

**RESPUESTA DEL MAÍZ (*Zea mays* L.) FNC 2610. A LA FERTILIZACIÓN
FOLIAR COMPLEMENTARIA CON ZINC BAJO CONDICIONES
EDAFOCLIMATICAS DEL MUNICIPIO CERETÉ.**

SEBASTIÁN URANGO BRAVO.

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS.
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA.
MONTERÍA.
2020**

**RESPUESTA DEL MAÍZ (*Zea mays* L.) FNC 2610. A LA FERTILIZACIÓN
COMPLEMENTARIA DE ZINC BAJO CONDICIONES EDAFOCLIMATICAS
DEL MUNICIPIO CERETÉ.**

SEBASTIÁN URANGO BRAVO.

**Proyecto de Trabajo Grado modalidad Investigación presentado como requisito
parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo.**

**ELIÉCER MIGUEL CABRALES HERRERA, PhD.
Director.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS.
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA.
MONTERÍA.
2020.**

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto serán responsabilidad del autor (Artículo 17, acuerdo No. 039 del 24 de junio de 2005 del Consejo Superior de la Universidad de Córdoba).

Nota de aceptación

ELIECER MIGUEL CABRALES HERRERA, PhD.
Director

ANIBAL TREBILCOK PERNA
Jurado

DAIRO JAVIER PEREZ POLO
Jurado

Montería, septiembre de 2020.

DEDICATORIA

A mis padres; JANY YADITH URANGO BRAVO y JUAN TOMÁS PEREZ CAVAJAL, este título es el reflejo de todo lo que ellos han luchado para que su hijo sea un profesional.

A mi hermana; VALENTINA PEREZ URANGO, a quien quiero que tenga siempre presente que todo lo que nos proponemos lo podemos conseguir.

SEBASTIAN URANGO BRAVO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios grandemente, que todo el honor y la gloria sea para el.

A mi familia; Jany Jadith Urango Bravo, Juan Tomas Perez Carvajal y Valentina Perez Urango, que siempre ha sido el principal apoyo y soporte en este como en todos los procesos académicos de mi vida.

A mi director Eliecer Cabrales por darme la oportunidad de trabajar con el y vincularme al proceso investigativo.

Al ingeniero Alejandro Agamez, sin su ayuda este trabajo en su fase de campo no se hubiera podido realizar.

A la familia Carriazo Flores, por brindarme su apoyo en este proceso formativo.

A mis compañeros, amigos, colegas y familia Universitaria: Jair Solano, Andres Ojeda, Juan Sebastian Perez, Karolina Muñoz, Jhon Padilla y Mileidy Duque.

Y a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

SEBASTIAN URANGO BRAVO

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	12
1 INTRODUCCIÓN.....	14
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo general.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3 HIPOTESIS.....	18
4 REVISION DE LITERATURA Y ANTECEDENTES.....	19
4.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.).....	19
4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA.....	20
4.2.1 Taxonomía.....	20
4.2.2 Morfología.....	20
4.2.3 Aspectos fisiológicos.....	23
4.3 FACTORES ABIÓTICOS QUE AFECTAN AL CULTIVO DE MAÍZ.....	25
4.3.1 Sequia.....	25
4.3.2 Fertilidad de los suelos.....	25
4.3.3 Acidez de los suelos.....	25
4.3.4 Salinidad en los suelos.....	26
4.3.5 Temperatura.....	26
4.4 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS.....	26
4.4.1 Suelos.....	26
4.4.2 Temperatura.....	26
4.4.3 Luminosidad.....	26

4.4.4 Precipitación.	27
4.4.5 Altitud.....	27
4.5 NUTRICIÓN	27
4.6 PERSPECTIVAS DEL CULTIVO DE MAÍZ.....	28
4.6.1 Globales.	28
4.6.2 Locales.....	29
4.7 EL ZINC.....	29
4.7.1 El zinc en el suelo.	30
4.7.2 El zinc en las plantas.	30
4.7.3 Importancia de la fertilización con zinc en los cultivos.	31
4.7.4 Fertilización con zinc en el cultivo de maíz.	31
5 MATERIALES Y METODOS.....	33
5.1 Localización.....	33
5.2 Muestreo de suelos.....	33
5.3 Características del suelo	33
5.3 Manejo de plagas y enfermedades	36
5.4 Manejo de arvenses	36
5.5 Plan de fertilización.....	36
5.6 Diseño estadístico	37
5.7 Variables.....	38
5.7.1 Variables fisiológicas.	38
5.7.2 Variables de rendimiento.....	38
5.8 Procesamiento y análisis de datos.....	39
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40

6.2 Variables fisiológicas	40
6.2.1 Altura de planta.....	40
6.2.2 Numero de hojas	42
6.2.3 Área foliar.....	45
6.2.4 Masa seca.....	47
6.3 Variables de rendimiento.....	49
6.3.1 Longitud de mazorca.....	49
6.3.2 Hileras por mazorca	50
6.3.3 Granos por hileras.	51
6.3.4 Peso de 1000 granos.....	52
6.3.5 Rendimiento.....	53
7 CONCLUSION.....	55
8 RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFIA	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del análisis de suelo, lote experimental. -----	34
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos a evaluar en las muestras de suelos. -----	35
Tabla 3. Tratamientos a utilizar en el ensayo. -----	37

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Crecimiento del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.
- Figura 2. Modelo ajustado al crecimiento del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.
- Figura 3. Producción de hojas del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.
- Figura 4. Modelo ajustado a la producción de hojas del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.
- Figura 5. Área foliar del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.
- Figura 6. Modelo ajustado al área foliar del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.
- Figura 7. Producción de masa seca de plantas de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.
- Figura 8. Modelo ajustado a la producción de masa seca del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.
- Figura 9. Longitud de la mazorca de maíz FNC 2610 en función a aplicación de distintas dosis de Zinc.
- Figura 10. Número de hileras por mazorca de maíz FNC 2610 en función a la aplicación de distintas dosis de Zinc.
- Figura 11. Número de granos por hileras de mazorca de maíz FNC 2610 en función a aplicaciones de distintas dosis de Zinc.
- Figura 12. Peso de 1000 granos de maíz FNC 2610 en función a aplicaciones de distintas dosis de Zinc.
- Figura 13. Rendimiento del cultivo de maíz FNC 2610 en función a aplicaciones de distintas dosis de Zinc.

