto tratamiento fue con Eurodual (T4) que contiene 3% de nitrógeno orgánico, 10% de carbono orgánico origen biológico, 15% de aminoácidos libres (histidina, fenilalanina, ácido Aspártico, ácido glutámico, isoleucina, treonina, prolina, arginina, metionina, serina, glicina, cistina, leucina, valina, alanina, lisina, tirosina) y macronutrientes secundarios (8% de CaO, 2% de MgO) en forma asimilable para la planta. En los tres tratamientos anteriores fue utilizado dosis de  $2.5 \text{ kg ha}^{-1}$ , en cada aplicación. Y el quinto tratamiento fue con producto a base de extractos de algas marinas Euroalg (T5) que se compone de 10% de carbono orgánico,

1% de nitrógeno orgánico, pH 8.9, sustancia orgánica con peso molecular <50 kDa 30%, extracto concentrado de alga *Ascophillum nodosum* y extractos de levadura (sustancia seca: 37%). Además, están presentes, naturalmente contenidas de los materiales de origen elementos minerales (P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Co y Se), vitaminas (ácido ascórbico, biotina, caroteno, ácido fólico, ácido folínico, ácido nicotínico, vitamina B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>12</sub>, vitamina K y tocoferol), carbohidratos (manitol, laminarina, ácido alginico) y promotores de crecimiento. En este último tratamiento fue aplicado dosis de 3 kg ha<sup>-1</sup> de acuerdo a las indicaciones técnicas del fabricante.

Previo a la siembra las semillas fueron tratadas con Crusier<sup>®</sup> (tiametoxam 50 mL ha<sup>-1</sup>) e insecticida Force<sup>®</sup> (10 teflutrina 15 kg ha<sup>-1</sup>) para control de plagas del suelo durante la siembra. La fertilización al suelo fue con una dosis de 250-60-60 kg ha<sup>-1</sup> de N- P- K. La aplicación se realizó en tres momentos, en la siembra se aplicó 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, 100% del fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y potasio (K<sub>2</sub>O) a razón de 60 kg ha<sup>-1</sup> para ambos casos, a base de urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio. Para la segunda y tercera aplicación se utilizó urea y se fraccionó en función de la humedad en el suelo, fue aplicado 120 kg ha<sup>-1</sup> de N entre V<sub>4</sub>-V<sub>6</sub> y el complemento de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N en etapa fenológica V<sub>10</sub>-V<sub>12</sub> (entre diez y doce hojas completamente expandidas).

Para el control de malezas fue realizado de forma mecánica con las escardas en etapa inicial vegetativa (V<sub>2</sub>-V<sub>4</sub>) y posteriormente se aplicó herbicida Lumax<sup>®</sup> (S-metolaclor, atrazina y mesotrione 4 L ha<sup>-1</sup>). Para el control de insectos del follaje fueron aplicados Karate Zeon<sup>®</sup> (Lambda cihalotrin 250 mL ha<sup>-1</sup>) y Denim<sup>®</sup> (emamectina 100 mL ha<sup>-1</sup>). Para el control de enfermedades fue aplicado Piori<sup>®</sup> Xtra (azoxistrobina, ciproconazol 350 mL ha<sup>-1</sup>). Y para en todos los tratamientos fue aplicado Quilt (azoxystrobin propiconazol 800 mL ha<sup>-1</sup>) en la floración (V<sub>T</sub>-R<sub>I</sub>) que actúa como regulador de crecimiento promoviendo el vigor y un mejor llenado de grano, al mejorar la asimilación de CO<sub>2</sub> en el proceso fotosintético de la planta, mayor uso eficiente de agua, reduce la transpiración e inhibe la liberación de etileno evitando la senescencia y abscisión foliar.

En los tres experimentos la densidad de población fue de 85,000 plantas ha<sup>-1</sup>, con distancia de 0.80 m entre surco, cada parcela experimental fue constituida de ocho surcos de 20 metros de

longitud, y se consideraron como parcela útil las dos líneas centrales (4.8 m<sup>2</sup>). Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en arreglo factorial de 3×5×11, considerando como fuentes de variación ambientes, híbridos, bioestimulantes y sus interacciones.

Una vez que alcanzó la madurez fisiológica (R<sub>6</sub>) se realizó la cosecha para la determinación de rendimiento en campo (t ha<sup>-1</sup>) con el peso seco del grano, ajustado a 14 % de humedad y extrapolado por hectárea (Tadeo *et al.*, 2015). Además del rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>), fueron registrados las siguientes variables agronómicas: producción de paja (t ha<sup>-1</sup>), peso de 200 granos (g), hileras por mazorca, granos por hilera, número granos por mazorca, diámetro de mazorca (mm) y peso volumétrico del grano (kg hL<sup>-1</sup>) parámetro utilizado en el proceso de clasificación estándar para encuadramiento en tipo y análisis de calidad (USDA, 2018). En México se utiliza como criterio en las transacciones de compra y venta en la industria, y la evaluación de calidad de los granos para el almacenamiento.

Para determinar los efectos simples e interacciones del diseño de tratamientos con relación a las variables de estudio se realizó un análisis de varianza combinado (ANOVA) con el programa estadístico SAS versión 9.4. La comparación de medias fue con la prueba (P<0.05) de Tukey y análisis de correlación (Pearson).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el Cuadro 2 se presentan una síntesis de análisis de varianza para rendimiento de grano (REN), producción de paja (PP), peso volumétrico (PV), peso de 200 granos (P200), hileras por mazorca (HM), granos por hilera (GH), número de granos por mazorca (NGM) y diámetro de mazorca (DM), evaluadas en los tres ambientes. El análisis estadístico conjunta permitió verificar diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre ambiente (A) para rendimiento de grano y demás componentes evaluados, excepto HM y DM; entre híbridos (H) para todas las variables evaluadas ( $P \leq 0.01$ ); mientras que para el factor bioestimulante se identificaron dos grupos de significancias: para REN, PV, NGM y P200 ( $P \leq 0.01$ ); para HM y GH ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 2-** Resumen de análisis de varianza para rendimiento de granos y sus componentes referentes a once híbrido de maíz de grano blanco en función a la fertilización foliar con bioestimulantes en tres localidades de Valles Altos de México. Ciclo agrícola primavera-verano 2017.

Fuente de variación	GL	Variables							
		REN	PV	PP	HM	GH	NGM	P200	DM
Ambiente -A	2	686.1**	505.0 **	995.4 **	0.47 ns	554.1 **	134278.2 **	1117.3 **	14.9 ns
Bloques (A)	9	0.56 ns	1.0 ns	8.6 ns	0.61 ns	13.9 ns	5934.4 ns	2.0 **	5.9 ns
Híbrido -H	10	11.6 **	46.84 **	19.8 **	23.3 **	49.6 **	23521.4 **	351.2 **	52.7 **
Bioestimulante -B	4	34.2**	10.6 **	12.6 ns	7.0 *	43.5 *	33532.9 **	77.5 **	16.9 **
AxH	20	19.9**	34.10**	45.9 **	10.0 **	48.5 **	21652.9 **	198.6 **	47.3 **
AxB	8	9.1*	0.33 ns	20.9 *	4.65 *	18.9 *	9854.5 *	53.0 *	4.2 ns
HxB	40	1.9 **	1.84 **	16.7 **	2.2 ns	12.9 ns	6475.5 *	18.6 **	7.2 ns
AxHxB	80	2.0 **	1.12 ns	10.9 **	3.05 *	12.2 ns	5568.1 ns	18.1 **	6.4 ns
Error	486	0.6	0.92	7.74	1.8	10.3	4550.5	7.3	6.4
Total	659	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	6.4	1.2	18.5	8.4	10.5	13.5	4.1	5.2
Media	-	12.3	80.2	15.08	16.4	30.5	499.5	65.8	48.3

ns, \* e \*\* No significativo y significativo al 0.01 y 0.05% de probabilidad de error, respectivamente, por la prueba de F. CV=coeficiente de variación; GL= grados de libertad; REN=rendimiento de grano; PV= peso volumétrico; PP= producción de paja; HM=hileras por mazorca; GH=granos por hilera; NGM=número de granos por mazorca; P200=peso de 200 granos; DM=diámetro de mazorca.

En la interacción A\*H tuvo efecto significativo en todas las variables ( $P \leq 0.01$ ); la interacción A\*B en REN, PP, HM, GH, NGM y P200 ( $P \leq 0.05$ ); la interacción H\*B en REN, PV, PP, NGM y P200 y la interacción A\*H\*B en REN, PP, P200 ( $P \leq 0.01$ ) y HM ( $P \leq 0.01$ ) (Cuadro 2).

Fueron detectadas diferencias significativas en las interacciones (A\*H, A\*B, H\*B y A\*H\*B) para rendimiento de grano, lo que significa que los híbridos evaluados presentan comportamiento diferencial tanto para ambiente como para los bioestimulantes, y al menos uno de los tratamientos con bioestimulantes evaluados tuvo mejor respuesta a un ambiente específico. Los valores del coeficiente de variación oscilaron de 1.2% (PV) a 18.5% (PP). López *et al.* (2017) mencionan que valores ( $<20\%$ ) representa un control aceptable de la variabilidad experimental. Para rendimiento de grano el coeficiente de variación fue de 6.4% y el rendimiento promedio final fue de 12.3 t ha<sup>-1</sup>, superior a la media de la región de 6.0 t ha<sup>-1</sup> (Tadeo *et al.*, 2015).

Los rendimientos en promedio por ambientes, la mayor producción con 13.5 t ha<sup>-1</sup> correspondió a Temascalcingo, en contraste en Jilotepec presentó rendimiento menor con 10.2 t ha<sup>-1</sup> (datos no presentados). El rendimiento de grano en Jilotepec se redujo un 24.5% (3.3 t ha<sup>-1</sup>) debido al retraso en la siembra que propició menor número de días para completar el ciclo y probablemente afectó el rendimiento del grano en función de las condiciones desfavorables del clima. Tadeo *et al.* (2015) evaluaron cuatro genotipos de maíz en diferentes fechas de siembra (17 de mayo; 1 de junio) en Cuautitlán Izcalli (2 240 msnm) y verificaron que la siembra realizada el 17 de mayo presentó mayor rendimiento de grano en relación a la segunda siembra. A medida que se retrasa la siembra del maíz en Valles Altos, es afectado por la distribución irregular de las lluvias, reducción de la radiación solar y las bajas temperaturas (heladas) durante el ciclo, reduciendo así el potencial productivo del cultivo. Las localidades de Jocotitlán y Temascalcingo se observó una diferencia de 0.5 t ha<sup>-1</sup> lo que puede estar influenciado por la fecha de siembra cercana una de la otra.

En las localidades de Temascalcingo y Jilotepec, las mejores respuestas se presentaron en T2 y T3, y de Jocotitlán en T4 (datos no presentados), esto puede ser explicado por el pH de los suelos (Cuadro 2),  $\text{pH} \geq 6.5$  pueden provocar la indisponibilidad de los micronutrientes en el

suelo, lo que pudo haber provocado mayor absorción de los productos de bioestimulantes (T2, T3) que contienen micronutrientes en su composición. Y es evidente en Jocotitlán que presenta pH de 5.6, moderadamente bajos contenidos de Ca y Mg (Cuadro 2), permitió mejor absorción de Eurodual (T4) que contienen estos nutrientes. Por otra parte, los bioestimulantes fueron afectadas por las bajas temperaturas durante la aplicación en los tres ambientes de producción. En las primeras horas del día (7-9 am) la temperatura es más bajo, con humedad relativa más alto, estos dos hechos combinados implican en un menor déficit de presión de vapor (Fernández *et al.*, 2015) que está asociado en la abertura y cierre estomático, lo cual permite mayor eficiencia en la absorción de bioestimulantes foliares.

Por otra parte, existen evidencias que muestran resultados contrastantes en diferentes ambientes de producción (Canales *et al.*, 2017; López *et al.*, 2017), este efecto significativo se debe a las diferentes condiciones agroclimáticas, manejo del cultivo y la diferenciación genética de los híbridos evaluados. Por lo tanto, resulta pertinente el esfuerzo continuo en el programa de mejoramiento para evaluar la estabilidad y rendimiento de los materiales disponibles para cada ambiente específico, a fin de discriminar híbridos que presenten respuestas favorables en los diferentes agroecosistemas de Valles Altos de México.

Los híbridos presentaron diferencia altamente significativa en todas las variables agronómicas evaluadas (Cuadro 2) lo que indica que los genotipos utilizados presentan una gran diversidad fenotípica, estadísticamente los híbridos presentan índices de rendimientos diferenciados entre sí (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Medias de rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>) de once híbridos de maíz en función a tratamientos foliares con bioestimulantes. Media de tres ambientes de Valles Altos de México. INIFAP, 2017.

