

**ADICIÓN DE MAGNESIO, AZUFRE, ZINC Y BORO EN EL CULTIVO DE
MAÍZ, HÍBRIDO ATL 200**

**JESSIKA STEFANIA ROSERO CUASMAYAN
DIANA CAROLINA BOLAÑOS BOLAÑOS**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2018

**ADICIÓN DE MAGNESIO, AZUFRE, ZINC Y BORO EN EL CULTIVO DE
MAÍZ, HÍBRIDO ATL 200**

**JESSIKA STEFANIA ROSERO CUASMAYAN
DIANA CAROLINA BOLAÑOS BOLAÑOS**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniera agrónoma**

**Asesor:
Ph.D. Javier Garcia Alzate**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2018

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico

Nota de Aceptación:

Los Directores y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por su autor y lo encuentran satisfactorio.

Firma del Presidente de tesis

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, noviembre de 2018

Adición de magnesio, azufre, zinc y boro en el cultivo de maíz, híbrido ATL 200

Addition of magnesium, sulfur, zinc and boron in maize cultivation, hybrid ATL 200

Jessika Rosero C.¹; Diana Bolaños B.¹

¹Estudiantes de pregrado para optar el título de Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. roserojessika2705@gmail.com

RESUMEN

El maíz es el cultivo con mayor área sembrada a nivel mundial, que por su valor nutricional y su versatilidad en la industria, se ha estandarizado como uno de los productos líderes en la comercialización global. En Colombia, la creciente demanda de este cereal ha impulsado la tecnificación del cultivo elevando sus rendimientos. La fertilización es una práctica fundamental dentro del manejo de un cultivo, ya que de esta labor depende en gran medida el rendimiento y la calidad de la producción. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la adición de magnesio, azufre, zinc y boro sobre las variables de rendimiento del cultivo de maíz híbrido ATL-200 y la viabilidad económica de los tratamientos. Se empleó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en la adición de magnesio (Mg), azufre (S), Zinc (Zn) y boro (B) a la fertilización básica con nitrógeno, fósforo y potasio (NPK). Las variables evaluadas fueron: número de mazorcas por planta (NMP), número de hileras por mazorca (NHM), número de granos por mazorca (NGM), peso de 100 granos (P100G) y rendimiento (RGT). El análisis de resultados permitió concluir que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, así el tratamiento testigo con NPK fue económicamente el más rentable para el agricultor.

Palabras clave: Elementos menores; fertilización; NPK; rendimiento.

ABSTRACT

Maize is the crop with the largest area sown worldwide, which because of its nutritional value and versatility in the industry, has been standardized as one of the leading products in global marketing. In Colombia, the growing demand for this cereal has led to the modernization of the crop, thus elevating its yields. Fertilization is a fundamental practice in the management of a crop, since this work depends very much on the yield and the quality of the production. The objective of this study was to evaluate the effect of the addition of magnesium, sulfur, zinc and boron on the yield variables of hybrid maize cultivation ATL-200 and the economic viability of the treatments. A complete random block design (BCA) was used, with five treatments and four replicates. The treatments consisted of the addition of magnesium (MG), sulphur (S), Zinc (Zn) and Boron (B) to basic fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium (NPK). The variables assessed were: Number of cobs per plant (NMP), number of rows per ear (NHM), number of grains per ear (NGM), Weight of 100 grains (P100G) and yield (RGT). The analysis of results allowed to conclude that there are no significant differences between treatments, so the control treatment with NPK was economically the most profitable for the farmer.

Key words: Fertilization; minor elements; NPK; yield.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
1. MATERIALES Y MÉTODOS	10
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
2.1. Análisis de variables de rendimiento.....	15
2.1.1. Número de mazorcas por planta (NMP).....	15
2.1.2. Número de hileras por mazorca (NHM).....	17
2.1.3. Número de granos por mazorca (NGM).....	18
2.1.4. Peso de 100 granos (P100G).	19
2.1.5. Rendimiento grano total (RGT).	20
2.2. Análisis económico.....	23
CONCLUSIONES	23
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requerimientos nutricionales de maíz para la zona templada del departamento de Nariño.	11
Tabla 2 Descripción de tratamientos, fuente, dosis y época de aplicación de nutrientes.	12
Tabla 3 Caracterización físico – química del suelo de la Granja “La Quinta”, (Consacá – Nariño)	13
Tabla 4 Análisis de varianza para el efecto de la adición de magnesio, azufre, zinc y boro en el cultivo de maíz (Consacá — Nariño, 2017).	14

INTRODUCCIÓN

La gran versatilidad genética que tiene el maíz permite que se adapte a diferentes climas: tropicales, subtropicales y templados (FAO, 2003). Junto al trigo y al arroz, el maíz es uno de los cereales más importantes y cultivados en el mundo (Jaliya *et al*, 2008). Con una cosecha anual conjunta de unos 2.500 millones de toneladas, el maíz, el arroz y el trigo son los productos más extensamente cultivados en el mundo y constituyen la base de la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2016).

En el mundo hay alrededor de 178 millones de hectáreas sembradas en 168 países, con una producción de 886 millones de toneladas y un rendimiento de 4.9 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2012). Estados Unidos se constituye como el mayor productor de maíz, con alrededor del 40% de las exportaciones mundiales, contando con más de 38 millones de hectáreas sembradas, 39 millones de hectáreas cosechadas y un rendimiento de más de 10 t ha⁻¹ (USDA, 2017), le siguen en importancia por rendimiento: Canadá con 9,1 t ha⁻¹, Egipto 8,5 t ha⁻¹ y Argentina 7,5 t ha⁻¹ (USDA, 2013).

Según FENALCE (2018a), Colombia cuenta con un área sembrada de 398.555 hectáreas con una producción de 1,7 millones de toneladas entre maíz tecnificado (uso de semilla certificada, aplicación de agroquímicos y fertilizantes) y maíz tradicional. El primero ocupa un área de 213.599 ha, ubicado principalmente en los departamentos de Meta, Tolima, Valle del Cauca, Huila, Sucre y Córdoba, con rendimientos promedio de 5,84 t ha⁻¹. El maíz tradicional, se siembra en un área de 184.996 ha, con rendimientos de 1,99 t ha⁻¹, ubicándose principalmente en los departamentos de Huila, Antioquia, Córdoba, Nariño, Santander y César.