RESUMEN

De los cereales, el maíz (*Zea mays* L.) es uno de los más importantes debido a su participación en la seguridad alimentaria, en el municipio de Cereté este cereal es de suma importancia ya que contribuye no solo en la seguridad alimentaria, sino que también en la economía de los ceretanos, cuyos suelos tienen alto potencial agrícola, pero las prácticas de fertilización en la mayoría de los casos, es incompleta y empírica, por ello nace la necesidad de hacer la investigación de planes de fertilización complementaria en la que se evaluó el efecto de la fertilización foliar a base de zinc en los componentes fisiológicos y del rendimiento del cultivo de maíz, para lo cual se utilizó semilla FNC 2610 por ser una de las semillas de mayor uso en el municipio de Cereté. Se evaluaron 3 dosis de zinc (0, 3, 5 y 7 kg/ha) en un diseño de bloques completos al azar, las variables evaluadas fueron: Altura de Planta (AP), Numero de Hojas (NH), Área Foliar (AF), Masa Seca, Longitud de Mazorca (LM), Hileras por Mazorca (HM), Granos por Hileras (GH), Peso de 1000 granos (P 1000 G) y Rendimiento (RTO). Los resultados generales mostraron que para las variables del componente fisiológico AP, NH, AF y MS no hubo respuesta significativa a la aplicación de zinc, del mismo modo las variables del componente del rendimiento LM, HM, GH, P1000 G y RTO aunque hubo tendencia al incremento con la dosis de zinc, esta no fue significativa estadísticamente.

Palabras claves: *Zea mays* L., condiciones edafoclimáticas, componentes fisiológicos, componentes del rendimiento, fertilización foliar, zinc.

ABSTRACT

Of the grain cereals, maize (*Zea mays* L.) is one of the most important due to its participation in food security, in the municipality of cerete its importance is not alien since it contributes not only to food security but also also in the economy of the ceretans, whose soils have high agricultural potential, but fertilization practices are scarce, this is why the need to relate zinc-based foliar fertilization with the physiological and crop yield components with the search to improve the growth and development of maize crop. For this, a trial was established in the municipality of cerete, where 3 doses of zinc were evaluated under a randomized complete block design, the variables evaluated were: Plant Height (AP), Number of Leaves (NH), Foliar Area (AF), Dry Mass, Cob Length (LM), Rows by Cob (HM), Grains by Rows (GH), Weight of 1000 grains (P 1000 G) and Yield (RTO). The general results showed that for the variables of the physiological component AP, NH, AF and MS did not respond significantly to zinc doses, in the same way the variables of the performance component LM, HM, GH, P1000 G and RTO did not have increasing trend with increasing doses of zinc.

Keywords: *Zea mays* L., edaphoclimatic conditions, physiological components, yield components, foliar fertilization, zinc.

1 INTRODUCCIÓN

De los granos con capacidad alimenticia más antiguos que se conocen está el maíz (*Zea mays* L.) por sus grandes beneficios y multitud de usos, se ha convertido en el cereal más importante a nivel mundial (Polaina y Méndez, 2011). Es uno de los cultivos más versátiles que se puede cultivar en diversas condiciones ambientales y tiene múltiples usos para la alimentación humana y animal (Suganya, 2015): cereales para el desayuno, harina de maíz, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, golosinas, endulzantes, entre otros. También se emplea este grano para la producción de bioetanol, fabricación de pinturas y disolventes, farmacia, productos cosméticos, polímeros biodegradables, principalmente (Graybosch, 2016; Scott y Emery, 2016; Serna-Saldivar 2016; Wrigley et al. 2016).

A nivel mundial la producción de este cereal para el año 2018 fue de 1.046 millones de toneladas (FAO, 2018), con rendimientos promedio de 4994 kg/ha, siendo los principales productores de este cereal los Estados Unidos, China y Brasil (Barroso 2017). En Colombia el cultivo de maíz es de gran importancia ya que representan el 8% del total del área sembrada en el territorio nacional, es decir, 726.562 hectáreas sembradas en este cereal (DANE, 2014). La producción para el 2016 fue de 1.629.591 toneladas entre maíz tecnificado y tradicional (MADR, 2016a; MADR, 2016b), con rendimientos que oscilaron entre 1.9 y 5.92 t/ha, el cual depende en gran medida de las labores agronómicas del cultivo (FENALCE, 2018).

En el departamento de Córdoba se cosechan 64.222 hectáreas con producciones estimadas en 222.638 toneladas de maíz tecnificado y tradicional, ubicándose al municipio de Cereté en los primeros lugares como productor de este cereal con 26.630 toneladas (MADR, 2016a; MADR, 2016b), cantidad que pudiera ser mayor en la medida que los productores conozcan mejor el manejo de este cultivo, tipo suelos, herramientas adecuadas, planes, cantidad y época de aplicación de los fertilizantes, entre otros.