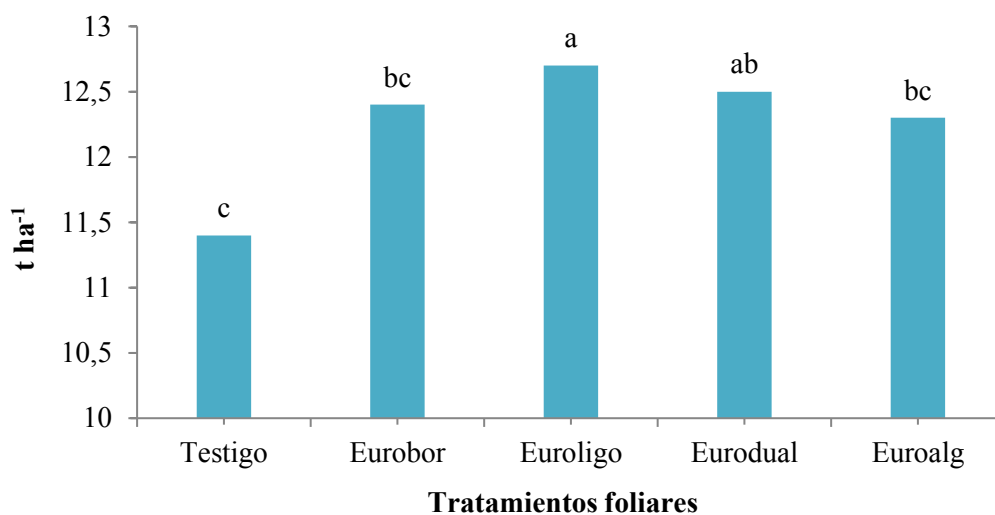
Híbridos	Bioestimulantes					Media de híbridos
	Testigo (T1)	Eurobor (T2)	Eurologo (T3)	Eurodual (T4)	Euroalg (T5)	
TSIRI PUMA	10.9 bcdB	12.0 bA	11.9 cA	11.7 cAB	10.9 dB	11.5 f
ATZIRI PUMA	10.9 bcdB	11.9 abA	12.2 bcA	12.0 bcA	11.7 cdAB	11.7 ef
TLAOLI PUMA	11.5 abcC	12.8 abA	11.9 cBC	12.6 abcAB	11.9 bcdABC	12.1 cde
IXIM PUMA	11.6 abcC	11.9 bBC	13.1 abA	12.6 abcAB	12.7 bcAB	12.4 bcd
H-47 AE	11.2 abcdB	13.0 aA	13.2 abA	12.9 abA	11.9 bcdB	12.4 bcd
H-49 AE	10.7 dB	12.4 abA	12.7 abcA	11.8 cA	12.3 bcA	11.9 ef
H-50	11.2 abcdC	12.5 abB	13.0 abAB	13.4 aA	12.9 abAB	12.6 ab
H-66	12.0 aC	12.9 aB	13.2 abAB	13.0 abB	13.9 aA	13.0 a
H-76	11.9 abC	12.4 abABC	13.3 aA	12.2 bcBC	12.9 abAB	12.6 ab
H-77	11.5 abcB	12.0 abAB	12.6 abcA	12.2 bcAB	12.0 bcAB	12.1 cde
#46#48	11.9 abB	13.0 aA	12.9 abcA	13.0 abA	12.0 bcB	12.5 bcd
Media de bioestimulantes	11.4 C	12.4 B	12.7 A	12.5 B	12.3 B	12.3
CV %	6.4					

Medias con la misma letra minúscula en la columna y mayúscula en la línea son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). C.V. coeficiente de variación

El rendimiento promedio de los híbridos varió de 11.5 (Tsiri puma) a 13.0 (H-66) t ha<sup>-1</sup> con un rendimiento medio de 12.3 t ha<sup>-1</sup> de grano. Se destacan los híbridos H-66, H-50 y H-76 con rendimiento promedio de 13.0, 12.6 y 12.5 t ha<sup>-1</sup> respectivamente. Mientras los híbridos Tsiri Puma (11.5 t ha<sup>-1</sup>) y Atziri Puma (11.7 t ha<sup>-1</sup>) evidenciaron rendimientos bajos en este estudio.

Sin embargo, estos resultados superan la media de la región y reportados en estudios recientes (Tadeo *et al.*, 2015; Tadeo *et al.*, 2016b; López *et al.*, 2017; Tadeo *et al.*, 2017), donde obtuvieron rendimientos relativamente bajos para estos mismos híbridos. Lo anterior, se debe al uso y transferencias de tecnologías de producción generadas por los Centros de Investigación para el manejo del cultivo, como es el programa de fertilización con énfasis a la extracción de los nutrientes (Zamudio *et al.*, 2016), la eficiencia agronómica de fertilización al suelo (Zamudio *et al.*, 2015a), recientemente la fertilización foliar complementaria con bioestimulantes (Zamudio *et al.*, 2018) y productos a base de aminoácidos (Quezada *et al.*, 2015; Tejeda *et al.*, 2018) que impacta de manera directa en el rendimiento de los cultivos. No obstante, es necesario el estudio continuo de las respuestas de la fertilización foliar de estos productos en el cultivo de maíz con el objetivo de optimizar las dosis, número necesarios y épocas de aplicaciones.

Los tratamientos foliares con bioestimulantes fueron estadísticamente diferentes para las características agronómicas, excepto para producción de paja (Cuadro 2). Con relación al testigo para cada bioestimulante se detectó incremento en el rendimiento de grano de maíz de 11.4, 9.6, 8.8 y 7.9% para T3, T4, T2, T5, respectivamente (Cuadro 3, Figura 1).



**Figura 1.** Efectos de los bioestimulantes foliares en el rendimiento de grano de maíz. Promedio de tres ambientes y once híbridos.

En promedio de dos ciclos agrícolas, Tejada *et al.* (2018) observaron incremento en el rendimiento de grano de maíz en un 14%, cuando aplicaron fertilización foliar con bioestimulante a base de aminoácidos libres provenientes de tejido epitelial de pollo. Ahmad *et al.* (2007), en un estudio de campo realizado en Pakistán, donde el compost aplicado al suelo se enriqueció con triptófano, descubrió que el compost enriquecido aumentaba el rendimiento de grano de maíz en aproximadamente un 21% en un suelo franco arcilloso arenoso. En contraste, Quezada *et al.* (2015), reportaron que en la fertilización de subproducto de biosíntesis de triptófano y lisina no influyeron en el rendimiento de grano pero si detectaron diferencia significativa para índice de cosecha (IC) en relación al testigo, sin embargo, sugieren que existe el potencial en los subproductos de biosíntesis de aminoácidos como fuentes de N en complemento a la fertilización nitrogenado (nitrato y sulfato de amonio) para producir altos rendimientos de grano de maíz.

La mejor respuesta se observó en T3 con un aumento de 11.4% en el rendimiento, lo que representa 1.3 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz (Cuadro 3, Figura 1) comparado con el testigo, seguidos por T4, T2 y T5. El T3, además de aminoácidos libres, contienen micronutrientes (Zn 1%, Mn 0.5%, Fe 0.5 %, B 0.1%, Mo 0.01%) de fácil asimilación para las plantas debido al efecto quelatante de los aminoácidos sobre los micronutrientes (Cu, Mn, Zn y B) dentro de la planta, que facilita su absorción y transporte cuando se aplican juntos, también afectan positivamente la

permeabilidad de la membrana celular (Ibrahim *et al.*, 2010), además están particularmente involucrados en la fase reproductiva de la planta y por lo tanto, en la determinación del rendimiento y la calidad del cultivo cosechado (Mawgoud *et al.*, 2011).

Cabe destacar que los micronutrientes independientemente de ser requeridos por las plantas en pequeñas cantidades son esenciales en el desarrollo y reproducción de la planta. De acuerdo con Taiz *et al.* (2017) los micronutrientes son activadores y/o componentes estructurales de varias enzimas. En este sentido, los productos nitrogenados a base de aminoácidos combinado con micronutrientes esenciales como el Zn y B representan una alternativa para los suelos de Valles Altos debido a las bajas concentraciones de estos micronutrientes para estos agroecosistemas (Cuadro 1). La presencia de estos nutrientes en los productos permite subsanar su carencia en los suelos, optimizando las actividades vegetativas y reproductivas a las plantas. Se observa que al aplicar aminoácidos con presencia de 3% de boro (T2) supera al testigo en el rendimiento de grano con 8.8% con rendimiento de 1.1 t ha<sup>-1</sup> de producción de grano de maíz. Lo anterior corrobora que los micronutrientes una vez asimilado por las plantas e incorporados en los tejidos vegetales son eficazmente transportados por los complejos de aminoácidos, afectando en el rendimiento del grano.

Con relación al T5 (Euroalg), a pesar de la ausencia de los aminoácidos libres en su composición tuvo un aumento de 7.9% en rendimiento de grano respecto al testigo y presentó similar respuesta con el T2 y T4 de este estudio. Aún se desconoce el mecanismo de acción del extracto de algas marinas para mejorar la productividad de los cultivos agrícolas (Mohanty *et al.*, 2013). Sin embargo, además de su composición (10% de carbono orgánico y 1% de nitrógeno orgánico), naturalmente contiene en los materiales de origen una fuente rica en minerales, vitaminas, carbohidratos y promotores de crecimiento, que puede ser una alternativa para su uso como fertilizante foliar orgánico, ya que impacta en el rendimiento de grano.

Los anteriores resultados positivos coinciden con otras citas sobre la fertilización foliar con extractos de algas marinas como complemento a la fertilización al suelo, entre las cuales se destacan: Galindo *et al.* (2015) observaron incremento en el rendimiento de grano de maíz con extracto de *Egeria densa*, en relación al testigo de 8.0 y 6.2%, en una única aplicación (VT) y en

dos aplicaciones (VT y R2), respectivamente. Kumar y Sahoo (2011) reportaron mayor rendimiento en *Triticum aestivum* en la aplicación foliar de 20% de extracto de *Sargassum wightii*, con un aumento del 13,69% en número de semillas y un aumento del 22,86% en el peso seco de las semillas respecto al testigo.

Los genotipos evaluados presentan respuestas favorables en rendimiento de grano en la aplicación de los bioestimulantes foliares (Cuadro 3). No obstante, los híbridos, Atziri Puma, H-49 AE, H-50 y H-77 se destacan al mantener las mejores repuestas de rendimiento entre los cuatro tratamientos con relación al testigo (Cuadro 3). Dentro del T2 los híbridos con mejores respuestas fueron Tlaoli Puma, H-47AE, H-66 y #46#48; para T3 (Ixim puma, H-47AE, H-66, #46#48), en T4 (Tlaoli Puma, Ixim Puma, H-47 AE, H-50, H-66 y #46#48), y para el T5 la mejor respuesta se presentó en H-66. La fácil asimilación por los complejos de los aminoácidos es responsable del aumento en el rendimiento de grano, destacando nuevamente la influencia de los nutrientes contenidos en los productos aplicados a la planta.

Las variables agronómicas evaluadas en este estudio presentaron diferencias significativas entre los foliares, excepto producción de paja que no varió entre los tratamientos (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Medias de ocho variables en función a cinco tratamientos foliares con bioestimulantes. Promedio de ambientes e híbridos en Valles Altos de México. INIFAP, 2017.

Tratamientos foliares	Variables							
	REN t ha <sup>-1</sup>	PV kg hL <sup>-1</sup>	PP t ha <sup>-1</sup>	HM No.	GH No.	NGM No.	P200 G	DM mm
Testigo-T1	11.4 c	79.9 b	14.6 a	16.0 b	29.7 b	473 c	64.8 c	47.7 c
Eurobor-T2	12.4 bc	80.6 a	15.5 a	16.5 ab	30.5 ab	502 bc	66.9 a	48.9 a
Eurologo-T3	12.7 a	80.3 ab	14.9 a	16.4 ab	31.0 a	507 ab	65.5 ab	48.2 ab
Eurodual-T4	12.5 ab	80.0 b	15.3 a	16.5 ab	30.4 ab	499 bc	66.0 ab	48.4 ab
Euroalg-T5	12.3 bc	80.0 b	14.7 a	16.6 a	31.1 a	516 a	65.7 ab	48.1 ab

Medias con la misma letra minúscula en la columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

C.V. Coeficiente de variación. REN=rendimiento de grano; PV= peso volumétrico; PP= producción de paja; HM=hilera por mazorca; GH=granos por hilera; NGM=número de granos por mazorca; P200=peso de 200 granos; DM=diámetro de mazorca.

Adicionalmente se destaca el T2 (Eurobor) que impactó en mayor densidad del grano de maíz ( $80.6 \text{ kg hL}^{-1}$ ), hileras por mazorca (16.5), peso de 200 granos (66.9 gramos) y diámetro de mazorca (48.9 mm) seguidos por T3, T4, T5, respectivamente (Cuadro 4) comparado con el testigo. Esta respuesta de T2 probablemente se debe por la presencia de 3% B que, entre otras funciones, participa en el desarrollo de frutos y semillas, responsable de transporte de azúcares, desarrollo de hormonas y división celular (Goldbach, 2001). En trabajos pioneros sobre el efecto del boro en la formación de la mazorca y los componentes de rendimiento de grano de maíz, Mozafar (1987) y Vaughan (1977) concluyen que, en la deficiencia de B, las estigmas se vuelven poco receptivas al polen, esto porque el B es inmóvil en el floema de la planta, lo que lleva en menor número de hileras y granos por hilera en la mazorca, por lo que se recomienda la aplicación de B para una mejor polinización y formación de granos, lo que es evidente en este trabajo.

Las diferencias significativas para hileras por mazorca, granos por hilera y número de granos por mazorca en el factor bioestimulante (Cuadro 4) evidencian consistencia de las tres variables en los tratamientos foliares, lo que influyó en el rendimiento de grano tanto en el tratamiento con mayor rendimiento (Euroligo) así como el testigo que presentó rendimiento menor. Se detectó una correlación positiva entre HM vs NGM ( $r=61$ ) y GH vs NGM ( $r=77$ ). Las hileras por mazorca, granos por hilera y número de granos por mazorca proporcionaron valores del orden de 16-16.6; 29.7-31.1; 473.3-515.6, respectivamente (Cuadro 4). Este último, en promedio de los cuatro tratamientos con bioestimulantes representa un incremento de 6.9%, con relación al testigo. Tejada *et al.* (2018) verificaron aumento de un 8.9 hasta 15.8% número de granos por mazorca cuando aplicaron dosis creciente de bioestimulantes a base de aminoácidos, en dos ciclos agrícolas.

Los datos anteriores también superan los informados recientemente (Tadeo *et al.*, 2016b; Canales *et al.*, 2017; López *et al.*, 2017) con híbridos de tecnología androestéril (AE) y fértil (F) adaptadas para condiciones de ambiente similares a este estudio. Las respuestas positivas observadas en hileras por mazorca, granos por hilera y número de granos por mazorca se relaciona con la calidad genética de la semilla de nuevos híbridos de maíz, la adopción de las mejores

prácticas agrícolas, como la fertilización foliar complementaria (Zamudio *et al.*, 2018) con bioestimulantes, y la aplicación oportuna de nutrimento en épocas de mayor demanda.

Por otra parte, la Industria de la masa y la tortilla (IMT) y de Harina Nixtamalizada (IHN) demandan granos con un PV mayor a 74.0 kg hL<sup>-1</sup> (SE, 2002). Los bioestimulantes foliares incidieron sobre el peso volumétrico al presentar granos muy densos que varían del orden de 79.9 (T1) a 80.6 (T2) kg hL<sup>-1</sup>, estos valores superan lo reportado en trabajo reciente (Zamudio *et al.*, 2018) con fertilización foliar complementaria con diferentes productos enriquecidos de material orgánico nitrogenados. Se presentó una estrecha correlación positiva entre PV y REN ( $r=60$ ) lo cual permite deducir que los híbridos evaluados con manejos agronómicos más finos como la fertilización foliar de aminoácidos y extractos de algas marinas resultan aptos para la industria.