Nariño cuenta con un área sembrada en maíz de 11.198 ha, distribuida entre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m. de las cuales el 80% corresponde a maíz con manejo tradicional y sólo el 20% al tecnificado (FENALCE, 2018a). Los rendimientos para ambos casos son bajos respecto al promedio nacional, 4,76 t ha⁻¹ (MADR, 2014), lo que se debe principalmente al escaso potencial productivo de las variedades regionales y el desconocimiento de normas técnicas de manejo del cultivo de maíz, como cultivo comercial, principalmente en lo concerniente al uso de semilla de calidad, fertilización adecuada y manejo de

problemas fitosanitarios, que se traducen en pobres rendimientos y con muy escasos márgenes de comercialización para el agricultor (Criollo *et al.*, 2000).

Ciampitti y García (2007), afirman que los requerimientos nutricionales de los cultivos varían de acuerdo al nivel de producción y al ambiente. El maíz se caracteriza por la capacidad de crecimiento rápido y alta producción, por lo que requiere de cantidades considerables de nutrimentos, principalmente de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, zinc y boro (Ospina, 2015). Según Quintero (2008), la importancia de los micronutrimentos se debe a la relación que tienen con procesos metabólicos, enzimáticos, de óxido-reducción, formación de clorofila, transporte de carbohidratos, entre otros.

El Magnesio en la planta cumple tres roles importantes, en primera medida hace parte de la molécula de clorofila, optimiza el aprovechamiento del fósforo y transfiere energía al facilitar el desdoblamiento del ATP y participa en el transporte de azúcares hacia los granos (Taiz & Zeiger, 2006). El azufre, es esencial en procesos metabólicos, componiendo varias coenzimas y enzimas, como la nitrato reductasa, que permite la transformación de nitrógeno en proteínas, asimismo es parte integral de aminoácidos como la cisteína y metionina (Taiz & Zeiger, 2006). El Zinc, junto con el nitrógeno promueve el crecimiento de las plantas, es un activador enzimático, cataliza reacciones en la respiración, síntesis de clorofila, proteínas y reguladores de crecimiento (Ospina, 2015). El Boro, interviene en la síntesis de la pared celular, así, dándole rigidez a los tejidos (Marschner, 2012), asimismo, permite la translocación de azúcares en los procesos de fructificación, favorece el crecimiento del tubo polínico, ayuda en la fertilidad del polen y a la formación de flores y raíces (Ospina, 2015).

Por tanto, se planteó como objetivos evaluar la respuesta de la adición de elementos secundarios (magnesio, azufre, zinc y boro) en las variables de rendimiento del cultivo de maíz híbrido ATL-200 y a su vez determinar el análisis económico de los tratamientos, con el fin de identificar que tratamiento es más rentable para el productor.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la finca La Quinta de la Universidad de Nariño (Consacá, Nariño), ubicada a 3° 24'18"LO y 1° 12'15"LN, a una altitud de 1607 msnm, la cual

presentó durante el tiempo de investigación una temperatura media de 18,22°C y una precipitación de 223,8 mm (IDEAM, 2017). El híbrido de maíz ATL 200, se instaló en un área de 1763 m², con una distancia de siembra de 0,25 m entre planta y 1 m. entre surcos, una planta por sitio, con una densidad de (40.000 plantas ha⁻¹). La preparación del suelo consistió en un pase de arado y dos de rastrillo, se aplicó N, P, K, en igual forma para todas las parcelas y solo varió la dosis de elementos menores. Las aplicaciones se realizaron de acuerdo a los requerimientos nutricionales del cultivo de maíz para la zona templada del departamento de Nariño (Tabla 1), con la información suministrada por la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (Coral, 2011).

Tabla 1 Requerimientos nutricionales de maíz para la zona templada del departamento de Nariño.

Elemento	Requerimientos Kg ha⁻¹
N	80
P₂O₅	50
K₂O	70
S	20
MgO	24
Zn	1
B	0,5

Fuente: *Avances en el manejo eficiente de nutrientes en las principales zonas productoras de maíz en Colombia.*

La aplicación de los elementos se hizo de acuerdo a las especificaciones reportadas por Fancelli y Munhoz (2015), quienes indican que preferiblemente se deben suministrar en la siembra, en especial el boro, debido a su poca movilidad en la planta. Las unidades experimentales se establecieron bajo el diseño estadístico de Bloques Completos al Azar (BCA), con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, cada parcela contó con siete surcos de diez metros de longitud. Los tratamientos estuvieron compuestos por la adición de magnesio (Mg), azufre (S), Zinc (Zn) y boro (B), los cuales se acompañaron con la fertilización básica de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK); al tratamiento testigo (T1) solo se le aplicó NPK (Tabla 2).

En el momento de la cosecha se evaluaron cuatro plantas seleccionadas al azar dentro de la parcela útil, para un total de 16 plantas por tratamiento. Se evaluaron las variables de rendimiento: NMP, NHM, NGM, P100G y RGT.

El rendimiento total se obtuvo cosechando las mazorcas de los surcos centrales y determinando el peso húmedo de: las mazorcas totales (PHMt); a una sub-muestra de diez mazorcas (PHMt10), las cuales se desgranaron y se pesaron (PHGm10). El contenido de humedad de los granos (CHg), se hizo usando el medidor de humedad Dickey John grain Moisture Tester.

Con los datos obtenidos en el anterior procedimiento se determinaron las siguientes variables (Maya y Ramírez, 2002)

Coefficiente de desgrane (CD):

$$CD = PHG\ m10 / PHMt10$$

Rendimiento de grano en la parcela (granos por área de cosecha ajustados a 15,5 % de humedad) (FAO, 1993):

$$RGP(g) = (PHMt) * CD * [(100-CHg) / 84,5]$$

Rendimiento total del grano por hectárea: ajustado a 15,5% de humedad.

$$RGT\ (Ton\ ha^{-1}) = [((RGP/1000) * 10000)] / (\text{área parcela en } m^2)].$$

En donde:

CD: Coeficiente de desgrane.