El municipio de Cereté posee diversidad de suelos, algunos con problemas de drenaje, baja oferta nutricional, otros con mejor aptitud agrícola, lo que implica mejores estudios de suelos para mejorar la capacidad productiva de los mismos, en la medida que se implementen

mejores planes complementarios de fertilización que en la mayoría de los suelos son necesarios, con ello, se lograría mantener o mejorar la capacidad productiva del suelo y la sostenibilidad del sistema de producción. Esto en atención a que la productividad y sanidad vegetal dependen en gran medida de una adecuada nutrición de las plantas, la cual está relacionada directamente con una cantidad suficiente de elementos esenciales, manejo del cultivar y del ecosistema, haciendo énfasis especialmente en las prácticas agronómicas que se realicen (FENALCE, 2018; Bonilla 2008; Kirkby, 2012). En su gran mayoría los planes de fertilización tienden a NPK, lo cual termina en deficiencia de los elementos menores, micronutrientes u oligoelementos por su no aplicación, más allá de ser requeridos en pequeñas cantidades. Con la escasez de estos elementos menores, las funciones metabólicas de las plantas también se limitan, y puede repercutir en disminución del crecimiento y desarrollo del maíz (Barbieri et al., 2015; Hänsch y Mendel, 2009). Entre los elementos limitantes está el zinc, cuya concentración en el suelo está relacionado con el material parental, aplicaciones complementarias, manejo de cultivos anteriores, entre otros. También hay que tener en cuenta que el zinc disponible para las plantas, está en función de factores que afectan su disponibilidad en el medio edáfico (Alloway, 2008; Montalvo et al., 2016; Naik y Das, 2008). La deficiencia de este elemento se manifiesta en la reducción del crecimiento, baja tolerancia al estrés y disminución de la síntesis de clorofila (Sharma et al., 2013).

La deficiencia de zinc en las plantas de maíz se manifiesta con la aparición de bandas longitudinales blanquecinas, en casos drásticos, llegan a aparecer plantas más pequeñas con los entrenudos cortos y agrupamiento de hojas formando una roseta en la parte terminal (García et al., 2011), estos trastornos fisiológicos condicionan el rendimiento del cultivo y la calidad de fruto o grano.

Son pocas las investigaciones que se han publicado sobre los efectos del zinc en los rendimientos del cultivo de maíz, debido a que cree que su contribución al rendimiento es poca, por tanto no hay mucha información disponible, pero se le atribuyen beneficios al componente fisiológico de las plantas cuando se hace una buena fertilización con zinc, por

lo que esta investigación planteó como objetivo evaluar que tanto influye el elemento en los componentes fisiológicos y de rendimientos, para cual se establecieron distintas dosis de zinc en el cultivo de maíz FNC 2610 en condiciones edafoclimáticas del municipio de Cereté - Colombia. Por lo que se busca responder al siguiente interrogante: ¿Con la aplicación foliar de zinc al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) FNC 2610 bajo condiciones edafoclimáticas de Cereté se mejorará el crecimiento, desarrollo y rendimiento de este cultivar?, para ello, se midieron los parámetros fisiológicos y los componentes del rendimiento del cultivo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del zinc en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) FNC 2610 en condiciones edafoclimáticas del municipio de Cereté.

2.2 Objetivos específicos

Evaluar el efecto del zinc en los parámetros fisiológicos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) FNC 2610 en condiciones edafoclimáticas del municipio de Cereté.

Evaluar el efecto del zinc en los componentes del rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) FNC 2610 en condiciones edafoclimáticas del municipio de Cereté.

3 HIPOTESIS

Con la aplicación foliar de zinc al cultivo de maíz bajo condiciones edafoclimáticas de Cereté se mejorará el crecimiento y desarrollo del cultivar y se incrementarán los rendimientos.

4 REVISION DE LITERATURA Y ANTECEDENTES

4.1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

El maíz (*Zea mays* L.) tiene su origen en Mesoamérica, específicamente en México (Acosta, 2009), pero algunos autores sitúan su origen en los Andes y en Asia. El maíz surgió aproximadamente entre los años 8000 y 600 A.C, y hasta hace poco se han encontrado 50 razas en México, lo que permite afirmar que México haya sido el centro de difusión de éstas, además existen siete homólogas en Guatemala, seis en Colombia, cinco en Perú y dos en Brasil (Acosta, 2009; Barroso, 2017). El maíz es una especie monoica y se clasifica como una planta hermafrodita ya que posee órganos reproductores masculinos y femeninos ubicados en diferentes lugares de la misma planta y en la que predomina el tipo de reproducción sexual (Ospina y Duarte, 2011; Wyatt, 2016).

Se cultiva desde el nivel del mar hasta los 2200 m.s.n.m, a nivel mundial la producción de este cereal para el año 2018 fue de 1.046 millones de toneladas, con rendimientos promedio de 4994 kg/ha, siendo Estados Unidos, China y Brasil, los mayores productores (FAO, 2018; Barroso, 2017; Beta e Isaak, 2016). Este cereal tiene usos diversificados como alimento humano y animales, entre esos encontramos cereales de desayuno, harina de maíz, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, golosinas, endulzantes, entre otros, son algunos de los usos alimenticios derivados del maíz (Suganya, 2015). También se emplea este grano para la producción de bioetanol, fabricación de pinturas y disolventes, farmacia, productos cosméticos, polímeros biodegradables, principalmente (Graybosch, 2016; Scott y Emery, 2016; Serna-Saldivar 2016; Wrigley et al. 2016).