El peso volumétrico presentó respuestas favorables en la aplicación de los productos foliares, probablemente porque los fotoasimilados acumulados en la parte aérea de la planta son direccionados en el órgano de interés económico (grano) durante el llenado y maduración del grano de la mazorca (Quezada *et al.*, 2015) impactando en la disminución de la producción de paja. Lo anterior, puede ser explicado la diferencia no significativa del factor bioestimulante para producción de paja con promedio de 15.0 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 4) y una correlación negativa entre PP vs PV ( $r = -0.17$ ) (datos no mostrados).

En la comparación de medias del peso de 200 granos presentó diferencia significativa en los bioestimulantes que varió de 64.8 a 66.9 g, el mayor fue T2 (Eurobor) que registró el valor máximo, y el menor peso corresponde al testigo foliar (T1) (Cuadro 4). El aumento en el peso de 200 granos se debió probablemente, por la aplicación de los productos nitrogenados que mantuvieron la actividad fotosintética de la planta por un período más prolongado, permitiendo mayor acumulación de reservas en los granos y finalmente mayor peso de los granos cosechados. El resultado de este trabajo corrobora lo informado por Gazola *et al.* (2014), sobre la correlación positiva que existe entre la masa del grano y el rendimiento de maíz que fue de  $r=50$  (datos no mostrados).

Con relación al diámetro de mazorca presentaron diferencias significativas para el factor bioestimulante (Cuadro 4). El diámetro de mazorca varió de 47.7 (T1) a 48.9 (T2) mm,

respectivamente. Al igual que las otras variables anteriores, los cuatro tratamientos superan al testigo foliar (T1). Los valores de DM observados son similares a los reportados en la literatura (Espinosa *et al.*, 2009; Zamudio *et al.*, 2018; Rivas *et al.*, 2018) y superiores a los informados por Zamudio *et al.* (2015b) que observaron en media, diámetro de mazorca de 40.7 mm al evaluar rendimientos de híbridos y variedades de maíz para grano en siembra a doble hilera. El diámetro de mazorca está asociado con el factor genético de las semillas, el manejo agronómico y las condiciones ambientales que prevalece durante el ciclo. En este sentido, los tratamientos foliares con bioestimulantes mostraron ventajas en los diámetros de mazorca en los genotipos, por lo que podrían considerarse en programas de producción de semillas tomando en cuenta la importancia de esta variable sobre el rendimiento de grano (Rivas *et al.*, 2018).

De manera general, se observó en este trabajo, así como en Quezada *et al.* (2015); Galindo *et al.* (2015); Zamudio *et al.* (2018) y Tejada *et al.* (2018) los productos foliares aplicados en plantas de maíz proporcionan aumentos significativos en el rendimiento y en las características agronómicas del maíz. Por lo tanto, en condiciones favorables, la aplicación de aminoácidos en momento crítico de crecimiento y desarrollo de la planta puede favorecer a los cultivos, sobre todo en condiciones de estrés osmótico (heladas, sequía). Sin embargo, se sugieren una investigación adicional para comprender mejor las transformaciones bioquímicas de los aminoácidos y extractos de algas en el cultivo de maíz. Vale resaltar que ni en todas las características son influenciadas por la aplicación foliar de los productos.

## **CONCLUSIONES**

En Valles Altos del Estado de México en condiciones edafoclimáticas favorables se obtuvieron altos rendimientos grano de maíz con promedio de 12.3 t ha<sup>-1</sup>. Temascalcingo se destaca con mayor rendimiento de grano de 13.5 t ha<sup>-1</sup>. Los híbridos H-66, H-50 y H-76 fueron más productivos con rendimiento promedios de 13.0, 12.6 y 12.5 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, sin embargo, todos los híbridos evaluados es este estudio resultan una alternativa para las condiciones de Valles Altos del Estado de México. Los cuatro tratamientos foliares proporcionaron

incremento en el rendimiento de grano de 7.9 hasta 11.4% en relación al testigo. La fertilización foliar con aminoácidos y extractos de algas marinas mejoran los componentes agronómicos y en el rendimiento de grano de maíz.

## LITERATURA CITADA

- Ahmad, R.; Khalid, A.H.; Arshad, M.; Zahir, A. and Mahmood, T., 2007. Effect of compost enriched with N and L-tryptophan on soil and maize. *Agron. Sustain. Dev.* 2 (28): 1–7.
- Ashmead, H. D. 1986. The absorption mechanism of amino acid chelates by plant cells. In: Ashmead, H. D. *Foliar feeding of plants with amino acid chelates*. Noyes Publications, Park Ridge, NY. pp.219–235.
- Battacharyya, D.; Babgohari M. Z.; Rathor P. and Prithiviraj B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Sci. Hort.* 1 (196):39–48. Doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.012.
- Bulgari, R.; Cocetta, G.; Trivellini, A.; Vernieri, P. and Ferrante, A. 2015. Biostimulants and crop responses: a review, *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems*, 1 (31): 1-17, Doi: 10.1080/01448765.2014.964649.
- Cavani, L.; Ter Halle, A.; Richard, C. and Ciavatta, C. 2006. Photosensitizing properties of protein hydrolysates-based fertilizers. *J. Agr. Food Chem.* 24 (54): 9160–9167.
- Calvo, P.; Nelson, L. and Kloepper, J.W.; 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil.* 1-2 (383): 3–41.
- Canales, I. E. I.; Tadeo, R. M.; Mejía, C. J. A.; García, Z. J. J. y Espinosa, C. A. 2017. Semilla fértil y androestéril de maíz bajo diferentes densidades de población. México. *Ecosist. Recur. Agropec.* 4(12):465-473.
- Colla, G.; Hoagland, L.; Ruzzi, M.; Cardarelli, M.; Bonini, P.; Canaguier, R.; and Rouphael, R. 2017. Biostimulant Action of Protein Hydrolysates: Unraveling Their Effects on Plant Physiology and Microbiome. *Front. Plant Sci.* 2202 (8): 1-14. doi: 10.3389/fpls.2017.02202.
- Crouch, I.J. and Van Staden J. 1991. Evidence for rooting factors in a seaweed concentrate prepared from *Ecklonia maxima* J. *Plant Physiol.* 3(137): 319-322.
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hort.* 1 (196): 3–14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R.M.; Sierra, M. M.; Turrent, F. A.; Valdivia, B. R. y Zamudio, G. B. 2009. Rendimiento de híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en México. *Agronomía Mesoamericana.* 2(20):211-216.
- Fernández, V; Sotiropoulos, T; Brown, P. 2015. Fertilización foliar: principios científicos y práctica de campo. Paris, Francia, Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). p. 49–82.

- Galindo, S. F.; Nogueira, M. L.; Bellote, J.L.M.; Gazola, R. N.; Alves, C. J.; Teixeira Filho, M. C. M. 2015. Desempenho agrônomo de milho em função da aplicação de bioestimulantes à base de extrato de algas. *Tecnol. & Ciên. Agropec*, 1 (9): 13-19.
- Gazola, D.; Zucareli, C.; Silva, S. R.; Fonseca, C. B. I. 2014. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 1(18): 700–707.
- Goldbach, H. E.; YU, Q.; Wingender, R.; Schulz, M.; Wimmer, M.; Findeklee, P. and Baluska, R. Rapid response reactions of roots to boron deprivation. 2001. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2 (164):173-181.
- Grabowska, A.; Kunicki, E.; Sekara, A.; Kalisz, A. and Wojciechowska, R. 2012. The effect of cultivar and biostimulant treatment on the carrot yield and its quality. *Veg. Crops Res. Bull.* 1(77):37–48.
- Haider, M. W.; Ayyub, C.M.; Pervez, M.A.; Asad, H.U.; Manan, A.; Raza, S.A. and Ashraf, I. 2012. Impact of foliar application of seaweed extract on growth, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Soil Environ.* 2 (31):157–162.
- Ibrahim, S.M.M.; Taha, L.S.; Farahat, M.M. 2010. Influence of foliar application of pepton on growth, flowering and chemical composition of *Helichrysum bracteatum* plants under different irrigation intervals. *Ozean J. Appl. Sci.* 3(1): 143-155.
- Jannin, L.; Arkoun, M.; Etienne, P.; Laîné, P.; Goux, D.; Garnica, M.; Fuentes, M.; Francisco, S.S.; Baigorri, R. and Cruz, F. 2013. Brassica napus growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms *J. Plant Growth Regul.*, 1 (32): 31-52.
- Jones, D. L., and Kielland, K. 2002. Soil amino acid turnover dominates the nitrogen flux in permafrost-dominated taiga forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 2 (34): 209–219. doi: 10.1016/S0038-0717(01)00175-4.
- Kauffman, G.L.; Kneivel, D.P. and Watschke, T.L., 2007. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. *Crop Sci.* 1 (47): 261–267.
- Kumar, P. and Sahoo, D. 2011. Effect of seaweed liquid extract on the growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold J. *Appl. Phycol.* 2 (23):251-255.
- López, L. C.; Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; García, Z. J.; Benítez, R. I.; Vázquez, C. M. y Carrillo, S. J. 2017. Productividad de cruzas simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. *México. Rev. Mex. de Cien. Agric.* 3(8): 559-570.
- Maeda, H. and Dudareva, N. 2012. The shikimate pathway and aromatic amino acids biosynthesis in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 1(63):73–105. doi: 10.1146/annurev-arplant-042811-105439.
- Mattner, S. W.; Wite, D.; Riches, D.A.; Porter, I. J. and Arioli, T. 2013. The effect of kelp extract on seedling establishment of broccoli on contrasting soil types in southern Victoria, Australia. *Biol Agric Hort* 4 (29):258–270.
- Mawgoud, A.M.R. A; El-Bassiouny, A.M.; Ghoname, S.D.A and Hussein, A. 2011. Foliar Application of Amino Acids and Micronutrients Enhance Performance of Green Bean Crop

- under Newly Reclaimed Land Conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(6): 51-55.
- Mladenova, Y.I.; Maini, P.; Mallegni, C.; Goltsev, V.; Vladova, R. and Vinarova, K. 1998. Siapton–anamino-acid-based biostimulant reducing osmostress metabolic changes in maize. Agro Food Ind. Hi-Tech. 6 (9):18–22.
- Mohanty, D.; Adhikary, S. P. and Chattopadhyay, G. N. 2013. Seaweed liquid fertilizer (slf) and its role in agriculture productivity. Ecoscan. Special issue (3): 147-155.
- Mozafar, A.A.1987. Effect of boron on ear formation and yield components of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. A. Institute of Plant Sciences, Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ), 8092, Zurich.
- Parrado, J.; Bautista, J.; Romero, E.J.; García-Martínez, A.M.; Friaza, V. and Tejada, M. 2008. Production of a carob enzymatic extract: potential use as a biofertilizer. Biores.Technol. 7(99): 2312–2318.
- Petrozza, A; Summerer, S.; Di Tommaso, G.; Di Tommaso, D. and Piaggese, A. 2013. Evaluation of the effect of Radifarmw treatment on the morpho-physiological characteristics of root systems via image analysis. Acta Hortic. 1009 (18) :149–153.
- Popko, M.; Michalak, I.; Radosław, W.; Mateusz, G.; Katarzyna, C. and Henryk, G. 2018. Effect of the New Plant Growth Biostimulants Based on Amino Acids on Yield and Grain Quality of Winter Wheat. Molecules. 23 (470):1-13. doi: 10.3390/molecules23020470.
- Quezada, J.C; Lenssen, A.W.; Moore, K.J.; Sawyer, J.E and Summer, P. 2015. Amino acid biosynthesis byproducts are a suitable source of nitrogen for corn production. Field Crop. Res. 1(184):123–132.
- Rai, V. K. 2002. Role of amino acids in plant responses to stresses. Biol. Plant. 4(45): 481-487.
- Rivas, M.A. J.; Carballo, A. C.; Quero, A.R.C.; Hernández A. G.; Rojas, A.R.G.; Mendoza, S.I. P. 2018. Comportamiento de componentes agronómicos y su productividad en híbridos trilineales de maíz forrajero (*Zea mays* L.). Agroproductividad. 5 (11): 93-99.
- SAS Institute. 2002. The SAS system for Windows user's guide. Release 9.4. SAS Institute, Cary, NC.
- Sotelo, R. E. D.; González, H. A.; Cruz, B. G.; Moreno, S. F. y Cruz, C. G. 2011. Los suelos del estado de México y su actualización a la base referencial mundial del recurso suelo 2006. Rev. Mex.Cienc. Forestales 8 (2): 71-84.
- Tadeo, R. M. R.; García Z. J. J.; Alcántar, L. V.; Lobato, O. R.; Gómez, M. N. O.; Sierra, M. M.; Irizar, G. M. B. G.; Valdivia, B. R.; Zaragoza, E. J.; Martínez, Y. B.; López, L. C, Espinosa, C. A; Turrent, F. A. 2017. Biofertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles para los Valles Altos de México. Terra Latinoamericana 1(35): 65-72.
- Tadeo, R. M.; Zaragoza, E. J.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Virgen, V. J.; Mora, G. K. Y. y Valdivia, B. R. 2016b. Productividad de la generación F1 y F2 de híbridos de maíz (*Zea mays* l.) de Valles Altos de México. Texcoco, México. Agrociencia. 1(50):33-41.