PHGm10: Peso húmedo de los granos de diez mazorcas.

PHMt10: Peso húmedo total de diez mazorcas.

RGP: Rendimiento del grano en la parcela.

PHMt: Peso húmedo total

CHg: contenido de humedad en el grano

RGT: Rendimiento total del grano.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P < 0,05$) mediante el software Statgraphics centurion (2009).

Tabla 2 Descripción de tratamientos, fuente, dosis y época de aplicación de nutrientes.

Tratamiento		Nutrientes	
1 (Testigo)	NPK		
2	NPK + Mg		
3	NPK + Mg + S		
4	NPK + Mg + S + Zn		
5	NPK + Mg + S + Zn + B		
Elemento	Fuente	Dosis por parcela	Época de aplicación
Nitrógeno	Urea	112 g.	20% en la siembra.
		224 g.	40% en V6.
		224 g.	40% en V10.
Fósforo	Fosfato diamónico (DAP)	350 g.	Momento de la siembra.
Potasio	Cloruro de potasio	246,4 g.	50% en la siembra.
		246,4 g.	50% en V6.
Magnesio	Óxido de magnesio	168 g.	
Azufre	Kieserita	140 g.	Momento de la siembra.
Zinc	Sulfato de zinc	7 g.	
Boro	Borác	7 g.	

Para efectos del análisis de adición de nutrientes se tuvo en cuenta la caracterización físico - química del suelo experimental (Tabla 3), que se obtuvo del Laboratorio de suelos e insumos Agrícolas de la Universidad de Nariño y mediante los contenidos de nutrientes de acuerdo a la quinta aproximación (ICA, 1992). A continuación se hace mención de los tratamientos con las diferentes dosis aplicadas por cada tratamiento y la época de aplicación.

Tabla 3 Caracterización físico – química del suelo de la Granja “La Quinta”, (Consacá – Nariño)

Característica	Contenido
pH	6,10
Materia orgánica %	3,81
Capacidad de intercambio catiónico cmol kg ⁻¹	14,6
Ca cmol kg ⁻¹	10,5
Mg cmol kg ⁻¹	3,3
K cmol kg ⁻¹	0,72

Fe mg kg ⁻¹	143
Mn mg kg ⁻¹	30,7
P mg kg ⁻¹	10,8
Cu mg kg ⁻¹	2,48
Zn mg kg ⁻¹	5,29
B mg kg ⁻¹	0,18
N total %	0,15
S mg kg ⁻¹	4,41
Grado Textural	Arcilloso – Arenoso
Densidad aparente g/cc	0,76
Profundidad	25 cm

Asimismo, se llevó el registro de lluvias mediante la estación meteorológica de la finca (Figura 1). Igualmente se planteó realizar un análisis de presupuesto parcial según la propuesta por el CIMMYT (1988).

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró que no hay diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las variables evaluadas ($P \leq 0,05$).

Tabla 4 Análisis de varianza para el efecto de la adición de magnesio, azufre, zinc y boro en el cultivo de maíz (Consacá — Nariño, 2017).

F. Variación.	GL	NMP	NHM	NGM	P100G	RGT
Modelo	7	0,01	1,04	2949,43	26,03	0,68
Bloque	3	0,01NS	1,12NS	3520,68NS	34,71NS	0,76NS
Tratamientos	4	0,01NS	0,99NS	2520,98NS	19,52NS	0,62NS
Error	12	0,01	1,43	2338,02	26,60	0,49
CV		9,96	7,94	9,89	14,64	17,04
Media		1,05	15,05	488,94	35,22	4,12

NS= Diferencias no significativas

Número de mazorcas por planta (NMP), número de hileras por mazorca (NHM), número de granos por mazorca (NGM), peso de 100 granos (P100G), rendimiento de grano total (RGT).

Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo se muestran en la Figura 1. Presentándose en total 223,8 mm de lluvias, donde más del 90% ocurrieron durante los primeros 38 dds, posteriormente se presentaron algunas lluvias de baja intensidad, 18,8 mm hasta cosecha.

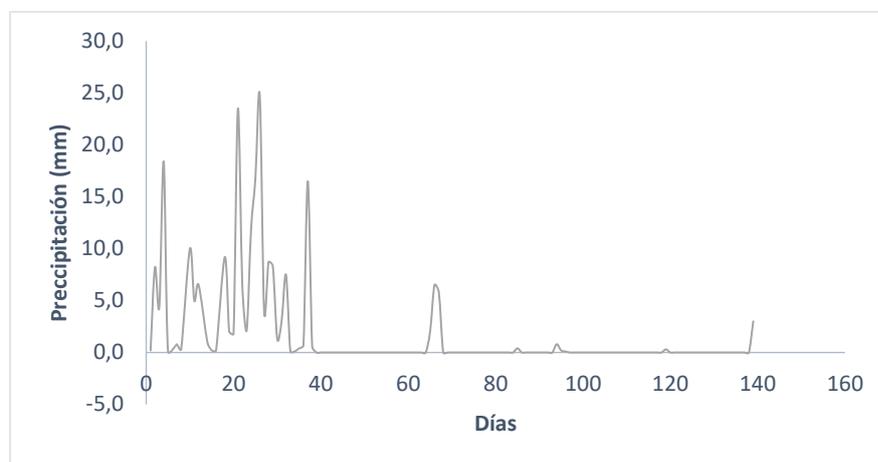
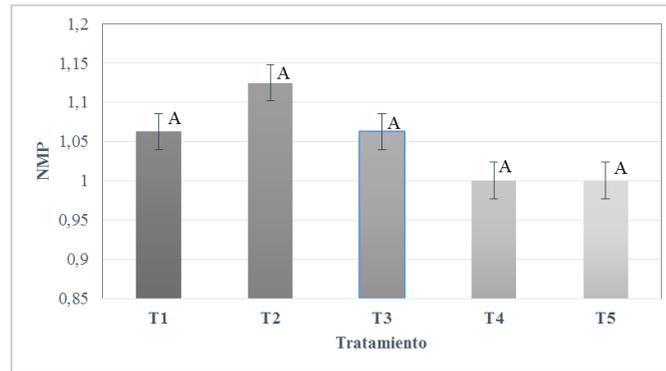


Figura 1. Distribución de lluvias en la Granja “La Quinta”, (Consacá – Nariño) entre los meses de abril y septiembre del año 2017.