El maíz se siembra generalmente como monocultivo y pequeñas áreas en asocio con fríjol, ñame y arveja, en relevo con papa y frijol e intercalado con cultivos perennes en la etapa de instalación, por ejemplo, con café, caña y yuca (Polaina y Mendez, 2011). Entre las diferentes formas de cultivo que existen, para el caso del maíz se consideran dos grandes sistemas de producción: el tecnificado y el tradicional. Los agricultores del sector tradicional generalmente cultivan menos de 10 hectáreas, son escasos los paquetes tecnológicos

aplicados, y rara vez utilizan semillas mejoradas o certificadas, como tampoco aplican planes de fertilización, lo que explica que sus rendimientos sean muy bajos, oscilando en 1,5 ton/ha (Polaina y Mendez, 2011). El sistema de producción tecnificado hace uso de la mayoría de herramientas que estén disponibles para obtener los mejores resultados, en lo que se destaca uso de la mecanización, semillas mejoradas, fertilizantes, plaguicidas y logrando así rendimientos superiores a las 4.5 ton/ha (Polaina y Mendez 2011). En el país se cultivan dos tipos de maíz: amarillo y blanco, el blanco se utiliza esencialmente para consumo humano, mientras que el amarillo se usa principalmente para consumo animal e industrial y una pequeña parte para consumo humano, y es el de mayor importancia comercial en el territorio nacional (Polaina y Mendez, 2011).

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

4.2.1 Taxonomía.

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo anual del reino *Plantae*, sub reino *Tracheobionta*, división *Magnoliophyta*, clase *Liliopsida*, subclase *Commeliniade*, orden *Poales*, familia *Poaceae*, subfamilia *Panicoideae*, tribu *Maydeae*, género *Zea*, especie *Mays* (Valladares, 2010).

4.2.2 Morfología.

4.2.2.1 Raíz.

El sistema radicular es fasciculado y extenso, es de gran importancia, hace parte del componente funcional y estructural de la planta, las raíces pueden profundizar hasta 1.8 m y explorar una superficie de un círculo de 2 metros de diámetro cuando la planta está madura. En el crecimiento y desarrollo de la planta se presentan tres tipos de raíces (Ospina y Duarte 2011):

- *Raíz seminal o primaria.* Suministra el anclaje y los nutrientes a la plántula, se origina en la radícula luego de la germinación y tiene una duración de 2 a 3 semanas, se reconoce inicialmente por mostrar un grupo de 1 a 4 raíces.
- *Raíces adventicias.* Estas se originan luego de las raíces primarias, de los nudos que se encuentran debajo de la superficie del suelo y pueden alcanzar hasta 2 metros de profundidad.
- *Raíces de sostén o soporte.* Se originan en los nudos, cerca de la superficie del suelo, son las que proporcionan una mayor estabilidad a la planta y disminuyen problemas como el acame.

4.2.2.2 Tallo.

Posee un solo tallo principal formado por entrenudos separados por nudos equidistantes unos de otros. Cercanos al suelo, los entrenudos son cortos y su diámetro disminuye de manera ascendente. Este es tubular, pero desde la base hasta la inserción de la mazorca presenta una depresión que se hace más profunda conforme se aleja del suelo. El tallo está compuesto a su vez por tres capas: una epidermis exterior protectora, impermeable y transparente, una pared de haces vasculares por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares. El tallo alcanza su máximo desarrollo cuando la espiga ha emergido completamente y se ha iniciado la producción del polen (Ospina y Duarte, 2011).

4.2.2.3 Hojas.

La planta de maíz posee entre 15 y 30 hojas, su borde es áspero, y algo ondulado, estas son largas, anchas, planas y de gran tamaño; lanceoladas, alternas y paralelinervias, crecen en la parte superior de los nudos, abrazando al tallo mediante estructuras llamadas vainas, el haz de la hoja es piloso, adaptado para la absorción de energía solar, mientras que el envés, tiene numerosos estomas que permiten el proceso respiratorio, las hojas son mantenidas en ángulos aproximadamente rectos con respecto al tallo mediante una fuerte nervadura central, en la

superficie foliar, justo en la unión del limbo con la vaina, existe una proyección delgada y semitransparente que envuelve el tallo llamada lígula, la cual tiene como función restringir la entrada de agua y reducir las pérdidas por evaporación (Ospina y Duarte, 2011).

4.2.2.4 Mazorca.

Esta es la inflorescencia femenina y está constituida por un raquis cubierto por filas de granos, que puede variar entre ocho y treinta filas por mazorca, es aquí donde la planta almacenan las reservas nutritivas, las mazorcas nacen de las axilas de las hojas, del tercio medio de la planta, esta inflorescencia femenina está formada por el raquis conocida como tusa en el cual van un par de glumas externas, dos yemas, dos paleas y dos flores, una estéril y otra fértil por lo que el número de hileras de mazorcas es par, las espiguillas femeninas se agrupan en una ramificación lateral gruesa de forma cilíndrica y sus estilos sobresalen de las brácteas y alcanzan una longitud de 15 a 20 centímetros formando una cabellera característica y conocida vulgarmente como pelos o barbas. Cada flor femenina, si es fecundada, dará lugar a un fruto en forma de grano, más o menos duro, lustroso, de color amarillo, púrpura o blanco (Ospina y Duarte, 2011).

4.2.2.5 Espigas.

Son las inflorescencias masculinas de la planta, están formadas por un par de glumelas, 3 estambres y un pistilo, estas se ubican en la parte terminal de la planta y están formadas por una espiga central y varias ramas laterales, organizadas en una panícula, donde se asientan las flores agrupadas en espiguillas pareadas, una de las cuales es pedicelada y la otra es sésil, cada espiguilla posee dos flores minúsculas funcionales y cada una de estas posee tres anteras productoras de polen, cuando las condiciones fisiológicas y ambientales lo permiten, las anteras liberan el polen, que ocurre casi siempre dos a tres días antes de la aparición de los estigmas o cabellos de la mazorca y se produce la polinización (Ospina y Duarte, 2011).