- Tadeo, R. M.; Zamudio, G. B.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Cárdenas, M. A. L.; López, L. C.; Arteaga, E. I.; Valdivia, B. R... 2015. Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Rev. Mex. de Cien. Agríc.* 1 (6): 33-43.
- Taiz, L.; Zieger, E.; Moller, I. M. e Murphy, A. In: *Fisiología e desenvolvimento vegetal*. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- Tejada, M.; Rodríguez, M.B.; P, P. and Parrado, J. 2018. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield. *European Journal of Agronomy*. 1(96): 54–59.
- Tejada, M.; Rodríguez, M.B.; Gómez, I.; Franco, A. L.; Benítez, C.; Parrado, J. 2016. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. *Eur. J. Agron.* 1 (78): 13–19.
- USDA. United States Department of Agriculture - Disponível em: <https://www.usda.gov/>. (Acceso en octubre. 2018).
- Vaughan, A. K. F. 1977. The relation between the concentration of boron in the reproductive and vegetative organs of Maize plants and their development. *Rhod. J. of Agric. Res.*1 (15): 163–170.
- Yakhin, O. I.; Lubyaynov, A. A.; Yakhin, I. A. and Brown, P. H. 2017. Biostimulants in plant science: a global perspective. *Front. Plant Sci.* 7:2049. doi: 10.3389/fpls.2016.02049.
- Zamudio, G. B.; Félix, R. A.; Martínez, G. A.; Galvão, C. J. C.; Espinosa, C. A. y Tadeo, R. M. 2018. Producción de híbridos de maíz con urea estabilizada y nutrición foliar. *Rev. Mex. de Cien Agríc.* 6 (9): 1231-1244.
- Zamudio, G. B.; Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Martínez, R. J. N. y Turrent, F. A. 2016. Índice de cosecha con macronutrientes en grano de maíz. *Rev. Mex. de Cien.Agríc.* 5(7):1077-1089.
- Zamudio, G. B.; Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Martínez, R. J. N.; Celis, E. D. I. y Valdivia, B. R. 2015a. Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrimentos en híbridos de maíz. *Rev.Mex. de Cien. Agríc.* 6(7): 1557-1569.
- Zamudio, G. B.; Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Envastin, D. J. J.; Martínez, R. J. N.; Felix, R. A.; Cárdenas, M. A. L. y Turrent, F. A. 2015b. Producción de híbridos y variedades de maíz para grano en siembra a doble hilera. *Rev. Mex.de Cien. Agríc.*7(6): 1491-1505.
- Zhao, Y. 2010. Auxin biosynthesis and its role in plant development. *Annu. Rev. Plant Biol.* 1 (61): 49–64. doi: 10.1146/annurev-arplant-042809-112308.

## CAPÍTULO 2

## **Respuesta en la aplicación foliar de aminoácidos sobre la extracción y partición de nutrientes en el maíz**

**RESUMEN:** México es el primer importador mundial de grano de maíz y es imperativo aumentar su producción. La siembra de semillas mejoradas con la adopción de las mejores prácticas agrícolas como la nutrición oportuna y balanceada posibilita a las plantas expresar su máximo potencial genético. El objetivo de este trabajo fue determinar respuesta de aminoácidos foliares sobre la extracción y partición de nutrientes en el grano de maíz en dos ambientes de Valles altos de México. Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en arreglo factorial de 2 localidades × 2 híbridos × 4 aminoácidos. Se midió el rendimiento de grano y materia seca de la planta. Fueron analizadas en laboratorio muestras de tejido vegetal para la determinación de macro y micronutrientes en la paja y grano. Se calculó la extracción total, remoción de nutrientes en el grano de maíz, e índice de cosecha de cada nutriente. Los datos fueron sometidos a análisis de variancia (ANOVA), y las medias comparadas por prueba de Tukey 5% de probabilidad de error. En la aplicación de los aminoácidos foliares incrementó los niveles de extracción y remoción de los nutrientes, aunado al incremento de rendimiento grano y biomasa de la planta. Para producción en promedio de 13.7 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz, se requieren aplicar en macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>): 292.3 de N, 87.2 de P, 238.1 de K, 66.2 de Ca, 47.8 de Mg y en micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>): 201 de Cu, 586.4 de Mn, 375.6 de Zn y 115.6 de B. Se identificaron altos índices de cosecha de P (74%), N (58%), Zn (54%) en el grano, ahí la necesidad de incorporar estos nutrientes al suelo y aplicación de aminoácidos foliares como complemento a la nutrición.

**Palabras-claves:** absorción de nutrientes, bioestimulantes, índice de cosecha, materia seca, *Zea mays* L.

## **Response in the foliar application of amino acids in the uptake and partition of nutrients in maize**

**ABSTRACT:** Mexico is the first world importer of corn grain and it is imperative to increase its production. The sowing of improved seeds with the adoption of the best agricultural practices such as timely and balanced nutrition allows the plants to express their maximum genetic potential. The objective of this work was to determine the response of foliar amino acids on the extraction and partition of nutrients in the maize grain in two environments of high valleys of Mexico. We used an experimental design of randomized complete blocks with four replicates, in a factorial arrangement of 2 localities  $\times$  2 hybrids  $\times$  4 amino acids. Was measured yield of grain and dry matter of the plant. Vegetable tissue samples were analyzed in the laboratory for the determination of macro and micronutrients in stover and grain. Were calculated total extraction, nutrient removal in the corn grain, and harvest index of each nutrient. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and the means compared by Tukey test 5% error probability. In the application of foliar amino acids increased the levels of extraction and removal of nutrients, coupled with the increase in grain yield and biomass of the plant. For an average production of 13.7 t ha<sup>-1</sup> corn grain are required macronutrients (kg ha<sup>-1</sup>): 292.3 of N, 87.2 of P, 238.1 of K, 66.2 of Ca, 47.8 of Mg and in micronutrients (g ha<sup>-1</sup>): 201 of Cu, 586.4 of Mn, 375.6 of Zn and 115.6 of B. Were identified high harvest rates of P (74%), N (58%), Zn (54%) in the grain, hence the need to incorporate these nutrients into the soil and application of foliar amino acids as a complement to nutrition.

**Keywords:** nutrient extraction, biostimulants, harvest index, dry matter, *Zea mays* L.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz desempeña un papel clave en los sistemas de producción en México, es considerado como uno de los cereales más importantes cultivadas y consumidas en el país debido a sus atributos de rendimiento, adaptabilidad y estabilidad de producción, sus características nutricionales, organolépticas y nutracéuticas (Turrent, 2017). Sin embargo, en el último año agrícola se importó alrededor de 14.8 millones de toneladas (SIAP, 2017), estas importaciones serán superiores a 15 millones de toneladas en los próximos años, ubicando a México como el importador de maíz número uno a nivel mundial (Espinosa y Tadeo, 2018).

Se requiere en promedio de aproximadamente 40 millones de toneladas para lograr la suficiencia en la producción de maíz, lo que es pertinente incentivar la producción sostenible de grano de maíz para cubrir esta demanda. México tiene un potencial de producción y puede alcanzarse con uso de semillas nativas y mejoradas por instituciones públicas adaptadas en condiciones agroclimáticas específicas y en paralelo haciendo uso de tecnologías de manejo y nutrición amigables con el medio ambiente (Zamudio *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2018a).

Dentro de estas tecnologías, el uso de aminoácidos foliares aplicados a través de la fertilización foliar, se considera como una de las estrategias agronómicas propicias para el aumento en rendimiento de grano (Tejada *et al.*, 2018), no obstante con el aumento de la producción se asocia con el aumento de mayor absorción y partición de nutrientes (Bender *et al.*, 2013) en el cultivo de maíz. Actualmente la fertilización foliar es una técnica agronómica altamente eficiente ya que favorece la asimilación de nutrientes en la planta, contribuye una agricultura más sostenible y amigable con el medio ambiente (Fernández *et al.*, 2015), además de reducir los efectos de la contaminación de las aguas subterráneas.

Los aminoácidos participan directamente en el metabolismo de las plantas y sus funciones están relacionadas a los aspectos fisiológicos y biológicos. La fertilización foliar de aminoácidos aplicados a la planta, aumenta el crecimiento de raíces, mejora la absorción y asimilación de macro y micronutrientes debido a su efecto quelatizante, pero particularmente mejora la tolerancia

al estrés abiótico (Colla *et al.*, 2017) aumentando la productividad y la calidad del producto cosechado (Parrado *et al.*, 2008; Tejada *et al.*, 2016).

Por otra parte, el maíz producido en Valles Altos de México con temperaturas frías es de ciclo muy largo (220 a 240 días de la siembra en marzo a cosecha en noviembre). En este periodo, los riesgos de pérdidas de cosecha son altas por condiciones de agobio de clima adverso por irregular ocurrencia de lluvias, bajas temperaturas y radiación solar, heladas tempranas o tardías y granizadas las cuales aunadas a suelos erosionados ácidos con bajos índices de fertilidad y variedades de bajo potencial de rendimiento susceptibles al acame se traducen en pobres rendimientos de grano (María *et al.*, 2003).

La intensidad y la duración de algún estrés determinan las pérdidas del rendimiento, por ello la aplicación de aminoácidos puede constituir una tecnología para mitigar el efecto del estrés en etapas críticas de germinación, crecimiento vegetativo, florecimiento y llenado de granos. Resulta una ventaja debido al aporte energético con vistas a la prevención y recuperación de estrés de la planta. Vale resaltar que los aminoácidos no sustituyen en la aplicación de los nutrientes (Du Jardín, 2015), siendo apenas utilizada como fertilización complementaria que deberá ser recomendada por medio del análisis de suelo, considerando el rendimiento esperado. Aunque, Quezada *et al.* (2015) sugiere que es posible reemplazar los fertilizantes nitrogenados (nitratos y sulfato de amonio) por subproductos de biosíntesis de aminoácidos (triptófano y lisina) como fuentes de N en una base equivalente para producir altos rendimientos de grano de maíz.

Otro estudio de campo de un ciclo agrícola, Henning (2007, sin publicar) informó que se podrían usar los subproductos de biosíntesis de Lisina (LYS) como fuentes de N ya que los rendimientos de grano de maíz no se vieron afectados negativamente. Gioseffi *et al.* (2012) evaluaron la absorción de aminoácidos (glicina) y nitrógeno inorgánico en plantas de trigo y concluyen que los aminoácidos pueden constituir una fuente significativa de N para este cultivo, sin embargo, las formas de N orgánico e inorgánica tienen implicaciones para una evaluación adicional de la contribución de aminoácidos como fuentes nitrogenadas en la nutrición de plantas.

La demanda nutricional de una planta se determina por la cantidad de nutrientes que extrae del suelo durante su ciclo, siendo necesario poner a su disposición la cantidad requerida, que debe

ser suministrada por el suelo a través de los fertilizantes (Bender *et al.*, 2013; Ciampitti y Vyn, 2014; Martínez *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2018). Existen pocos datos recientes sobre la demanda nutricional y la mayoría de las publicaciones se centran principalmente en los macronutrientes, elementos más demandados por el cultivo. En general, los trabajos sobre la extracción de nutriente y curvas de absorción en maíz se realizaron en otros países y con variedades diferentes, en su mayoría híbridos transgénicos (Bender *et al.*, 2013, Ciampitti *et al.*, 2014; Martínez *et al.*, 2018b; Silva *et al.*, 2018) que históricamente demanda mayor nutriente y uso de agroquímicos.

Aunque ha habido un notable avance en las investigaciones sobre fertilidad del suelo y nutrición de plantas en México, falta información actualizada en cuanto a las exigencias nutricionales del maíz. La nutrición mineral adecuada de la planta puede ser obtenida por medio de programas de fertilización que consideren, además de la cantidad de fertilizantes aplicadas, el balance de nutrientes requeridos con base en la fertilidad del suelo, análisis foliar, épocas de mayor demanda de acuerdo a las etapas fenológicas de la planta, el rendimiento estimado (Ciampitti y Vyn, 2011, 2014) y condiciones climáticas apropiadas, principalmente en cuanto a la precipitación pluviométrica.

La escasez de información en cuanto a las exigencias nutricionales de híbridos de maíz con potencial productivo para condiciones de Valles Altos de México se justifica para la realización de estudios que consideren estas variedades y la eficiencia del aprovechamiento de nutrimentos cuando se aplican aminoácidos foliares. Estudiar la absorción de nutrientes y la acumulación de materia seca es de fundamental importancia para subsidiar estrategias de definición en las cantidades óptimas que deben ser aplicadas al suelo a fin de mantener la fertilidad (Martínez *et al.*, 2018b; Silva *et al.*, 2018). La utilización racional, eficiencia de los insumos y el manejo del cultivo proporciona aumento en el rendimiento y reducción en los costos de producción en el cultivo. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta de aminoácidos foliares sobre la extracción y partición de nutrientes en el grano de maíz en dos ambientes de Valles Altos de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron experimentos en dos localidades de Valles Altos del Estado de México en el ciclo agrícola primavera-verano (P-V) 2017. El primer experimento se ubicó en Jocotitlán (JOC) (19°43' N, 99°51' O, y 2700 msnm), con precipitación media anual de 669.0 mm y temperatura oscila entre 3.0 y 24.0 °C, siembra fue realizado el 10 de abril; y el segundo en Temascalcingo (TEM) (19°55'N, 100°00' O, y 2350 msnm), precipitación media anual de 874.6 mm, con temperatura entre 10.6 y 23.0 °C, cuya siembra fue realizada el 22 de abril.

En las dos áreas experimentales, se caracterizan con suelos Phaeozem de color oscura, rica en materia orgánica y de textura franco arcillosa (30, 38, 32% de arcilla, limo y arena respectivamente) (Sotelo *et al.*, 2011). Los experimentos fueron manejados en condiciones de temporal. En cada uno de los experimentos fueron evaluados los híbridos H-50 y H-49 AE, este último de tipo trilineal con tecnología androestéril (Espinosa *et al.*, 2018). En el Cuadro 1 se presentan los resultados de análisis químicos del suelo en los dos ambientes de Valles Altos del Estado de México.

**Cuadro 1.** Características químicas del suelo en dos ambientes, en profundidades de 0-20 cm, antes de la siembra. INIFAP. Ciclo agrícola P-V, 2017.

Ambiente	pH	MO	P <sup>1</sup>	K	S	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC	V <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
	Agua	%	--- mg dm <sup>-3</sup> ----					----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			--- % ----	
Jocotitlán	5.6	2.1	46.8	205	5.6	5.6	2.3	0.2	0.8	10.1	80.9	1.8
Temascalcingo	6.7	1.9	72.2	350	2.8	6.6	3.2	0.0	0	11.0	95.0	0

*Notas:* <sup>1</sup>Método de Bray 1. <sup>2</sup>Saturación de base. <sup>3</sup>Saturación de aluminio. Micronutrientes (mg dm<sup>-3</sup>): Jocotitlán: B = 0.18; Cu = 1.01; Fe = 96.1; Mn = 35.8; Zn = 0.57; Temascalcingo: B = 0.65; Cu = 1.01; Fe = 46.4; Mn = 39.7; Zn = 2.57

En los dos experimentos la densidad de población fue de 85,000 plantas ha<sup>-1</sup>, con distancia entre surco de 0.80 m, cada parcela experimental fue constituida de ocho surcos de 20 metros de longitud. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en arreglo factorial de 2 ambiente (A) × 2 híbridos (H) × 4 foliares (F).