Deras (2014), afirma que el maíz necesita por lo menos entre 500 y 700 mm de precipitación bien distribuida durante todo el ciclo del cultivo; durante la investigación se observó que se tuvo buena cantidad de agua durante los primeros estados vegetativos, presentándose posteriormente ausencia de lluvias por 26 días, implicando sequía dos semanas antes y una semana después de la floración, que es el período más crítico según Ritchie *et al.* (1997), donde el cultivo presenta mayores requerimientos de agua para los procesos de polinización y cuajado de frutos.

2.1. Análisis de variables de rendimiento

2.1.1. Número de mazorcas por planta (NMP). La aplicación de Mg, S, Zn y B no mostró diferencias estadísticas con el testigo (Figura 2).



Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

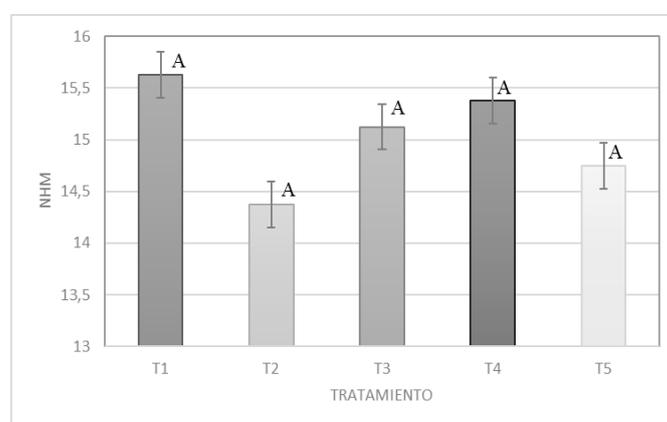
Figura 2. Respuesta de la variable número de mazorcas por planta a la adición de Mg, S, Zn y B en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), híbrido ATL 200 en el municipio de Consacá, Nariño.

Así, el híbrido ATL 200, en los diferentes tratamientos presentó un promedio máximo de 1,1 mazorcas por planta, resultados corroborados por Gordón *et al.* (2006), quienes al evaluar 14 híbridos en nueve ambientes diferentes, que también presenciaron estrés hídrico durante floración (164,5 mm), no encontraron diferencias significativas en la interacción genotipo ambiente en esta variable, obteniendo una media de 0,96 mazorcas por planta, es decir que aún en condiciones favorables el NMP no tendría variaciones importantes debido a que en mayor porcentaje, el híbrido ATL 200 mostró que su prolificidad es de una mazorca por planta. Por otro lado, en tres municipios del departamento de Nariño, Ortega *et al.* (2010), encontraron diferencias en el NMP en dos genotipos de siete que se evaluaron, en zonas ubicadas entre los 1.850 y 2.250 msnm, obteniendo entre 0,93 y 1,25 mazorcas por planta.

El NMP está determinado principalmente por características genéticas, cuya expresión en algunos casos se ve favorecida o perjudicada por las condiciones edafoclimáticas, puesto que las variedades mejoradas y los híbridos muestran su mejor desempeño y potencial productivo en condiciones ambientales y de manejo agronómico similares a las que se emplearon para su obtención (Peña, 1980). Por tanto, la adición de Mg, S, Zn y B sobre el NMP no mostraron diferencias estadísticas, con resultados que oscilaron entre 1 y 1,12 mazorcas por planta, a pesar de que los niveles de S ($4,41 \text{ mg kg}^{-1}$) y B ($0,18 \text{ mg kg}^{-1}$) en el suelo experimental se encontraban bajos, estos resultados concuerdan con los reportados por Criollo *et al.* (2002), quienes no observaron respuesta a la adición de boro, en un suelo experimental deficiente del elemento ($0,14 \text{ mg kg}^{-1}$), en ninguno de los cinco genotipos que evaluaron bajo dos niveles de B ($5,5$ y $11,4 \text{ kg ha}^{-1}$).

El número de mazorcas por planta depende tanto del genotipo como de las condiciones ambientales, es así como la poca expresión de prolificidad del híbrido probablemente se debió a las fuertes condiciones de sequía que se presentaron durante el período de investigación (Figura 1), puesto que al ser las yemas axilares las que permiten la diferenciación de las espigas, sólo una o dos espigas, excepcionalmente tres por planta darán granos dependiendo de las condiciones dos semanas antes y durante la floración (Golik *et al.*, 2018). Biasutti & Peiretti (1992), observaron que bajo condiciones de estrés hídrico la prolificidad tiene mayor efecto directo sobre el rendimiento y un efecto indirecto sobre el largo de la mazorca.

2.1.2. Número de hileras por mazorca (NHM). No se encontró respuesta a la fertilización con Mg, S, Zn y B (Figura 3.); la principal razón puede ser que el número de hileras es una característica ligada a la genética del híbrido o variedad (FAO, 1993), es así como el híbrido ATL 200 presentó en promedio entre 14 y 16 hileras por mazorca en los diferentes tratamientos (Figura 3).



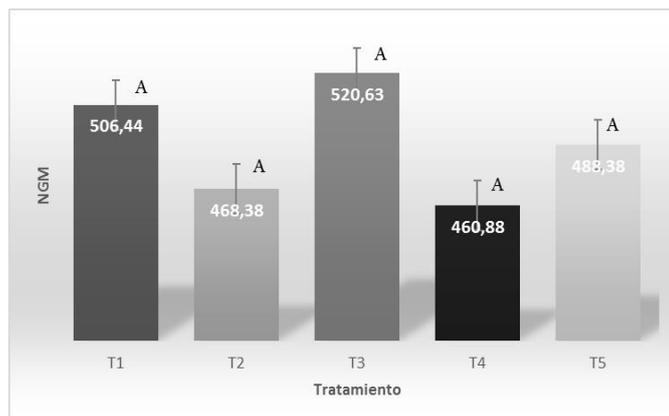
Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Figura 3. Respuesta de la variable número de hileras por mazorca a la fertilización con Mg, S, Zn y B en el híbrido de maíz (*Zea mays* L.) ATL 200.