4.2.2.6 Grano.

Es el fruto de la planta, compuesto por una cariósida que consta de tres partes principales: la pared, el endospermo y el embrión. La cubierta o capa de la semilla, que es la pared del ovario, se llama pericarpio, es dura y debajo de ella se encuentra la capa de aleurona, que le da el color al grano y que contiene las proteínas, interiormente está el endospermo, con el 85 a 90% del peso del grano, que al ser una estructura muy variable, le da a éste distintas apariencias, el embrión está formado por la radícula y la plúmula, ubicándose en el escutelo, localizado en la parte inferior del grano, donde va adherido a la tusa o raquis (Ospina y Duarte, 2011).

4.2.3 Aspectos fisiológicos.

Una de las ventajas que más se resalta del maíz es su gran productividad la cual se debe gracias a una gran área foliar y a una modificación de la ruta fotosintética. Esta modificación se conoce como la ruta C₄, y consiste en un mecanismo eficiente para el intercambio de vapor de agua por (CO₂) dióxido de carbono atmosférico. Como resultado de este mecanismo, las especies C₄ pueden producir más materia seca por unidad de agua transpirada que las plantas que poseen el sistema convencional para fotosintetizar (C₃) (Ospina y Duarte, 2011).

4.2.3.1 Crecimiento y desarrollo.

Se define como crecimiento el proceso de acumulación de materia seca en la planta, producto del balance que se establece entre la fotosíntesis y la respiración. El desarrollo vegetal por otra parte es el conjunto de procesos de crecimiento y diferenciación mediante los cuales, a partir de una semilla, se obtiene una planta completa con capacidad de producir otras semillas. El crecimiento de la planta de maíz se divide en dos etapas o fases: fase vegetativa y fase reproductiva (Ospina y Duarte 2011).

Fase vegetativa. Comienza desde la emergencia hasta la aparición de la espiga que es el órgano reproductor masculino, es en este momento en el que se desarrollan y diferencian los tejidos hasta que las nuevas estructuras florales aparecen. En esta fase se resume en dos momentos: Primero se forman las hojas y el desarrollo es ascendente, la producción de materia seca es lenta y finaliza con la diferenciación de tejidos de los órganos de reproducción. En el segundo momento se desarrollan las hojas y los órganos de reproducción y finaliza con la emisión de los estigmas.

Las diferentes etapas fenológicas de la fase vegetativa son designadas con la letra “V” y se le asigna un número el cual va a ser definido por la hoja superior cuyo cuello es visible, así: etapa VE (emergencia), pasando por Vn, siendo “n” la última hoja que pueda producir la planta, hasta llegar a la VT, que es cuando es visible la última rama de la inflorescencia masculina y la planta expresa su mayor altura (Ospina y Duarte, 2011).

Fase reproductiva. Esta fase inicia desde la formación completa de los estigmas y finaliza con la madurez fisiológica. Se caracteriza por el incremento del peso de las hojas, la flor y por el aumento rápido en el peso de los granos, aquí se presentan las siguientes etapas tal como lo menciona Ospina y Duarte (2011):

Estigmas visibles (R1). El número de óvulos que será llenado es determinado en este momento.

Grano ampolla (R2). Se empiezan a acumular los almidones en el endospermo que presenta una apariencia acuosa y los núcleos comienzan una rápida acumulación de masa seca.

Grano lechoso (R3). Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco, mostrándose de color amarillo por fuera, debido a la acumulación de almidón.

Grano pastoso (R4). Los granos llegan al 70% de humedad y han acumulado cerca de la mitad de su peso seco maduro.

Grano dentado (R5). Disminuye la humedad del grano y la parte superior del grano es llenado con almidón sólido.

Madurez fisiológica. El grano está completamente desarrollado.

4.3 FACTORES ABIÓTICOS QUE AFECTAN AL CULTIVO DE MAÍZ

Lafitte (2001); Ospina y Duarte (2011) mencionan los siguientes factores:

4.3.1 Sequia.

Esto ocasiona estrés al cultivo y puede ocurrir en cualquier momento de su ciclo y las probabilidades son mayores cuando el maíz no es cultivado bajo riego, las plantas pueden consumir durante su ciclo alrededor de 600 mm de lámina de agua. Con solo dos días que la planta sufra de estrés hídrico en la etapa donde se determina la cantidad potencial de granos a producir, el rendimiento puede disminuir en más de un 50%, ya que la presencia de agua en la iniciación floral y desarrollo de la inflorescencia es vital, al igual en el período de fertilización, la presencia de agua también es importante para evitar la deshidratación del grano de polen y garantizar el desarrollo y la penetración del tubo polínico. Al igual que tiene sus efectos en el llenado de granos, ya que los aumentos de materia seca están relacionados a la fotosíntesis, y si hay estrés, esto resultará en una menor producción de carbohidratos, lo que implica menor cantidad de materia seca en granos. Debido a que el estrés por sequía limita la disponibilidad de CO₂ para la fotosíntesis por el cierre estomático y la ausencia de agua causa limitaciones bioquímicas en el proceso fotosintético.

4.3.2 Fertilidad de los suelos.

La deficiencia de elementos nutricionales en el medio edáfico pueden condicionar el buen crecimiento y desarrollo de la especie vegetal debido a la esencialidad de los mismo, por lo que se hace necesario que en ausencia de estos elementos nutricionales, aportar fertilizantes para satisfacer las necesidades del cultivo, los elementos más comunes que pueden limitar al cultivo son: nitrógeno, fósforo y el zinc.

4.3.3 Acidez de los suelos.

El crecimiento del cultivo se ve limitado por la toxicidad del aluminio, cuando la saturación del mismo supera el 60% en el suelo, se reduce el crecimiento de las raíces y se perjudica su funcionamiento.