Previo a la siembra las semillas fueron tratadas con Crusier® (tiametoxam 50 mL ha<sup>-1</sup>) e insecticida Force® (10 teflutrina 15 kg ha<sup>-1</sup>) para control de plagas del suelo durante la siembra. La fertilización al suelo fue con una dosis de 250-60-60 kg ha<sup>-1</sup> de N- P- K. La aplicación se realizó en tres momentos, en la siembra se aplicó 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, 100% del fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y potasio (K<sub>2</sub>O) a razón de 60 kg ha<sup>-1</sup> para ambos casos, a base de urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio, respectivamente. Para la segunda y tercera aplicación se utilizó urea y se fraccionó en función de la humedad en el suelo, fue aplicado 120 kg ha<sup>-1</sup> de N entre V<sub>4</sub>-V<sub>6</sub> y el complemento de 70 kg ha<sup>-1</sup> de N en etapa fenológica V<sub>10</sub>-V<sub>12</sub>.

Para el control de malezas fue de forma mecánica con las escardas entre (V<sub>2</sub>-V<sub>4</sub>) y posteriormente se aplicó herbicida Lumax® (S-metolaclor, atrazina y mesotrione 4 L ha<sup>-1</sup>). Para el control plagas se utilizó Karate Zeon® (Lambda cihalotrin 250 mL ha<sup>-1</sup>) y Denim® (Emamectina 100 mL ha<sup>-1</sup>). Fue aplicado Piori® Xtra (Azoxistrobina, Ciproconazol 350 mL ha<sup>-1</sup>) al follaje para el control de enfermedades. Y Quilt (Azoxystrobin Propiconazol 800 mL ha<sup>-1</sup>) en la floración (V<sub>T</sub>-R<sub>1</sub>) que actúa como regulador de crecimiento, mejorando el vigor de la planta y el llenado de granos.

Los tratamientos foliares fueron aplicados en dos etapas fenológicas del cultivo, la primera aplicación se realizó entre V<sub>5</sub>-V<sub>6</sub> y la segunda aplicación entre V<sub>8</sub>-V<sub>10</sub>. Se utilizó dosis de 2.5 kg ha<sup>-1</sup> en cada aplicación. Para el primer tratamiento fue considerado el testigo (T1) con aplicación de agua al follaje. El segundo tratamiento fue utilizado Eurobor (T2) que contiene 5% de nitrógeno orgánico, 25% de aminoácidos libres y 3% boro soluble en agua, en su composición. El tercer tratamiento con Euroligo (T3) que presenta la siguiente composición: 5% de nitrógeno orgánico, 25% de aminoácidos libres y micronutrientes (Zn 1%, Mn 0.5%, Fe 0.5 %, B 0.1%, Mo 0.01%). Y el cuarto tratamiento fue con Eurodual (T4) que contiene 3% de nitrógeno orgánico, 10% de carbono orgánico origen biológico, 15% de aminoácidos libres, acompañado de 8% de CaO, 2% de MgO en forma asimilable para la planta.

Para el cálculo del rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>) se tomaron todas las mazorcas del área útil de las parcelas (4.8 m<sup>2</sup>). Las mazorcas fueron trilladas y pesadas. Posteriormente, se determinó,

el contenido de humedad de grano con medidor de humedad (Modelo G610i), siendo los valores obtenidos ajustados para la humedad estándar del 14% y extrapolados a toneladas por hectárea.

En la madurez fisiológica del maíz (R6), también se colectó una muestra de dos plantas para determinar el contenido de nutrientes. Las dos plantas fueron seleccionadas al azar de las dos líneas centrales, se cortaron a ras del suelo y se separaron en dos componentes: rastrojo (hojas, tallo, totomoxtle, olote) y grano. Para determinar el peso de la materia seca (MS) y su distribución, las muestras cortadas en trozos fueron secadas en una estufa de aire forzada a 65° C hasta alcanzar el peso constante (4% de humedad). El peso se determinó con una balanza electrónica digital. Las muestras fueron procesadas hasta pasar un tamiz de 2 mm utilizando un molino Wiley (Modelo 4 Wiley Mill, Thomas Scientific, Swedesboro, NJ). Posteriormente las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo, para correr los análisis químicos de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y de micronutrientes (Cu, Mn, Zn, B) en la materia seca de la paja y el grano.

Las muestras fueron digeridas con una mezcla diácida, relación 4:1 de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>). La determinación de calcio, magnesio, cobre, manganeso y zinc fue por espectrofotometría de absorción atómica, para fósforo y boro fue por colorimetría (molibdovanadato amarillo), para concentración de potasio por flamometría previa extracción en una solución y el nitrógeno total fue determinada por el método semimicro Kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999).

Para el cálculo de acumulo de materia seca, extracción de nutrientes, partición de nutrientes e índice de cosecha se siguió la metodología descrita por Dobermann (2005). El acúmulo de materia seca total de cada componente de la planta fueron convertidos en toneladas por hectárea, considerando la densidad de 85 000 pl ha<sup>-1</sup>. La materia seca total de la parte aérea (planta entera) se obtuvo con la sumatoria de los valores de la MS de los órganos (parte aérea + grano) de las plantas. Para índice de cosecha (IC) se estimó con el peso de la materia seca del grano (órgano de interés económico) dividido por la materia seca total de la planta entera.

Las concentraciones de macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>) y micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>) en los tejidos y el peso seco (g) fueron convertidos en kg ha<sup>-1</sup> y se utilizaron algebraicamente para cálculo de

extracción de nutrientes, con la siguiente expresión:  $EN = (CN \times MS) / 1000$ . Dónde: EN= extracción de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), CN= concentración de nutrientes en la materia seca del órgano de la planta ( $\text{g kg}^{-1}$ ), materia seca del órgano de la planta ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) / 1000. La extracción total de nutrientes por la planta fue la suma de acúmulo de nutriente en el rastrojo (hoja, tallo, totomoxtle, olote) y grano. Partición de nutrientes se consideró el acumulo total de cada nutriente en el grano. Para índice de cosecha (IC) de nutrientes se calculó como el contenido de nutrientes en el grano en relación con la extracción total de nutrientes en la planta entera.

Para cada nutriente evaluado, las variables fueron sometidas a análisis de varianza conjunta, a fin de constatar las significancias de ambientes (A), híbridos (H), foliares (F) y la existencia de interacciones entre estos factores con el programa estadístico SAS versión 9.4. Se utilizó la prueba de medias de Tukey al 5% de probabilidad de error para comparación de medias de rendimiento, producción de biomasa, extracción total de nutriente, partición de nutrientes en grano e índice de cosecha de cada nutriente al final del ciclo productivo (R6).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza conjunta permitió identificar para materia seca, efecto significativo ( $p < 0.01$ ) para interacción entre H\*F y A\*H\*F. Fue observado diferencia significativa para el factor foliar (Anexo I - Cuadro 1). En promedio de los tres factores, la producción de materia seca al final del ciclo (R6) fue de aproximadamente  $28.2 \text{ t ha}^{-1}$  (Cuadro 2).

Entre los híbridos no hubo diferencia estadística, pero al desdoblar la interacción H\*F se observa respuestas diferenciales de híbrido dentro de cada tratamiento foliar, donde se destaca el H-50 con mayor acumulación absoluta de materia seca en T3 ( $31.3 \text{ t ha}^{-1}$ ) y en el H-49AE ( $29.4 \text{ t ha}^{-1}$ ) dentro de T2.

**Cuadro 2.** Producción de materia seca total ( $\text{t ha}^{-1}$ ) y rendimiento de grano ( $\text{t ha}^{-1}$ ) de maíz al final del ciclo en función de tratamientos foliares e híbridos. Media<sup>±</sup> de dos ambientes. Ciclo agrícola P-V 2017.

Tratamientos foliares	Materia seca total		Rendimiento de grano	
	Híbridos	Media de foliares	Híbridos	Media de foliares

	H-50	H-49AE		H-50	H-49AE	
Testigo -T1	24.5 bB	27.6 abA	26.0 c (48) <sup>+</sup>	12.7 bA	12.8 aA	12.7 b
Eurobor - T2	29.3 aA	29.4 aA	29.3 ab (49) <sup>+</sup>	14.1 aA	13.7 aA	13.9 a
Eurologo -T3	31.3 aA	25.7 abB	29.9 a (50) <sup>+</sup>	15.0 aA	13.7 aB	14.3 a
Eurodual - T4	29.3 aA	28.5 bB	27.5 bc (52) <sup>+</sup>	14.7 aA	13.2 aB	13.9 a
Media de híbridos	28.6 A (48) <sup>+</sup>	27.8 A (51) <sup>+</sup>		14.1 A	13.3 B	
Media general	28.2			13.7		
CV (%)	8.24			6.5		

<sup>‡</sup>Notas: Para cada variable, medias seguidas por la misma letra minúscula en la columna y mayúscula en la línea no difieren entre sí, por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad. <sup>+</sup>Valores entre paréntesis corresponden a los porcentajes de partición de materia seca en el grano. CV=coeficiente de variación.

De manera general, los resultados de producción de materia seca obtenidos en el presente estudio fueron superiores a los reportados en trabajos anteriores (Reta *et al.*, 2007; Díaz *et al.*, 2014; Zamudio *et al.*, 2016; Zamudio *et al.*, 2015). Y se acercan a los reportados en un estudio reciente por Martínez *et al.* (2018b) quienes observaron una producción de materia seca del orden de 23.4 hasta 32.0 t ha<sup>-1</sup> en cuatro híbridos de híbridos de maíz en dos ambientes contrastantes. Ahmad *et al.* (2007), observó que el compost enriquecido con triptófano, aumentó en promedio de dos años agrícolas hasta 36.3 t ha<sup>-1</sup> de biomasa de la planta. En los Estados Unidos, Bender *et al.* (2013) evaluaron seis híbridos en dos ambientes, obteniendo una producción promedio de 23.0 t ha<sup>-1</sup> de masa seca en la madurez fisiológica (R6). En un meta-análisis basados en 100 estudios sobre fisiología del maíz, Ciampitti e Vyn (2012) reportan producción de materia seca del orden de 13.6 a 31.8 t ha<sup>-1</sup> para híbridos antiguos (1940-1990) y de 19.1 a 33.5 t ha<sup>-1</sup> en nuevos híbridos utilizados recientemente (1990-2011) a nivel mundial. Así, la tendencia de mayor capacidad de acumulación de masa seca es consistente con lo que se observa actualmente en los híbridos con alto potencial productivo.

Cuando fueron aplicados los productos foliares la mayor producción de materia seca se presentó en T3 y en T2, seguidos por T4 y T1 (testigo), respectivamente (Cuadro 2). De este modo, la diferencia entre los foliares con respecto al testigo que superó de hasta 3.9 t ha<sup>-1</sup>, muestra respuestas positivas contundentes de los tratamientos foliares en virtud de la mejora de la nutrición en la fertilización foliar de aminoácidos, lo que probablemente debe tener impacto en

las cantidades extraídas de los nutrientes en las plantas de maíz. En contraste, en diferentes ambientes de EU, Quezada *et al.* (2015) no verificaron diferencias significativas de materia seca al combinar ocho tratamientos de triptófano y subproductos de biosíntesis de aminoácidos (TRP y LYS) en híbrido de maíz evaluados en dos ciclos agrícolas, observando en media de 21.2 t ha<sup>-1</sup> de materia seca producida.

En la madurez fisiológica, en promedio de ambientes e híbridos, la partición de materia seca en el grano fue del orden de 52, 50, 49 y 48% entre los foliares T4, T3, T2, y T1, respectivamente (Cuadro 2)<sup>+</sup>. Los datos confirman lo reportado por Ciampitti y Vin (2012) que observaron índice de cosecha (IC) de 48 y 50% en genotipos antiguos y modernos, respectivamente. Quezada *et al.* (2015) observaron índice de cosecha de 52% cuando aplicaron subproductos de biosíntesis de aminoácidos (TRP + LYS) contra 50% en los tratamientos de testigos (nitrato de amonio e sulfato de amonio). El IC se podría mejorar si el aumento en el rendimiento de grano fuera proporcionalmente mayor que el aumento en la materia seca (Tollenaar y Wu, 1999) esto porque el índice de cosecha (HI = harvest index), refleja la eficiencia de la partición de materia seca en el grano (Bender *et al.*, 2013). Se juzga que la mejora observada de los índices de cosecha puede haber sido parcialmente debido la aplicación de aminoácidos que influyeron en las concentraciones hormonales o metabolitos secundarios que impulsan mayor producción de materia seca en el grano (Quezada *et al.*, 2015).

Con relación a los híbridos el H-50 presentó IC de 48% y el H-49 AE de 51% (Cuadro 2). Ambos híbridos son considerados comercialmente productivos para producción de grano en Valles Altos de México (Martínez *et al.*, 2018), sin embargo, debido al índice de cosecha  $\leq 50\%$  representan una alternativa para producción forrajera. En comparación de los cultivos de granos pequeños, el IC de maíz ha aumentado modestamente, los valores IC alcanzados en los genotipos actuales son mayores que los reportados en informes anteriores (Reta *et al.*, 2007; Díaz *et al.*, 2014; Zamudio *et al.*, 2016).

En promedio, los híbridos produjeron aproximadamente 13.7 t ha<sup>-1</sup> grano de maíz, con un rango de 12.7 y 13.3 t ha<sup>-1</sup> entre los tratamientos foliares (Cuadro 2). El híbrido con mejor respuesta cuando fueron aplicados los aminoácidos foliares fue el H-50, con diferencia de hasta

2.3 t ha<sup>-1</sup> (T3) respecto al testigo. Independientemente de las respuestas positivas observadas entre los tratamientos foliares, se destaca el Eurologo (T3) que influyó en mayor acúmulo de materia seca al final del ciclo y con mayor rendimiento de grano. Estas respuestas verificadas indica que la fertilización foliar con aminoácidos influyó en el aumento de rendimiento de grano en el cultivo del maíz asociado con el aumento de la capacidad de producción de materia seca (Lorenz *et al.*, 2010), esta relación implica en mayores demandas para la absorción y removilización de nutrientes en los híbridos actuales (Bender *et al.*, 2013; Ciampitti y Vyn, 2014).