El número de hileras observado con el híbrido ATL 200 fue igual o superior al de otras variedades e híbridos; como se corroboró en la evaluación de 11 genotipos de maíz en condiciones de verano, donde la media obtenida fue de 14 hileras por mazorca (Zamudio *et al.*, 2015). Además del factor genético es posible que las condiciones ambientales que se presentaron durante la investigación, afectaron directamente a la floración femenina,

en particular cuando el maíz estaba en R1. Sin embargo, desde V5 hasta V15 son etapas donde puede haber afectaciones importantes, ya que alrededor de V5 o V6 inicia la formación de la mazorca y alrededor de V15 ya está definido el número de hileras y granos por hilera que tendrá la mazorca (Ciampitti, 2014).

2.1.3. Número de granos por mazorca (NGM). El número de granos por mazorca osciló entre 460,88 (T4) y 520,63 granos (T3) granos por mazorca (Figura 4).



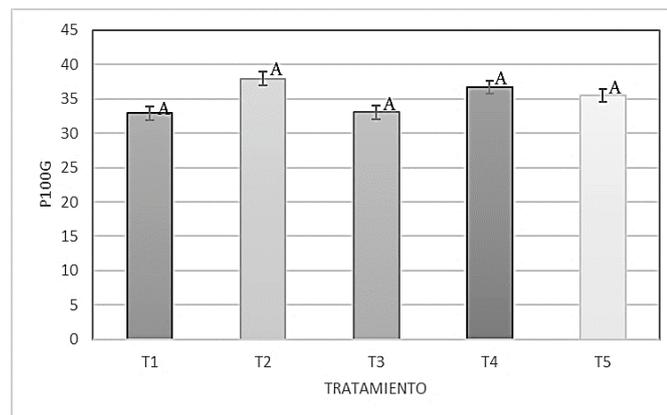
Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Figura 4. Número de granos por mazorca en respuesta a la adición de Mg, S, Zn y B.

Bargamaschi *et al.* (2004), encontraron que los híbridos Pioneer 3063 y Pioneer 32R21 producían en condiciones de estrés hídrico alrededor de 300 y 500 granos por mazorca y en parcelas sometidas a capacidad de campo, para ambos híbridos, la producción se mantuvo entre 500 y 530 granos; lo que indica que el híbrido ATL 200 presentó buen comportamiento en la producción de granos aún en condiciones de déficit hídrico, obteniendo un promedio de 488,94 granos por mazorca. Esto coincide con TROPICALCIS (2009), que afirma como característica del híbrido, su buen desempeño en condiciones de sequía con buen aspecto foliar aún en ausencia de 30 días de lluvia. Sin embargo, cabe resaltar que el híbrido tiene buen potencial granífero, que pudo afectarse en alguna medida por las deficiencias de agua durante el período crítico, puesto que según Golik *et al.* (2018), condiciones ambientales que generen estrés durante el período crítico dan lugar a asincronía entre la floración femenina y masculina, implicando una reducción en el número de estigmas polinizados lo que disminuye la producción de granos. De igual manera, Schussler & Westgate (1991) afirman que la reducción del número de granos por mazorca en plantas bajo condiciones de déficit hídrico se debe a la baja tasa del suministro de asimilados a los ovarios, lo que provoca aborto.

Por otro lado, la ausencia de lluvias probablemente no permitió el aprovechamiento eficiente de algunos nutrientes, sin embargo, los resultados obtenidos no difieren a los observados por Zamudio *et al.* (2015), quienes en un suelo con altos contenidos de Mg ($3,67 \text{ cmol kg}^{-1}$) y pobre en MO (1,15%), similar al suelo experimental (Mg: $3,3 \text{ cmol kg}^{-1}$), no observaron diferencias estadísticas en el NGM por adición y omisión de Mg y S, obteniendo 504,8 granos con adición de NPK, Mg y S y 493,7 granos con $-Mg$ y 508,2 con $-S$. Asimismo, Jamami *et al.* (2006), en un suelo con bajos niveles de Zn ($0,3 \text{ mg kg}^{-1}$) y B ($0,07 \text{ mg kg}^{-1}$), encontraron respuesta a la adición de Zn sobre el NGM, pero no al B, lo que indica que probablemente los altos niveles de Zn ($5,29 \text{ mg kg}^{-1}$) del suelo experimental no permitieron observar diferencias entre los tratamientos.

2.1.4. Peso de 100 granos (P100G). La variable P100G osciló entre 32,92 g y 37,93 g, sin diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 5.).



Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

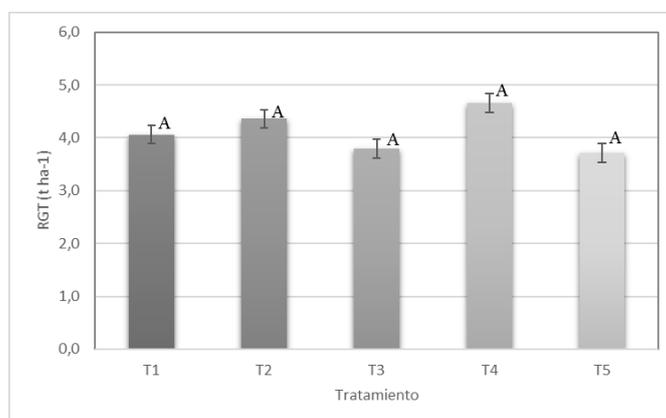
Figura 5. Valores medios del peso de 100 granos de maíz en tratamientos con adición de Mg, S, Zn y B.