4.3.4 Salinidad en los suelos.

Bajo estas condiciones el cultivo sufre un estrés que induce a la reducción del desarrollo debido a la disminución del potencial osmótico de la solución del suelo, lo que se manifiesta como un marchitamiento dado que el cultivo sufre por sequía fisiológica al no poder tomar el agua del suelo.

4.3.5 Temperatura.

Este factor causa estrés al cultivos, las temperaturas bajas ocasionan estrés por frío o por heladas y las elevadas, estrés por golpe de calor, es por eso que por debajo o por encima de una determinada temperatura el cultivo sufren daños severos que limitan su correcto funcionamiento, para el caso del maíz, es así como las temperaturas fuera de rango del cultivo pueden tener efectos negativos sobre la fotosíntesis, la translocación, la fertilidad de las inflorescencias, la polinización y trastornos del metabolismo.

4.4 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

El cultivo de maíz como especie vegetal necesita de unas condiciones de suelo y clima que permitan su buen crecimiento y desarrollo, a continuación se generalizan las más importantes según (Vargas, 2011):

4.4.1 Suelos.

El cultivo de maíz necesita suelos profundos fértiles, de textura franca, con buena permeabilidad, de gran capacidad de retención de agua, con buen drenaje, de estructura granular, alto contenido de materia orgánica y un pH entre 5.0 y 7.5.

4.4.2 Temperatura.

Este aspecto influye directamente sobre el periodo vegetativo del maíz, ya que el maíz se desarrolla bien a temperaturas que oscilan entre 20 y 29°C, pero la ideal está comprendida entre 24 y 26°C.

4.4.3 Luminosidad.

La luminosidad ideal está comprendida entre 6 a 7 horas de luz día.

4.4.4 Precipitación.

El cultivo de maíz se da en regiones con precipitaciones de 1.000 y 2.000 mm por año, pero normalmente la planta de maíz necesita entre 550 a 650 mm.

4.4.5 Altitud.

El maíz se desarrolla desde 0 a 4.000 msnm, pero a alturas mayores de 2.000 msnm se incrementa significativamente el ciclo o periodo vegetativo.

4.5 NUTRICIÓN

La productividad y la sanidad vegetal dependen en gran medida de una adecuada nutrición de las plantas, la cual está relacionada directamente con una cantidad suficiente de los llamados elementos esenciales: N, S, P, Si, B, K, Ca, Mg, Cl, Mn, Na, Fe, Zn, Cu, Ni y Mo, siendo restringido Cl y Ni para un número limitado de especies de plantas, estas toman estos elementos esenciales del suelo a través de las raíces y en forma inorgánica de la solución que se forma en el suelo, estos son utilizados en diferentes procesos metabólicos que le permiten a la planta su adecuado crecimiento y desarrollo (Ascón y Talón, 2008; Kirkby, 2012).

El cultivo de maíz requiere diferentes elementos para realizar sus funciones metabólicas y garantizar su crecimiento y desarrollo y por tanto garantizar un buen rendimiento. En general, los nutrientes de mayor importancia para la producción son el nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio; sin embargo, la deficiencia de cualquiera de los 16 elementos esenciales afectará la producción (García et al., 2011).

García (2005) afirma que los valores para cada elemento varían según el ambiente donde se cultive y el manejo que se le dé, y el mismo autor reporta los siguientes datos en promedio para cada nutriente: nitrógeno: 22; fósforo: 4; potasio: 19; azufre: 4; magnesio: 3; calcio: 3, expresados en kg de nutriente por tonelada de maíz producida, y para el caso de zinc: 53; boro: 20; cloro: 444; cobre: 13; hierro: 125; manganeso: 189; molibdeno: 1, expresados en g de nutriente por tonelada de maíz producida.

Para el caso del cultivo en el municipio de Cerete (García et al., 2011) reportan la siguiente tasa de extracción: nitrógeno: 28,4; fósforo: 4,4; potasio: 11,5; azufre: 1,8; magnesio: 3,1 expresados en kg de nutriente por tonelada de maíz producida, y para el caso de menores zinc: 100; boro: 23; hierro: 109, expresados en gr de nutriente por tonelada de maíz producida.

4.6 PERSPECTIVAS DEL CULTIVO DE MAÍZ

4.6.1 Globales.

Con la llegada del cambio climático global se prevén niveles aumentados de dióxido de carbono en la atmósfera, que son los responsables de que hayan temperaturas más cálidas, fluctuaciones en los patrones de precipitación y mayor frecuencia y severidad de los episodios de estrés por calor, junto con una menor frecuencia de heladas y un aumento en los niveles del mar. Estos cambios implican en un futuro las fluctuaciones en el rendimiento y la calidad del grano, pero se prevén aumentos generales en el rendimiento del grano, una consecuencia es la provisión de fertilizante de carbono, lo que lleva en el futuro a una producción de biomasa más eficiente y mayores rendimientos para muchas especies de granos incluyendo el maíz,

Sin embargo, los aumentos de rendimiento pueden ser en gran medida en carbohidratos, lo que potencialmente deja niveles reducidos de proteína en grano y bajos niveles en nutrientes (Wrigley 2016).

Lo que hace indispensable que se desarrollen planes de nutrición donde se le aporte la cantidad necesaria de elementos minerales al cultivo maíz, ya que cuando una planta se desarrolla en un ambiente con deficiencias de un elemento, sus frutos suelen ser pobres en ese elemento y el maíz (*Zea mays* L.) no es ajeno a esa condición, a nivel mundial se reconoce que los granos de maíz tienen bajas concentraciones de micronutrientes, particularmente zinc. Uno de los efectos directos más importante de esta deficiencia es que recae sobre las personas que incluyen en su dieta maíz y productos a base de maíz, ya que van a tender a manifestar las deficiencias del elemento ausente en el fruto (Sunganya, 2015).