Los aumentos combinados de rendimientos de grano e índice de cosecha se vinculan principalmente con el aumento de la acumulación de la materia seca, y al aumento de la partición de la biomasa en el componente de la mazorca durante el periodo crítico que corresponde en floración y llenado de grano (Tollenaar y Lee, 2006). Lo anterior se debió probablemente porque los aminoácidos aplicados mantienen verdes las plantas en un tiempo más prolongado lo que lleva mayor actividad fotosintética. De acuerdo con Echarte *et al.* (2008) los cultivares con “*stay-green*” alcanzan un mayor rendimiento de grano debido a una mayor acumulación de materia seca durante el período de llenado de grano, que resultan mayores tasas de fotosíntesis. Sin embargo este evento puede afectar negativamente en la calidad del grano, en menor contenido de proteínas asociado a mayor acumulación de compuestos nitrogenados en la hoja de la planta.

No obstante, los resultados sugieren que los requisitos de fertilidad del suelo no pueden predecirse únicamente en base al potencial genético para la acumulación de biomasa (Bender *et al.*, 2013) es importante destacar que el potencial productivo de granos de un genotipo refleja en las tasas de extracción de nutrientes, las cuales sirven de criterios para ajustes de las cantidades a ser aplicados de fertilizantes y de acuerdo a las épocas de mayor demanda del cultivo (Ciampitti y Vyn, 2014; Martínez *et al.*, 2018b; Silva *et al.*, 2018).

### **Extracción y partición de nutrientes**

Se observaron efectos significativos ( $P \leq 0.05$ ) de ambientes para la extracción de nutrientes, a excepción de Ca, Cu y B (Cuadro 3). Los híbridos influyen significativamente en la absorción de los nutrientes, excepto en boro que presentó extracción similar entre los genotipos (Cuadro 3).

Para el factor foliar los nutrientes presentaron diferencias significativas con excepción al Cu (Cuadro 3). No se detectó interacción entre los tres factores para la extracción de los nutrientes. La extracción total de nutrientes para cada ambiente, híbrido y tratamiento foliar se presentan en el Cuadro 4.

**Cuadro 3.** Análisis de varianza para la extracción de macro y micronutrientes en la madurez fisiológica (R6) de dos híbridos de maíz cultivados en dos ambientes de Valles Altos de México en el ciclo agrícola 2017.

Fuente de variación	Variables								
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	B
	<i>P &gt; F</i>								
Ambiente - A	0.0115	0.0001	0.0002	0.2750	0.0030	0.2792	0.0001	0.0006	0.4429
Hibrido - H	0.0001	0.0001	0.0001	0.0004	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.5008
Foliar - F	0.0001	0.0446	0.0001	0.0341	0.0016	0.1851	0.0001	0.0001	0.0005
A*H	0.3269	0.0921	0.1490	0.3507	0.3553	0.3172	0.3221	0.5880	0.5420
A*F	0.2047	0.4406	0.8362	0.3991	0.2944	0.2216	0.3138	0.1300	0.2628
H*F	0.2200	0.2466	0.3080	0.2780	0.5360	0.1150	0.3021	0.2900	0.1029
A*H*F	0.5027	0.6070	0.0957	0.3340	0.2770	0.2071	0.4400	0.3900	0.2220

**Cuadro 4.** Extracción o contenido total (parte aérea + granos) de nutrientes en plantas de maíz, en dos ambientes, dos híbridos y cuatro tratamientos foliares en el ciclo agrícola, PV-2017.

Parámetros	Nutrientes								
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----					-----g ha <sup>-1</sup> -----			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	B
<b>Ambiente</b>									
TEM	283 b	100 a	253 a	65 a	50 a	197 a	787 a	433 a	117 a
JOC	301 a	75 b	222 b	67 a	46 b	206 a	387 b	318 b	114 a
<b>Hibrido</b>									
H-50	313 a	95 a	254 a	74 a	53 a	219 a	713 a	221 a	120 a

H-49 AE	272 b	79 b	221 b	59 b	42 b	184 b	460 b	175 b	111 a
<b>Foliales</b>									
Testigo - T1	253 b	92 a	208 b	55 b	45 b	193 a	448 b	335 c	82 c
Eurobor - T2	307 a	89 ab	256 a	72 a	50 a	204 a	624 a	356 bc	153 a
Eurologo - T3	317 a	90 ab	254 a	71 a	51 a	216 a	603 a	383 ab	120 b
Eurodual - T4	293 a	78 b	234 ab	67 a	45 b	192 a	670 a	428 a	107 b
<i>Media</i>	292	87	238	66	48	201	586	376	116
<i>CV (%)</i>	9.8	17.0	12.7	13.2	11.3	16.8	17.0	18.0	16.5

Para cada variable (extracción), las medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad. Para convertir P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en P y K<sub>2</sub>O en K, dividir, respectivamente, los valores de conversión por 2.29 y 1.20. CV=coeficiente de variación.

En promedio general de la extracción total (parte aérea + grano) de cinco macronutrientes expresados en kg ha<sup>-1</sup> y micronutrientes en g ha<sup>-1</sup> en la biomasa total de maíz fueron: 292.3 de N, 87.2 de P, 238.1 de K, 66.21 de Ca, 47.8 de Mg, 201 de Cu, 586.4 de Mn, 375.6 de Zn y 115.6 de B. La absorción total de nutrientes observados en este estudio (Cuadro 4) ha aumentado considerablemente en comparación con los valores reportados en la literatura en híbridos antiguos (Hanway, 1962). El contenido de nutrientes aumenta a medida que aumenta la biomasa total de la planta y rendimiento de grano (Setiyono *et al.*, 2010). Por lo tanto, para satisfacer los requerimientos nutricionales de maíz en una producción promedio de 13.7 t ha<sup>-1</sup> de grano, es necesario se realicen prácticas de manejo agronómico adecuados y los ambientes del suelo se suministren nutrientes en estas cantidades.

Zamudio *et al.* (2016) reportaron en estudio de tres años de maíz grano bajo temporal y condiciones adversas un promedio de extracción de macro nutrientes de 187.9 de N, 30.6 de P, 69.9 de K, 24.1 de Mg y 11.6 de S para producción de 5.17 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz en Valles Altos del Estado de México. Resende *et al.* (2016) observaron en promedio de seis híbridos experimentales en dos ambientes contrastantes de fertilización, extracción de macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>): 291 de N, 64 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 181 de K<sub>2</sub>O, 51 de Ca, 38 de Mg y 20 de S y de micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>): 84 de Cu, 2232 de Fe, 646 de Mn y 466 de Zn para producción de 10 t ha<sup>-1</sup> de grano y su respectiva paja de maíz que fue de 15 t ha<sup>-1</sup>.

De igual modo estos resultados están acordes a los publicados por Bender *et al.* (2013) referido a la absorción y partición de nutrientes para rendimiento promedio de 12.0 t ha<sup>-1</sup> de grano

y 23.0 t ha<sup>-1</sup> de materia seca, la absorción de total de macro (kg ha<sup>-1</sup>) y micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>) por las plantas fueron: 286 de N, 114 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 202 de K<sub>2</sub>O, 59 de Mg, 26 de S, 100 de Cu, 1400 de Fe, 500 de Mn, 500 de Zn y 80 de B, respectivamente. Así, los requerimientos por nutrientes aumentan a medida que se alcanzan niveles crecientes de productividad (Setiyono *et al.*, 2010; Bender *et al.*, 2013; Ciampitti *et al.*, 2013; Resende *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2018b; Silva *et al.*, 2018), lo que refuerza la necesidad de actualizar la demanda nutricional de nuevos genotipos de maíz con potencial de producción disponibles para condiciones en Valles Altos de México.

En el Cuadro 4, se puede visualizar mayor extracción de nitrógeno en Jocotitlán, el mayor porcentaje de materia orgánica (2.2%) favoreció el nitrógeno orgánico y/o inorgánico en el suelo (Siqueiro y Franco, 1998), por lo tanto, mayor absorción por las plantas de maíz. Otra premisa puede ser la influencia de temperaturas bajas del ambiente que permitió mayor eficiencia en la absorción y asimilación de los compuestos nitrogenados (aminoácidos) lo cual llevó a mayores acúmulos de N en las plantas desarrolladas en este ambiente. Quezada *et al.* (2015) no observaron diferencia significativa entre ambientes para absorción de N, cuando evaluaron fertilización foliar de aminoácidos derivado del tejido epitelial de pollos. Las mayores tasas de extracción observados en Temascalcingo para P, K, Mg y Zn se debió por el alto contenido de estos nutrientes en el suelo (Cuadro 2) aunado al aprovechamiento de la fertilización de los aminoácidos foliares por las plantas de maíz. Estos hallazgos pueden conducir a investigaciones adicionales de nuevos híbridos en diversas condiciones ambientales y con diferentes sistemas de manejo.

El híbrido H-50 absorbió mayores cantidades de nutrientes en todos los casos, (Cuadro 4) excepto para boro, lo cual está de acuerdo con los rendimientos mayores presentados para este híbrido (Cuadro 2) con reflejos en la magnitud de extracción. El componente genético puede determinar las cantidades absorbidas por las plantas y translocados a los granos, no obstante, los híbridos dentro de la especie pueden diferir en la capacidad de absorber y utilizar los nutrientes presentes en el suelo (Đalović *et al.*, 2015). En otros estudios se reportaron valores diferenciales de extracción de nutrientes en híbridos diferentes (Bender *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2018b; Silva *et al.*, 2018).

Los tratamientos foliares influenciaron significativamente en la extracción de los nutrientes ( $P < 0.05$ ), excepto para cobre (Cuadro 4). Con respecto al N absorbido, los tratamientos T2, T3, T4 mostraron los niveles más altos de extracción de N. En comparación con el T1, la extracción de N fue de 25, 21 y 16% más alta en los tratamientos T2, T3 y T4, respectivamente. Esto se debió a la concentración de N orgánica y porcentaje de aminoácidos libres en los productos foliares, siendo el nitrógeno está involucrado en el metabolismo vegetal, participando directamente de la biosíntesis de proteínas y clorofilas (Andrade *et al.*, 2003), de modo que una mayor oferta del nutriente en forma de aminoácidos resulta en el aumento de la tasa de fotosíntesis, llevando a la mayor acumulación de biomasa y consecuentemente mayor extracción de N por las plantas (Cuadro 4).

Las cantidades de macro y micronutrientes acumulados en el grano entre los tratamientos foliares se presentan en el cuadro 5. En media de los tres tratamientos (T2 con Eurobor, T3 con Eurologo y T4 con Eurodual); el acumulo de nitrógeno en el grano fue de 179, 188, 178 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, y para testigo (T1) fue de 138 kg ha<sup>-1</sup> de N en el grano. En términos porcentuales, esos valores variaron de 55 a 61% del total extraído en el grano por el cultivo (Cuadro 6, índices de cosecha), valores por debajo de lo observado por Bender *et al.* (2013), que, mostraron que cerca de 64% del N extraído fue translocado para el grano. Por otro lado, los índices son superiores a los relatados por Zamudio *et al.* (2016) que presentaron una proporción de N en los granos de 45% del total extraído. Sin embargo, Quezada et al. (2015) reportaron índices de cosecha de N de 64 hasta 67% cuando aplicaron subproductos de la biosíntesis comercial de los aminoácidos triptófano (TRP) y lisina (LYS) contra 61% observado en los testigos (nitrato de amonio y sulfato de amonio), lo que confirma que los aminoácidos foliares favorece en mayores acúmulos de N en el grano de maíz.

**Cuadro 5.** Medias<sup>±</sup> de partición de nutrientes en el grano de maíz en tratamientos foliares. Media de dos ambientes y dos híbridos. Ciclo agrícola, PV-2017.

Tratamientos Foliares	Nutrientes									
	kg ha <sup>-1</sup>					g ha <sup>-1</sup>				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	B	

Testigo -T1	138 b	63 a	38 b	1.0 b	12 a	50 a	37 a	172 b	16 b
Eurobor -T2	179 a	65 a	42 ab	1.2 ab	13 a	45 ab	44 a	205 ab	30 a
Eurologo -T3	188 a	66 a	45 a	1.2 ab	12 a	42 ab	52 a	222 a	28 a
Eurodual -T4	178 a	61 a	43 ab	1.4 a	12 a	34 b	46 a	195 ab	26 a
<i>Media</i>	171	64	42	1.2	12	43	45	198	25
	(58) <sup>1</sup>	(74) <sup>1</sup>	(18) <sup>1</sup>	(1.9) <sup>1</sup>	(26) <sup>1</sup>	(21) <sup>1</sup>	(9) <sup>1</sup>	(54) <sup>1</sup>	(22) <sup>1</sup>
CV (%)	13.5	18.3	15.0	18.5	17.5	29.2	15.8	18.2	20.5

¶Para cada variable (remoción), las medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad. <sup>1</sup>Valores entre paréntesis corresponden a los porcentajes translocados en los granos. CV=coeficiente de variación.

**Cuadro 6.** Medias<sup>‡</sup> de índice de cosecha de nutrientes en grano de maíz por tratamientos foliares. Media de dos ambientes y dos híbridos. Ciclo agrícola, PV-2017.

Tratamientos foliares	Nutrientes									
	----- % -----					----- % -----				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	B	
Testigo -T1	55 b	70 c	18 a	1.6 b	28 a	27 a	11 a	51 b	20 b	
Eurobor -T2	58 a	72 b	17 a	1.8 b	26 a	22 ab	8 ab	54 ab	20 b	
Eurologo -T3	59 a	73 b	18 a	1.9 ab	25 a	19 b	10 ab	53 ab	23 ab	
Eurodual -T4	61 a	78 a	19 a	2.2 a	28 a	18 b	7 b	56 a	25 a	
<i>Media</i>	58	74	18	1.9	26	21	9	54	22	
CV (%)	7.4	5.5	15.0	14.6	16.2	31.1	15.8	8.9	11.4	

Para cada variable, las medias seguidas de la misma letra en la columna no difieren por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad. CV=coeficiente de variación.

Existió diferencia significativa entre los tratamientos para extracción de P (Cuadro 4), sin embargo, en la extracción de P fue disminuida cuando fueron aplicados productos de aminoácidos. Tan y Nopamornbodi (1979) midieron los efectos de sustancias húmicas sobre la absorción de nutrientes en el crecimiento de plantas de maíz en un ciclo agrícola, y observaron la extracción de P se vio afectada negativamente, independientemente de la dosis aplicada, mientras que las tasas de absorción de otros nutrientes no hubo cambios. Almeida y Soratto (2014) observaron que la extracción de P no fue alterada por los tratamientos con bioestimulantes en el cultivo de frijol.