El déficit hídrico que se presentó en el periodo pre y pos floración es una de las principales causas en la reducción de algunos componentes del rendimiento, tales como: tamaño de la mazorca, número de granos por mazorca, o peso de los granos (Bolaños & Edmeades, 1993; Otegui *et al.*, 1995; Pandey *et al.*, 2000), lo anterior pudo influenciar la asimilación de carbohidratos y la competencia por los asimilados entre los granos, que tiene lugar durante el periodo de llenado de los mismos (Borrás & Otegui, 2001). Según Reta & Faz (1999), una reducción del 13% en el suministro hídrico al cultivo durante el llenado de

grano, R3, reduce su peso en un 17%. Por otra parte, Fassio *et al.* (1998), afirman que el déficit de agua puede causar reducción en la tasa de acumulación de almidón y el peso del grano promedio. Sin embargo, es probable que el déficit de agua no haya afectado el peso de los granos, debido a que según Golik *et al.* (2018) el peso es más estable a las variaciones del ambiente, puesto que en diferentes condiciones la fotosíntesis, durante el llenado y la removilización de reservas, es capaz de sostener satisfactoriamente la demanda de los granos.

A pesar que el P100G no mostró diferencias, los valores son iguales o superiores al peso observado por Manasa & Devaranavadagi (2015), donde el P100G osciló entre 29,40 y 38,73 g, encontrando diferencias estadísticas a la aplicación foliar de Zn. Asimismo, Wasaya *et al.* (2017) en una investigación establecida en una región semiárida con suelo deficiente en Zn ($1,93 \text{ mg kg}^{-1}$) y óptima en B ($0,9 \text{ mg kg}^{-1}$), encontraron diferencias en el peso de 1000 granos a aplicaciones combinadas de Zn y B, tanto foliares como edáficas, respecto al tratamiento testigo y a las aplicaciones exclusivas de estos micronutrientes.

2.1.5. Rendimiento grano total (RGT). Los valores medios de la variable RGT oscilaron entre $3,71 \text{ t ha}^{-1}$ y $4,65 \text{ t ha}^{-1}$, valores correspondientes a los T5 y T4, respectivamente (Figura 6).



Promedios con letras iguales no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Figura 6. Valores medios de la variable rendimiento de grano total en los tratamientos con adición de micronutrientes.

De acuerdo a lo reportado por TROPICALCIS (2009), el rendimiento para grano del ATL 200 es de $8,9 \text{ t ha}^{-1}$, es decir que se obtuvo tan sólo un 46% del potencial productivo del híbrido. Estas bajas de rendimiento probablemente se debieron a condiciones

edafoclimáticas de la zona experimental, como las bajas precipitaciones y las condiciones del suelo, puesto que según Reta & Faz (1999), el déficit hídrico durante la diferenciación y el desarrollo de la mazorca pueden reducir el rendimiento del grano de maíz entre un 23 y un 34%. Las bajas de rendimiento del maíz bajo condiciones de estrés hídrico están relacionadas directamente con la variación en número de mazorcas y granos por planta, más que a la disminución del peso del grano; así, el número de granos explica más del 80% de la variabilidad del rendimiento (Bolaños & Edmeades, 1993).

En el suelo experimental, el azufre se encontraba en bajas cantidades ($4,41 \text{ mg kg}^{-1}$), estando en un nivel crítico para el cultivo de maíz, ya que según Fancelli (2010) y Marschener (2012), los suelos se consideran deficientes en S cuando tienen menos de 15 mg kg^{-1} . Además, la principal fuente del S de los suelos, como lo es la materia orgánica, se encontraba en porcentaje medio; Sin embargo, el agregado de kieserita en el T3 (NPKMgS) no mostró efecto en las variables de rendimiento evaluadas. Por su parte, Reussi *et al.* (2006) y Pagani *et al.*, (2009), encontraron respuesta al agregado de S en diferentes campañas en los cultivos de trigo y maíz, con buenas precipitaciones y con niveles críticos de azufre, teniendo incrementos de 10 a 22% en el rendimiento. Los resultados de estos autores están en contraste con los observados en el T3 (NPKMgS), el cual presentó una media menor en un 18% respecto al rendimiento del T4 (NPKMgSZn).

El análisis de suelo mostró niveles de Zn altos ($5,29 \text{ mg/Kg}$), considerándose la razón más importante por la que no se pudo observar resultados de eficiencia o deficiencia del elemento en los tratamientos. Peregrina *et al.* (2013), observaron respuestas de la aplicación de zinc en los estados vegetativos de la planta y en la acumulación del elemento en el grano, pero no encontraron efectos sobre el rendimiento del maíz, lo cual coincide con lo observado en las unidades experimentales del T4 (NPKMgSZn). Por otro lado, Melgar *et al.* (2001) pudieron observar respuesta significativa de los rendimientos en cinco de catorce ensayos con agregados de Zn, en suelos donde los contenidos del elemento se encontraban por debajo de $2,1 \text{ mg kg}^{-1}$, en contraste con el suelo experimental donde el contenido de Zn fue de $5,29 \text{ mg kg}^{-1}$

El T5 (NPKMgSZnB) presentó un rendimiento promedio de $3,7 \text{ t ha}^{-1}$ de grano, sin respuesta positiva a la adición de Boro a pesar de que la disponibilidad del elemento en el suelo experimental era baja ($0,18 \text{ mg kg}^{-1}$), lo cual puede explicarse por las condiciones

ambientales, en especial por la deficiencia de agua, ya que el B es un elemento de baja movilidad en la planta que requiere de alta velocidad en la corriente transpiratoria para ser traslocada a los sitios de acción (Kijne, Barker & Molden, 2003). Los resultados coinciden con los observados por Salvagiotti *et al.* (2012) quienes no encontraron incrementos significativos en el rendimiento del cultivo de trigo, aún con aplicaciones foliares de Zn y B (acompañado por fertilización edáfica de NPS) en suelos de baja fertilidad y con deficientes contenidos de estos elementos. Por otro lado, Melgar *et al.* (2001) encontraron respuesta significativa a la aplicación de B vía foliar en los rendimientos de maíz en tres tratamientos de diez que se establecieron en suelos con bajos contenidos del elemento, mostrando un bajo porcentaje de respuestas significativas por adición de B.