4.6.2 Locales.

En Colombia este cultivo es de gran importancia se encuentra difundido en la totalidad de las regiones del país, gracias a su características de adaptación a diversas condiciones agroclimáticas y socioeconómicas (Polaina y Mendez, 2011). El departamento de Córdoba que basa su economía principalmente en el sector agrícola, el cultivo de maíz, uno de los más importantes de la región (Lara et al. 2011), se cosecharon 64.222 hectáreas con producciones estimadas en 222.638 toneladas de maíz tecnificado y tradicional para el 2016, ubicando al municipio de Cerete en los primeros lugares como productor de maíz con 26.630 toneladas (MADR, 2016a; MADR, 2016b). Lo que representa un ingreso en los agricultores por la venta de este grano. También se evidencia su participación en la economía y en la alimentación humana por su amplia gama de productos artesanales para consumo como lo son, arepa, peto, empanadas, buñuelos, bollos, chichas, entre otros.

Es evidente la importancia de este cultivo en nuestro medio, lo que hace que surja la necesidad de trabajar para mejorar su calidad y su productividad, desde nuestra área del conocimiento esto se puede lograr con lo que conocemos como buenas prácticas agrícolas, ya que el manejo agronómico del cultivo de maíz tiene impacto sobre la calidad del grano, la producción y en el rendimiento del mismo, cuando se logra aumentar los rendimientos de los productores con la aplicación de nuevas tecnologías o con la tecnificación de sus procesos productivos se le está apuntando a la sostenibilidad de los productores como lo expresa Damián et al., (2013).

4.7 EL ZINC

Este micronutriente se encuentra en concentraciones variables en el suelo y es esencial para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas ya que juega en un papel importante en los procesos metabólicos de las plantas, mejorando la eficiencia en la absorción de otros nutrientes y contribuyendo indirectamente a los rendimientos (Alloway, 2008).

4.7.1 El zinc en el suelo.

Se libera principalmente a partir de minerales que contienen óxidos de zinc, sulfatos, sulfuros, carbonatos, silicatos y fosfatos, que a su vez se liberan de la roca madre, también por procesos atmosféricos como incendios y actividad volcánica, procesos bióticos de descomposición y la actividad antropogénica (Sturikova et al 2018). La cantidad total de zinc en los suelos se distribuye como catión soluble en agua Zn^{+2} unido opcionalmente a sustancias orgánicas; adherido en forma intercambiable a coloides arcillosos, huminas e hidróxidos de aluminio y hierro; y formando complejos insolubles y minerales (Montalvo et al., 2016). La distribución del zinc en el suelo depende del contenido total de zinc, contenido de arcilla, contenido de carbonato de calcio, condiciones redox, actividad microbiana en la rizosfera, estado de humedad del suelo, concentración de otros microelementos, concentración de macronutrientes, especialmente el fósforo y las condiciones climatológicas (Alloway, 2008).

La concentración de zinc en el suelo está relacionado con la composición de la roca madre, una vez liberado el zinc en su totalidad, solo una proporción de este pasa a ser parte de la solución del suelo la cual se considera relativamente baja (Montalvo et al., 2016). Además de esto, hay que tener en cuenta que el zinc disponible para las plantas, está en función de factores que afectan su disponibilidad en el medio edáfico, los cuales son: contenido total de zinc en suelo, contenido de arcilla, contenido de carbonato de calcio, condiciones redox, actividad microbiana en la rizosfera, estado de humedad del suelo, concentración de otros microelementos, concentración de macronutrientes, especialmente el fósforo y las condiciones climatológicas (Alloway 2008).

4.7.2 El zinc en las plantas.

Es tomado por las raíces las cuales lo absorben de la solución del suelo, principalmente en forma de iones Zn^{+2} o complejos con quelatos de ácidos orgánicos, y se transloca a través del xilema a la parte aérea de la planta (Palmgren et al citado en Sturikova et al., 2018). El

transporte de zinc desde las células rizodermicas y de la corteza hacia el xilema está mediado por transportadores de proteínas especializadas de metales pesados (ATPasa de metales pesados), localizados en la membrana plasmática de las células del haz vascular de la raíz y el brote (Hussain et al citado en Sturikova et al., 2018). Las plantas también pueden absorber formas de zinc a través de las hojas, sin embargo, el mecanismo de la misma aún no se conoce por completo (Fernandez y Brown citado en Sturikova et al., 2018). Este es un elemento muy versátil en la planta ya que tiene una cantidad importante de funciones dentro de la planta, de ellas se destacan: vitalidad como cofactor catalítico, estructural y regulador de muchas reacciones enzimáticas, necesario para el metabolismo de los carbohidratos, la síntesis de proteínas, la biosíntesis de las hormonas del crecimiento, en particular del ácido linoleico y el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares (Alloway, 2008).

4.7.3 Importancia de la fertilización con zinc en los cultivos.

La fertilización con micronutrientes es poco ejercida y ha sido investigada de manera insuficiente, por lo tanto, es poca la información al respecto que se haya publicado, sin embargo, López et al (2014), reportan aumentos del rendimiento en papa del 136 % con aplicaciones de 3 kg / ha de zinc de manera edáfica y del 93% cuando este fue aplicado de manera foliar, estos autores recalcan la importancia de este nutriente al mejorar la eficiencia del cultivo gracias a aumentos en la absorción de nutrientes y también en la del tamaño y peso. En pimentón, Ankur (2018), reporta que obtuvo el máximo rendimiento y frutos de mayor calidad gracias a la aplicación de zinc de manera foliar (100 ppm).