Las acumulaciones totales en grano equivalentes en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la madurez fisiológica, 92, 89, 90 y 78 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 (Cuadro 3) son superiores a

los obtenidos para cultivares más antiguos. Vasconcellos *et al.* (1983), observaron acúmulos entre 34 y 54 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, con rendimientos cercanos a 6.0 t ha<sup>-1</sup> de granos. Bender *et al.* (2013), encontraron una extracción total de 114 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, con una productividad media de 12.0 t ha<sup>-1</sup>, próximo a los rendimientos que se encuentran en este trabajo. La partición de P en el grano no se detectó diferencia significativa (Cuadro 5) y para índice de cosecha de fosforo (ICP) presentó diferencias entre los tratamientos foliares (Cuadro 6). En promedio 64 kg ha<sup>-1</sup> de P son direccionados en el grano al final del ciclo, que representa el 74% del total de P absorbido, por lo que es importante suministrar estas cantidades extraídas en el grano en los cultivos posteriores. Zamudio *et al.* (2016) reportan índice de cosecha de P de hasta 75%. Lo anterior permite deducir que el fósforo está ligado a la función de N y de manera proporcional positiva, es decir, mayor contenido de N en el grano, mayor acumulo de P (Zamudio *et al.*, 2016). El alto grado de translocación de P y la alta ICP explicaría por qué las aplicaciones foliares de aminoácidos aumentan las concentraciones de P en los tejidos de las plantas.

Con respecto a K, los tratamientos con Euribor, Eurologo y Eurodual mostraron niveles más altos de extracción de K<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en comparación con el testigo (T1) (Cuadro 4). El potasio está directamente relacionado con actividades bioquímicas, activación de enzimas, apertura y cierre de estomas, fotosíntesis y formación de frutos (Barragán *et al.*, 2012). En la aplicación de aminoácidos aumentó significativamente la extracción de K en plantas de maíz. El tratamiento Eurologo (T3) se destaca en la partición de potasio en el grano con 45 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O acumulado (Cuadro 5). Para índice de cosecha de potasio (ICK) no fue detectado diferencia significativa (Cuadro 6), en promedio 18% de total absorbido por la planta fue direccionado en el grano de maíz. A pesar de reportar mayores porcentajes de ICK de 21%, Zamudio *et al.* (2015) observó remoción de 14.4 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O en el grano, valor inferior observado en este trabajo, lo que se deduce que los productos foliares favorece a mayores acúmulos de K<sub>2</sub>O en el grano de maíz.

Tanto para la extracción y partición de Ca en el grano del maíz, fue observado diferencia significativa entre los tratamientos foliares. En ambos casos sobresalen los tratamientos foliares (Euribor, Eurologo y Eurodual), no obstante, el mayor valor acumulada en el grano de este nutriente fue observado en el T4 (Eurodual) que contiene en su composición 8% de CaO,

conjuntamente con los aminoácidos libres con bajo peso molecular y asimilable para la planta. Esta eficiencia de absorción foliar de los aminoácidos es coherente debido a la poca disponibilidad de Ca en el suelo de los suelos ácidos de los ambientes (Cuadro 1). Por otra parte, la disponibilidad más elevada de K provoca una inhibición competitiva entre estos cationes en el suelo (Malavolta *et al.*, 1997) lo que posiblemente favoreció la absorción Ca aplicado por vía foliar, junto con aminoácidos. Al final del ciclo en promedio 1.9% de Ca del total extraído por la planta fue direccionado en el grano de maíz. Según Vasconcellos *et al.* (1998) la translocación de este nutriente a las partes reproductivas en el cultivo del maíz, representa sólo de 3 a 10% del total absorbido, valores inferiores a los observados en este estudio. El Ca tiene poca movilidad en el floema de la planta, lo cual dificulta la translocación de este nutriente en el grano del maíz. El almacenamiento de Ca ocurre principalmente en las hojas (más del 50%), y en los tallos de la planta (Ciampitti *et al.*, 2013; Resende *et al.*, 2016) las concentraciones de la mazorca (olote y grano) son poco perceptibles en los análisis de estos componentes de la planta, resultado semejante es observado en este estudio.

En caso de extracción de Mg se destacan el T2 y T3 con 50 y 51 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, seguidos por T1 y T4 con 45 kg ha<sup>-1</sup> de Mg para ambos casos (Cuadro 4). Independientemente del (Eurodual) presentar en su composición 2% de MgO en forma asimilable para la planta no presentó efectos positivos respecto al testigo (T1), probablemente porque los niveles de Mg ya eran altos en los suelos de los ambientes (2.3 y 3.2 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup> en JOC y TEM, respectivamente). En los tratamientos foliares no difirió en la partición de Mg en el grano e índice de cosecha de Mg (ICMg).

En promedio, del total de Mg absorbido, cerca del 26% fueron dirigidos al grano. Esta proporción se encuentra bajos con las reportadas por otros autores, entre el 36 y el 69% (Vasconcellos *et al.*, 1983; Coelho y Resende, 2008). El acumulo de Mg en grano representa en promedio 12 kg ha<sup>-1</sup>, el resto se acumula en la parte aérea de la planta correspondiente a un 74%. Los niveles más altos de Mg en las hojas de maíz pueden estar relacionadas con la rápida absorción del elemento por las hojas y su alta movilidad en el floema (Fernández *et al.*, 2015). Cakmak y Yazici (2010) mencionan que en la nutrición de las plantas el Mg favorece la

translocación de fotoasimilados y carbohidratos en la planta. La aplicación foliar de aminoácidos combinado con Mg presenta un efecto favorable en la tasa fotosintética de la planta que está asociado con aumento en el contenido de clorofila de la hoja (Teklić *et al.*, 2009), que puede llevar en mayores acúmulos de MS y rendimiento de grano.

El factor foliar alteró significativamente la extracción de micro elementos de Mn, Zn y B, excepto para Cu que no se detectó diferencia significativa (Cuadro 4). El cobre tiene fuerte afinidad con el átomo de N del grupo amino y los compuestos nitrogenados solubles, como los aminoácidos, y actúan como transportadores de ese nutriente en xilema y floema (Loneragan, 1981), lo que llevó en mayor acumulo de Cu en el grano de maíz cuando aplicados Eurobor y Eurologo (Cuadro 5). En Eurodual (T4) la partición de Cu en el grano fue afectado negativamente. La concentración de Ca y Mg en este producto foliar (T4) reduce la absorción y transporte de este elemento en las plantas. En promedio 21% de Cu del total extraído fue translocado en el grano, que corresponde a 43 g ha<sup>-1</sup> de Cu. Martínez *et al.* (2018b) observaron acumulo de 14% de Cu en el grano de maíz, 48% en las hojas y 33% en los tallos de la planta. Entonces es evidente que las concentraciones de Cu predominan en la parte aérea de la planta, particularmente en las hojas de maíz.

La extracción de Mn presentó mejores respuestas en los tratamientos T4, T2, y T3 (Cuadro 4). Con relación al testigo (T1) la extracción de Mn aumentó en 50, 39 y 35% para T4, T2 y T3, respectivamente. Las cantidades de extracción son bajos de los 900 g ha<sup>-1</sup> reportados por Karlen *et al.* (1988), sin embargo, próximas a los valores obtenidos por Duarte *et al.* (2003) y Andrade *et al.* (1975), de 638 g ha<sup>-1</sup> y 496 a 720 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para partición de Mn en el grano no fue afectado por los productos foliares (Cuadro 5). En promedio 45 g ha<sup>-1</sup> que equivale una proporción de 9% (Cuadro 6) se direcciona en el grano de maíz. Lo anterior, puede deberse que este elemento mayormente se acumula en tallo como órgano de reservas (Duarte *et al.*, 2003; Bender *et al.* 2013). Martínez *et al.* (2018b) reportaron que más del 50% de Mn se acumuló en el tallo de la planta y apenas un 8% de Mn fue acumulado en el grano de maíz. Los productos foliares afectaron positivamente en la extracción total de Mn en la planta de maíz, sin respuesta en el acumulo de este micronutriente en el grano.

La extracción de Zn y B fueron afectados positivamente cuando fueron aplicados Eurobor, Eurologo y Eurodual, respectivamente (Cuadro 4). En promedio de dos ambientes y dos híbridos hubo incremento en la extracción de Zn, llegando a la maduración fisiológico a 335, 356, 383 y 428 g ha<sup>-1</sup> en T1, T2, T3 y T4, respectivamente. En R6 la partición de Zn en el grano fue de 172, 204, 222, 195 g ha<sup>-1</sup> en T1, T2, T3 y T4, respectivamente (Cuadro 5). El mayor acumulo de Zn en el grano se observó en el T3 (Eurologo) que presenta en su composición 1% de Zn. Sin embargo, debido a la función del Zn en el desarrollo de la planta, como en la producción de triptófano, precursor del ácido indol acético, una hormona de crecimiento vegetal (Dechen *et al.*, 1991), algunos trabajos han mostrado respuestas positivas a la aplicación de Zn en el cultivo del maíz (Ritchey *et al.*, 1986).

En el presente trabajo, los índices de cosecha de Zn (ICZn) fueron de 51, 54,53 y 56% en T1, T2, T3 y T4, respectivamente (Cuadro 6). Los resultados ocurrieron en menor magnitud de 56% y 62% relatados por Karlen *et al.* (1988) y Bender *et al.* (2013), respectivamente; y mayores a los reportados por Martínez *et al.* (2018b) con 45% de Zn translocados en el grano maíz. Según algunos autores (Karlen *et al.*, 1988; Heckman *et al.*, 2003) la redistribución del Zn acumulado puede variar de acuerdo con las prácticas de manejo agronómico, la productividad y la concentración de nutrientes en los granos de maíz. En los tratamientos foliares fueron capaces de mantener proporciones más elevadas de Zn en los granos, que constituye un órgano de mayor demanda de este micronutriente en la etapa maduración.

Para extracción de B específicamente en T2 (Eurobor) fue 53% más eficiente que el T1 (testigo). Lo anterior, se deduce que, además del 3% de B contenido en Eurobor, los niveles bajos de concentración de este nutriente en el suelo (Cuadro 1) permitió mejoras en la absorción del producto foliar (Eurobor), induciendo mayor extracción de este nutriente. En la partición de B en el grano también fue observado respuesta diferencial entre los tratamientos foliares y se destaca nuevamente T2 acumulando 30 g ha<sup>-1</sup> B contra 16 g ha<sup>-1</sup> observado en el testigo (T1), que en promedio general representa un 21% del B total extraído, removido en el grano (Cuadro 6).

Estos bajos porcentajes en el grano se debe a que el boro tiene movilidad muy limitada en el floema de las plantas (Raven, 1980) y es translocado principalmente a través del xilema. Por lo

tanto, nuestros resultados sugieren que la aplicación foliar de aminoácidos con B en el maíz, puede favorecer en el aumento del rendimiento de grano (Cuadro 2), si se realizan las aplicaciones en el momento oportuno. Se deduce que las aplicaciones foliares de B son más efectivas en los periodos de mayor demanda, específicamente entre  $V_T$  (panojamiento) y  $R_1$  (floración/polinización) que puede mejorar translocación del B en el grano. La exigencia de B en la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico en maíz (Vaughan, 1977; Mozafar, 1987) puede reducir el acumulo de boro en el grano, sin embargo puede mejorar las características agronómicas de las mazorcas, incrementando la productividad del cultivo.

## CONCLUSIONES

Los aminoácidos aplicados impactaron de forma contundente en el aumento de biomasa, rendimiento de maíz, que llevó en mayor extracción y removilización de los nutrientes en el grano de maíz. En general, los híbridos evaluados presentaron niveles de extracción y remoción de nutrientes similares o inferiores a los reportados en la literatura, cuando fueron aplicados los productos foliares. La extracción total de los nutrientes (macro y micronutrientes) aumentan cuando un híbrido de alto potencial de producción de biomasa se produce en condiciones de mayor oferta de nutrientes y bioestimulantes (aminoácidos).

En promedio, la demanda nutricional identificada en estas condiciones corresponde a los siguientes indicadores, para cada tonelada de grano producida por los híbridos: la extracción total calculada por parte aérea + granos de macronutrientes en (kg) fueron; 21.3; 6.4; 17.4; 4,8; y 3.5 de N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca y Mg, respectivamente. Y la extracción por tonelada de grano de micronutrientes en (g) fueron: 14.8, 42.8, 14.5 y 8.4 de Cu, Mn, Zn y B, respectivamente. Las fracciones acumuladas o índices de cosecha en porcentajes en grano corresponden a 58, 74, 18,1.9, 26, 21, 9, 54, 22 del total absorbido N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , Ca, Mg, Cu, Mn, Zn y B, respectivamente.

Los resultados de este trabajo, proporcionan datos necesarios sobre la extracción y la partición de nutrientes en híbridos disponibles para Valles Altos de México, que puede servir

como punto de partida en el programa de fertilización y brindan la oportunidad de refinar aún más las recomendaciones para atender los requerimientos nutricionales de la planta, a fin de alcanzar altos rendimientos de grano y acumulo de biomasa de maíz.

## LITERATURA CITADA

- Ahmad, R.; Khalid, A.H.; Arshad, M.; Zahir, A. and Mahmood, T., 2007. Effect of compost enriched with N and L-tryptophan on soil and maize. *Agron. Sustain. Dev.* 28:1–7.
- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 156 p.
- Almeida, A. Q. e Soratto, R.P. 2014. Teor e acúmulo de nutrientes no feijoeiro em função da aplicação de bioestimulante. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina.* 4(35):2259-2272.
- Andrade, C. A.; Fonseca, M.D.; Queiroz, S. D.; Salgado, T. L.; Cecon, R. P. 2003. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). *Ciência e Agrotecnologia. Numero suplemento (31):*1643-1651.
- Andrade, G. A.; Haag, P. H.; Oliveira, D. G. e Sarruge, R. J. 1975. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) II. Acumulação de micronutrientes. *Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.*1(32): 151 – 171.
- Barragán, V.; Leidi, O. E.; Andrés, Z.; Rubio, L.; De Luca, A.; Fernández, A. J.; Cubero, B. and Pardo, M. J. 2012. Ion Exchangers NHX1 and NHX2 mediate active potassium uptake into vacuoles to regulate cell turgor and stomatal function in *Arabidopsis*. *Plant Cell.* 3(24):1127-1142. <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.111.095273>
- Bender, R.R.; Haegele, J.W.; Ruffo, M.L.; Below, F.E. 2013. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal.* 1 (105): 161-170.
- Cakmak, I.; Yazici, A.M. 2010. Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better Crops.* 2(94):23-25.
- Ciampitti I. A. and Vyn, T. J. 2011. A comprehensive study of plant density consequences on N uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Res.* 1(121):2-18.
- Ciampitti, I.A. and Vyn, T.J. 2012. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: a review. *Field Crops Res.* 1(133):48–67.
- Ciampitti, I.A.; Camberato, J.J; Murrell, S.T. and Vyn, T. J. 2013. Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: I. Macronutrients. *Agron. J.* 3(105):783–795. doi:10.2134/agronj2012.0467.
- Ciampitti, I. A. and Vyn T. J. 2014. Understanding Global and Historical Nutrient Use Efficiencies for Closing Maize Yield Gaps. *Agronomy Journal.* 6 (106): 2107–2117.