Los resultados de la variable RGT coinciden con los obtenidos por Fenalce (2018b), que estableció otra parcela experimental en el municipio de Buesaco, Nariño, en donde no se observaron diferencias estadísticas a la adición de Mg, S, Zn y B, con rendimientos que llegaron a las 6,46 t ha⁻¹ para el T2 (NPKMg), T4 (NPKMgSZn) 6,12 t ha⁻¹, T3 (NPKMgS) 6,20 t ha⁻¹, T1 (NPK) 6,12 t ha⁻¹ y T5 (NPKMgSZnB) 5,80 t ha⁻¹.

Resultados similares se encontraron en los departamentos de Cundinamarca, Tolima, Córdoba, Sucre, Bolívar y la Guajira donde tampoco se encontraron diferencias significativas en el rendimiento total del grano; sin embargo, en los departamentos del Valle, Meta, Huila y Cesar, estos mismos tratamientos mostraron diferencias estadísticas en el rendimiento, coincidiendo en las cuatro localidades que el mejor tratamiento fue el T5 (NPKMgSZnB), con rendimientos de hasta 8.798 t ha⁻¹.

Las respuestas poco favorables de la adición de elementos menores sobre los rendimientos, probablemente estén directamente relacionadas con las bajas precipitaciones del período experimental, lo que afectó el transporte de nutrientes minerales necesarios para el desarrollo de las estructuras reproductivas, puesto que en el inicio y maduración del desarrollo floral, así como en el llenado de granos, la planta requiere de suministro de carbohidratos que se ven afectados por déficit hídrico (Lafitte, 2001).

2.2. Análisis económico

Debido a que no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos y teniendo en cuenta los incrementos en la inversión inicial que debería asumir el agricultor, el T1 (NPK) resultó económicamente el más viable, puesto que al tratarse de la fertilización tradicional, no generó costos adicionales y asegura rendimientos e ingresos favorables para el productor. La tasa de retorno marginal mostró que los tratamientos son dominados, ya que estas prácticas no son viables para la economía del agricultor respecto al tratamiento testigo y que el incremento en los ingresos que puede llegar a obtener el productor es solamente un máximo del 7%.

CONCLUSIONES

Para las condiciones experimentales del presente estudio, las aplicaciones de los elementos menores magnesio, azufre, zinc y boro como complementos de la aplicación de N 80 kg ha⁻¹, 50 kg ha⁻¹ de P y 70 kg ha⁻¹ de K, no afectaron el rendimiento del cultivo de maíz, híbrido ATL 200.

La producción de maíz, híbrido ATL 200 con fertilización tradicional, resultó económicamente la más viable para el productor, sin generar costos adicionales y manteniendo retornos similares que con aplicación de elementos menores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bargamaschi, H., Dalmago, G., Bergonci, J., Menegassi, C., Müller, A., Comiran, F., & Machado, B. (2004). Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 39(9). 831 – 839.
- Biasutti, C.A., & Peiretti, D.A. (1992). Asociación de caracteres morfológicos en poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de estrés y no estrés hídrico. *AGRISCIENTIA*. 9 (2). 59-64.
- Bolaños, J. & Edmeades, G. (1993). Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Response in grain yield, biomass, and radiation utilization. *Field Crop Research*. 31. 233-252.

- Borrás L., M. E. Otegui. (2001). Maize kernel weight response to post-flowering source-sink ratio. *Crop Sci.* 41: 1816-1822. Recuperado de http://digital.csic.es/bitstream/10261/52808/1/MelendezL_TD-2010.pdf. Consulta: octubre, 2008.
- Ciampitti, I. & García, F. (2007). Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Archivo agronómico N° 12. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Recuperado de [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/\\$FILE/AA%2012.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/0B0EE369040F863003257967004A1A41/$FILE/AA%2012.pdf). Consulta: marzo, 2017.
- Ciampitti, I. (2014). Espigas anormales en maíz. United States: Kansas state university agricultural experiment station and cooperative extension service. 15 p.
- CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. México.
- Coral, D. (2011). Avance en el manejo eficiente de nutrientes en las principales zonas productoras de maíz en Colombia. FENALCE. 124p.
- Criollo, H., Lagos, T. & Ruiz, H. (2000). Calidad de la semilla de maíz utilizada en algunas zonas maiceras de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 17(2): 9-20.
- Criollo, H., Lagos, T., Paredes, R. & Benavides, A. (2002). Comportamiento de materiales mejorados de maíz bajo diferentes niveles de boro y fósforo. *Revista de Ciencias Agrícolas*. XIX(I-II). 168 – 177.
- Deras, H. (2014). Guía técnica: El cultivo de maíz. Recuperado <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GuiaTecnica%20Maiz%202014.pdf>_Consulta: marzo, 2017.
- Fancelli, A. (2010). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes na cultura de milho. *Informações Agrônomicas* N° 131. *International Plant Nutrition Institute*. 1 – 16.

- Fancelli, A. & Munhoz, R. (2015). Programa racional para fertilizantes deve considerar fatores que afetam cultivo. *Visão agrícola* .13:52 – 57.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1993). El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y Nutrición, N° 25. Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s00.htm>_Consulta: marzo, 2017.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). Maize: Post-Harvest Operation. Recuperado de <http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/cereals-grains/es/>.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2016). Ahorrar para crecer en la práctica, maíz, arroz y trigo: guía para la producción sostenible de cereales. Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/publications>.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. (2012). Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/en/>.
- Fassio, A., Carriquiry, A., Tojo, C. & Romero, R. (1998). Maíz: aspectos sobre fenología. INIA. Serie técnica N° 101. Uruguay.
- FENALCE. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas. (2018a). Indicadores cerealistas. Recuperado de <http://www.fenalce.org/archivos/indicerealista2018A.pdf>.
- FENALCE. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y leguminosas. (2018b). El Cerealista. Edición N° 125. 22-24.
- Golik., S., Schierenbeck, M., Dietz, J., & Fleitas. M. (2018). Capítulo 2: Crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz. Cereales de verano. Buenos Aires: Argentina Primera edición. Editorial de la Universidad de La Plata. 26 – 40p.