- Coelho, A.M.; Resende, V.A. 2008. Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 111. 10 p.
- Colla, G.; Hoagland, L.; Ruzzi, M.; Cardarelli, M.; Bonini, P.; Canaguier, R.; and Rouphael, R. 2017. Biostimulant Action of Protein Hydrolysates: Unraveling Their Effects on Plant Physiology and Microbiome. *Front. Plant Sci.* 8:2202. doi: 10.3389/fpls.2017.02202.
- Đalović, I.; Jocković, D.; Chen, Y. and Bekavac, G. 2015. Maize nutrient uptake affected by genotype and fertilization. *GENETIKA.* 3 (47): 941-950.
- Dechen, R. A.; Haag, P. H. e Carmello, A. Q. 1991. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: Ferreira, E.M. e CRUZ, P. M.C. ed. *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq. p.65-78. 734 p.
- Díaz, L. E.; Loeza, C. J. M.; Brena, H. I.; Campos, P. J. M.; Orlando-G. I. J. y Salgado, B. G. 2014. Eficiencia agronómica del fósforo, biomasa y rendimiento de dos variedades nativas de maíz y un híbrido en el centro de México. *Phyton.* 1 (83): 171-178.
- Dobermann, A., 2005. Procedure for Measuring Dry matter, Nutrient uptake, Yield and Components of Yield in Maize. Retrieved from: global maize project: [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.globalmaize.org%2Fmedia%2Ffiles%2F1\\_07oct05\\_sea\\_p\\_61.doc&ei=jxuLVb6yE4GuyATNjYCQCg&usg=AFQjCNE9QXJw8W2P0cJRAgNB4Rs1Mk7ogg](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.globalmaize.org%2Fmedia%2Ffiles%2F1_07oct05_sea_p_61.doc&ei=jxuLVb6yE4GuyATNjYCQCg&usg=AFQjCNE9QXJw8W2P0cJRAgNB4Rs1Mk7ogg)
- Duarte, P. A.; Kiehl, C. J.; Camargo, F. M.A. e Reco, C. P. 2003. Acúmulo de matéria seca e nutriente em cultivares de milho originaria de clima tropical e introduzido de clima temperado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo.* 3 (2): 1-20.
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hortic.* 1 (196): 3–14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021.
- Echarte, L.; Rothstein, S. and Tollenaar, M. 2008. The response of leaf photosynthesis and dry matter accumulation to nitrogen supply in an older and a newer maize hybrid. *Crop Sci.* 1 (48): 656–665. doi:10.2135/cropsci2007.06.0366
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Zamudio, G. B.; Virgen, V. J.; Turrent, F. A.; Rojas, M. I.; Gómez, M. N. O.; Sierra, M. M.; López, L. C.; Palafox, C. A.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F.; Canales, I. E.; Zaragoza, E. J.; Martínez, Y. B.; Valdivia, B. R.; Cárdenas, M. A.; Mora, G. K. y Martínez, N. B. 2018. H-47 AE, híbrido de maíz para valles altos de México. *México. Rev. Fitotec. Mex.* 1(41): 87 – 89.
- Espinosa, C. A. y Tadeo, R. M. 2018. Importación record de maíz afrenta para México. La Jornada. 25 de febrero de 2018: <http://www.jornada.unam.mx/2018/02/25/opinion/021aleco>
- Fernández, V; Sotiropoulos, T; Brown, P. 2015. Fertilización foliar: principios científicos y práctica de campo. Paris, Francia, Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). p. 49–82.
- Gioseffi, E.; de Neergaard, A. and Schjoerring, J. K. 2012. Interactions between uptake of amino acids and inorganic nitrogen in wheat plants. *Biogeosciences.* 1(9):1509–1518.

- Hanway, J.J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. *Agron. J.* 3(54):217–222. doi:10.2134/agronj1962.00021962005400030011x.
- Henning, S., 2007. Corn and soil test response to by-Product nitrogen sources. Iowa State Research Farm Progress Reports. Paper 733.
- Heckman, R. J.; Sims, T. J.; Beegle, B. D.; Coale, J. F.; Herbert, J. S.; Bruulsema, W. T.; Bamka, J. W. 2003. Nutrient Removal by Corn Grain Harvest. *Agronomy Journal.* 3 (95): 587-591.
- Karlen, D.L.; Flannery, R.L. and Sadler, E.J. 1988. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. *Agron. J.* 2(80): 232–242. doi:10.2134/agronj1988.00021962008000020018x
- Loneragan, J. F. 1981. Distribution and movement of copper in plants. In: Loneragan, J. R.; Robson, A.D. and Graham, R. D., eds. *Copper in soils and plants.* London, Academic Press. p.165-188.
- Lorenz, A.J.; Gustafson, T. J.; Coors, J. G. and De Leon, N. 2010. Breeding maize for a bioeconomy: A literature survey examining harvest index and stover yield and their relationship to grain yield. *Crop Science.* 1(50):1–12.
- Malavolta, E.; Vitti, C. G. e Oliveira, A. S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 319p.
- María, R. A.; Rojas, M. I.; Ávila, P. M. A. y Gámez, V. J. A. 2003. Producción de Maíz de Temporal en el Estado de Tlaxcala. Folleto para Productores Número 3. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Tlaxcala. Tlaxcala. México. 16 p.
- Martinez, G. A.; Zamudio, G. B.; Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Cardoso, G. J.; Vázquez, C. G. y Turrent, F. A. 2018a. Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de Valles Altos de México. *Rev. Mex. de Cienc. Agríc.* 7(9):1447-1458.
- Martínez, G.A.; Resende, V. A.; Silva, M. C.G.; Martins, C.D.; Simao, P. E.; Moreira, G. S. y Ferreira, C. J. P. 2018b. Uptake and Exportation of Micronutrients by Transgenic Cultivars of Maize under No-Tillage in the Brazilian Cerrado. *Journal of Agricultural Science.* 9(10): 304-314.
- Mozafar, A.A. 1987. Effect of boron on ear formation and yield components of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. A. Institute of Plant Sciences, Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ), 8092, Zurich
- Parrado, J.; Bautista, J.; Romero, E.J.; García-Martínez, A.M.; Friaza, V.; Tejada, M. 2008. Production of a carob enzymatic extract: potential use as a biofertilizer. *Biores.Technol.* 7 (99): 2312–2318.
- Quezada, J.C; Lenssen, A.W.; Moore, K.J.; Sawyer, J.E and Summer, P. 2015. Amino acid biosynthesis byproducts are a suitable source of nitrogen for corn production. *Field Crops Research* 184:123–132.
- Raven, J. A. Short and long distance transport of boric acid in plants. *New Phytol.* 84: 231-249.

- Ritchey, D. K.; Cox, R. F.; Galvão, Z. E. e Yost, S. R. 1986. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em latossolo vermelho-escuro argiloso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. 3(21):215-225.
- Reta, S. D. G.; Cueto, W. J. A.; Gaytán, M. A. y Santamaría, C. J. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Rev. Agric. Téc. Méx.* 145-151.
- Resende, V. A.; Silva, M. C. G.; Martínez, G. A.; Simao, P.E.; Guimaraes, M. L. J. ; Moreira, G.S.; Emerson, N. 2016. Indicadores de demanda de macro e micronutrientes por híbridos modernos de milho. Sete Lagoas: Embrapa. Circular Técnica 220.
- SAS Institute. 2002. The SAS system for Windows user's guide. Release 9.4. SAS Institute, Cary, NC.
- Setiyono, T.D.; Walters, D.T.; Cassman, K.G.; Witt, C. and Dobermann, A. 2010. Estimating maize nutrient uptake requirements. *Field Crop Res.* 2(118):158–168.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2017) Información Básica, en: [www.siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=15](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=15). F
- Silva, M. C. G.; Resende, V. A.; Martínez, M. A.; Moreira, G. S.; Borghi, E. and Almeida, O. G. 2018. Macronutrient uptake and export in transgenic maize under two levels of fertilization investment. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 12(53): 1363-1372.
- Sotelo, R. E. D.; González, H. A.; Cruz, B. G.; Moreno, S. F. y Cruz, C. G. 2011. Los suelos del estado de México y su actualización a la base referencial mundial del recurso suelo 2006. *Rev. Mex.Cienc. Forestales* 8 (2): 71-84.
- Tan, K.H. and Nopamornbodi, V. 1979. Effect of different levels of humic acids on nutrient content and growth of corn (*Zea mays* L.). *Plant Soil.* 2(51):283–287.
- Tejada, M.; Rodríguez, M.B.; P, P. and Parrado, J. 2018. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield. *European Journal of Agronomy* 96: 54–59.
- Tejada, M.; Rodríguez, M.B.; Gómez, I.; Franco, A. L.; Benítez, C.; Parrado, J. 2016. Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. *Eur. J. Agron.* 1 (78): 13–19.
- Teklić, T.; Vratarić, M.; Sudarić, A.; Kovačević, V.; Vukadinović, V. and Bertić, B. 2009. Relationships among chloroplast pigments concentration and chlorophyllmeter readings in soybean under influence of foliar magnesium application. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-6 (40):706-725.
- Tollenaar, M. and Wu, J. 1999. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. *Crop. Sci.* 6(39):1597–1604.
- Tollenaar, M. and Lee, E.A. 2006. Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. *Maydica* 1(51): 399–408.
- Turrent, F. A. 2017. Semilla y biodiversidad del maíz. La Jornada. 14 de diciembre de 2017: <https://www.jornada.com.mx/2017/12/14/opinion/018a2pol>

- Vasconcellos, A. C.; Barbosa, A. J. V.; Dos Santos, L. H. e De França, E. G. 1983. Acumulação de massa seca e de nutrientes por duas cultivares de milho com e sem irrigação suplementar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 8(18): 887-901.
- Vasconcellos, A. C.; Viana, C. M. M. e Ferreira, J. J. 1998. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 11(33): 1835-1845.
- Vaughan, A. K. F. 1977. The relation between the concentration of boron in the reproductive and vegetative organs of Maize plants and their development. *Rhodesian Journal of Agricultural Research* 15: 163–170.
- Zamudio, G. B.; Félix, R. A.; Martínez, G. A.; Galvão, C. J. C.; Espinosa, C. A. y Tadeo, R. M. 2018. Producción de híbridos de maíz con urea estabilizada y nutrición foliar. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6 (9): 1231-1244.
- Zamudio, G. B.; Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Martínez, R. J. N. y Turrent, F. A. 2016. Índice de cosecha con macronutrientes en grano de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5 (7):1077-1089.
- Zamudio, G. B.; Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Martínez, R. J. N.; Celis, E. D. I. y Valdivia, B. R. 2015. Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(7): 1557-1569.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

A partir de los resultados obtenidos, se comprobó la eficiencia de aminoácidos y extractos de algas marinas y la alternativa de uso en la fertilización foliar como complemento de la fertilización al suelo en el cultivo de maíz en Valles Altos de México, al impactar en el aumento del rendimiento de grano en los híbridos evaluados.

Las condiciones de fertilidad de los suelos tienen gran influencia en las respuestas presentadas, los suelos de Valles Altos de México se caracteriza en presentar niveles de B, Zn relativamente bajos, además de bajas concentraciones de Ca y Mg, por lo tanto en la aplicación aminoácidos foliares que presentan en su contenido porcentajes considerables de estos nutrientes favorecen a las plantas con respuestas mejores.

Los híbridos evaluados presentaron una destacada capacidad de producción de grano en los diferentes ambientes de Valles Altos de México. Los híbridos H-50 y H-49AE reportaron respuestas favorables en la producción de biomasa tanto de la parte aérea como en el grano (rendimiento). En consecuencia, esta capacidad de los híbridos en acumular mayores biomásas indujo de manera proporcional el aumento en los niveles de extracción y partición de nutrientes asociados a la concentración de nutrientes en la planta.

En el presente trabajo permitió confirmar la necesidad de establecer experimentos de campo a largo plazo en el cultivo de maíz, a fin de discriminar las respuestas de diferentes productos a base de aminoácidos y algas marinas, dosis y épocas de su aplicación en el cultivo de maíz. Y se recomienda continuar con estudios que involucren más específicamente la fisiología de la planta para verificar respuesta de los productos foliares en presencia de estrés abiótico durante su desarrollo en los Valles Altos de México.

## ANEXO I. Resumen de análisis de varianza

**Cuadro 1-** Significancia de los efectos de las fuentes de variación en el análisis de varianza para rendimiento de grano, materia seca y extracción total de nutrientes en el cultivo de maíz. Ciclo agrícola, P-V, 2017.

Fuente de variación	GL	Variables										
		REN	MS	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	B
Ambiente – A	1	**	ns	*	**	**	ns	**	ns	**	**	ns
Rep (A)	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Hibrido – H	1	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
Foliar – F	3	**	**	**	*	**	*	**	ns	**	**	**
A*H	1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A*F	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
H*F	3	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A*H*F	3	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Error	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	6.5	8.24	9.8	17.0	12.7	13.2	11.3	16.9	17.6	13.0	16.5
Media	-	13.7	28 197	292.3	87.2	238.1	66.2	47.8	201.5	586.4	375.7	115.6

\*\*Significativo al 1% por la prueba de F. \*Significativo a 5%; ns= no significativo; CV=coeficiente de variación; GL= grados de libertad;

REN=rendimiento; MS= materia seca.