- Gordón, R., Camargo, I., Franco, J., & González, A. (2006). Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía mesoamericana*. 17(2): 189 - 199.
- ICA - Instituto colombiano agropecuario. (1992). Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de Asistencia Técnica No. 25. Bogotá: ICA.
- IDEAM. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia. (2017). Departamento Administrativo de Estadística. Recuperado de www.ideam.gov.co.
- Jaliya, M.M., Falaki, A.M., Mahmud, M., & Sani, Y.A. (2008). Effects of sowing date and NPK fertilizer rate on yield and yield components of quality protein maize (*Zea mays* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 3(2): 23–29.
- Jamami, N., Büll, L., Corulli, J., & Domingos, J. (2006). Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à aplicação de boro e de zinco no solo. *Maringá*. 28(1): 99- 105.
- Kijne, J., Barker, R. & Molden, D. (2003). Water productivity in agricultura. Limits and opportunities for improvement. CAB Internacional. London, U.K. 311 – 318.
- Lafitte, H. (2001). Estreses abióticos que afectan al maíz. El maíz en los trópicos. FAO. Roma. 95 – 105 pp. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s12.htm>. Consulta: marzo, 2017.
- MADR. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2014). Evaluaciones Agropecuarias municipales. Recuperado de <http://www.fenalce.org/archivos/indicerealista2018A.pdf>, <http://www.agronet.gov.co/Documents/Cultivos.pdf>.
- Manasa, L., & Devaranavadagi, S. (2015). Effect of foliar application of micronutrients on growth, yield and nutrient uptake of maize. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*. 28(4). 474-476.

- Marschner, H. (2012). Mineral nutrition of higher plants. 3rd. Edition. Londres: Academic Press. 672 p.
- Maya, J., & Ramírez, J. (2002). Respuesta de híbridos de maíz a la aplicación de potasio en diferentes densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25(4). 333 – 338.
- Melgar, R., Lavandera, J., Torres, M. & Ventimiglia, L. (2001). Respuesta a la fertilización con Boro y Zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Ciencia del suelo*. 19(2). 109-114.
- Ortega, C., Ortega, F. Torres, F & Lagos, T. (2010). Comportamiento agronómico de siete genotipos de maíz amarillo *Zea mays* L. bajo condiciones de clima medio en el departamento de Nariño. *Revista de Agronomía*. 27(1). 18 – 26.
- Ospina, J. (2015). Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas. Gobernación de Antioquia. Medellín, Colombia. Recuperado de <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20%20MAIZ.pdf>.
- Otegui M., F. Andrade, E. Suero. (1995). Growth, water use and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Res.* 40: 87-94. Recuperado de http://digital.csic.es/bitstream/10261/52808/1/MelendezL_TD-2010.pdf.
- Pagani, A., Echeverría, H. & Sainz, H. (2009). Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la Provincia de Buenos Aires. *Ciencia del suelo*. 27(1). Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo_
- Pandey R., J. Maranville, Admou A. (2000). Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management* 46: 1-13. Recuperado de http://digital.csic.es/bitstream/10261/52808/1/MelendezL_TD-2010.pdf.

- Peregrina, A., de Mello, R., Machado, I., do Vale, D. & Avelhães, C. (2013). Ways of applying zinc to maize plants growing in Oxisol: effects on the soil, on plant nutrition and on yield. *Idesia (Arica)*. 31(3): 29-37.
- Peña, G. (1980). El cultivo de maíz en México. México: Centro de Investigaciones Agrarias. 148p.
- Quintero, R. (2008). Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca. *Revista Técnicaña*. 12(20): 18 – 26.
- Reussi, N., Echeverría, H. & Sainz, H. (2006). Respuesta del cultivo de trigo al agregado de azufre en el sudeste bonaerense. *Ciencia del suelo*. 24(1).
- Reta, D. & Faz, R. (1999). Maize response to different soil moisture levels. I. Grain yield and yield components. *TERRA Latinoamericana*. 004(17): 309-316.
- Ritchie, S., Hanway, J. & Obenson, G. (1997). How a Corn Plant Develops. United States: Ames (Iowa): Iowa State University of Science and Technology.
- Salvagiotti, F., Castellarín, J & Ferraguti, F. (2012). Respuesta a la fertilización con zinc y boro en el cultivo de trigo en el sur de Santa Fe. Para mejorar la producción. 47. INTA EEA Oliveros. 41 - 44.
- Schussler, R., Westgate, M. (1991). Maize kernel set at low potential: I. Sensivity to reduced assimilates during early kernel growth. *Crop Science*. 31(5). 1189-1195.
- STATGRAPHICS CENTURION, X. V. I. 2009. Statpoint technologies. INC. version, 16, 17.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2006). Plant physiology. 3 edition. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts. 1338 p.
- TROPICALCIS. (2009). ATL 200. Recuperado de <http://tropicalcis.com/maices/maices-de-grano-2/alt-200/>.

USDA - United States Department of Agriculture. (2013). World Agricultural Supply and Demand Estimates. En: <https://www.usda.gov>.

USDA - United States Department of Agriculture. (2017). World Agricultural Supply and Demand Estimates. Recuperado de <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>.

WASAYA, A., SHAHZAD, M., HUSSAIN, M., ANSAR, M., AZIZ, A., HASSAN, W. & AHMAD, I. (2017). Foliar application of Zinc and Boron improved the productivity and net returns of maize grown under rainfed conditions of Pothwar plateau *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 17(1). 33-45

Zamudio, B., Espinosa A, Tadeo, M., Encastín, J., Martínez, J., Reyes, F., Cárdenas A. & Turrent, A. (2015). Producción de híbridos y variedades de maíz para grano en siembra a doble hilera. *Ciencias agrícolas*. 6 (7). 1491- 1505.

Zamudio, B., Tadeo, M., Espinosa, A., Martínez, J., Celis, D., Valdivia, R., Zaragoza, J. (2015). Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(7). 1557 – 1569.