4.7.4 Fertilización con zinc en el cultivo de maíz.

Trabajos realizados en maíz como el de Espósito et al (2010), afirman que el número de granos aumentan por metro cuadrado cuando se aplica zinc, lo que contribuye a aumentar los rendimientos en maíz, estos mismo autores explican que la deficiencia de zinc afectó el crecimiento del cultivo durante su periodo crítico para definir rendimiento. Potarzycki y Grzebisz (2009), en un estudio de campo que hicieron durante tres años donde aplicaron zinc, el maíz respondió de manera significativa a la aplicación foliar de este nutriente, el aumento

del rendimiento de grano fue de alrededor del 18% en comparación con tratamientos de fertilizado solo con NPK. Estudios realizados por FENALCE en algunos departamentos indican que la adición de zinc (4kg/ha) junto con magnesio (50 kg/ha MgO) y azufre (60 kg/ha S), incrementaron significativamente el rendimiento del maíz, si se compara con un tratamiento basado únicamente en la adición de nitrógeno, fósforo y potasio (García et al 2011), estos mismo autores afirman que los micronutrientes como zinc promueve un buen desarrollo del cultivo y demuestran incrementos en rendimiento al compararlo con testigos.

La adición de zinc incrementa la eficiencia agronómica de otros nutrientes como lo reporta (García et al 2011), donde especifica un aumento de 30 kg de grano por kg de nitrógeno aplicado, lo que provocaría finalmente un excelente uso de los nutrientes disponibles para la planta y aumentos en los rendimientos por parte de los cultivos de maíz y concuerdan con Nikhil y Salakinkop (2017), quienes encontraron que el aporte de zinc al suelo aumento la movilidad de los elementos nativos y esto se correlacionó directamente con aumentos en la absorción de nutrientes por parte de la plantas de maíz. Finalmente otros de los beneficios que se reportan gracias al agregado de zinc, son los aumentos en los contenidos de proteína en el grano de maíz tal como lo afirma Asif et al (2010).

5 MATERIALES Y METODOS

5.1 Localización

Esta investigación se llevó a cabo en el municipio de Cereté, en un lote experimental de la finca “La coquera” adscrito a FENALCE, cuyas coordenadas geográficas son 8°54'42" latitud norte y 75° 48'34" longitud Oeste, con respecto al meridiano de Greenwich y una altura de 14 msnm. El área pertenece a la zona climática cálida moderada, a la formación Bosque húmedo Tropical (BH-T) y a la zona agroecológica Cj (Palencia et al. 2006; Holdrige, 1986; IGAC, 1985). De topografía plana, bien drenados, nivel freático profundo y de mediana oferta nutricional. El estudio se realizó durante el segundo semestre del año 2018.

5.2 Muestreo de suelos

Se tomó una muestra de suelos en los primeros 20 cm de profundidad (cinco submuestras), se homogenizaron y se empacaron, estas se llevaron al laboratorio de Suelos de la Universidad de Córdoba para su estudio fisicoquímico, en el cual se determinaron los siguientes parámetros que se detallan en la tabla 2.

5.3 Características del suelo

De acuerdo con el estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Córdoba, los suelos del campo experimental de FENALCE ubicados en el corregimiento de Manguelito (Cereté), se caracterizan por ser planicies fluvio lacustre de clima seco, con tipo de relieve categorizadas como terrazas, con sedimentos medios y finos, suelos moderadamente profundos, texturas medias y finas, con susceptibilidad a encharcamientos, lo que le confiere usos para fines agropecuarios, por lo que en ellos se encuentran cultivos de arroz, maíz, plátano y ganadería semi – intensiva (IGAC, 2009).

Químicamente el suelo presenta un pH ácido (pH=5.84) (Tabla 1), valor adecuado para el cultivo de maíz desde el punto de vista de químico, es importante resaltar que no se presenta problemas por solubilidad de aluminio ya que este elemento se hace soluble cuando el pH es inferior a 5.5 (Cabrales 2008).

Tabla 1. Resultados del análisis de suelo, lote experimental.

pH	MO	S	P	Ca	Mg	K	Na	CIC e	Cu	Fe	Zn	Mn	B
1:1	%	mg/kg		Cmol(+)/kg					mg/kg				
5.84	2.03	8.2	4.8	8.8	8.7	0.17	0.10	17.8	3.8	29.7	3.4	3.1	0.48

El contenido de materia orgánica (MO) que se encontró en estos suelos fue de 2.03%, el cual se clasifican como contenido medio (Jaramillo, 2002). Este contenido refleja un adecuado manejo de residuos de cosecha y labranza reducida que comúnmente se aplica en estos lotes experimentales. Con base en este contenido de MO, se estima que el suelo contiene 40.6 kg/ha de nitrógeno disponible, cantidad insuficiente para satisfacer las necesidades de un cultivo como el maíz, por lo que se requiere de aplicaciones complementarias de este elemento.

El contenido de azufre en el lote se encuentra por debajo de los rangos medios (10 – 20 mg/kg), sin embargo, en el ensayo no se presentaron deficiencia de este elemento. El contenido de fósforo está por debajo del rango medio para suelos agrícolas de clima cálido (15 – 30 mg/kg) y puede repercutir en una deficiencia para el cultivo, si no se hacen aplicaciones complementarias.

Respecto a las bases intercambiables, el calcio y el magnesio se encuentran en niveles altos, y también hace evidente un problema en la relación de estos dos (relación estrecha), lo que puede derivar en deficiencia de calcio y que estas se manifiesten en las plantas debido a que no se facilita su absorción, producto del antagonismo que se presenta entre estas dos bases. En cuanto al potasio, este se encuentra en el límite inferior del contenido medio (0.15-0.30 cmol(+)/kg) para los suelos del trópico, esto indica que el suelo no tiene la suficiente capacidad de abastecer al cultivo de este elemento. El sodio no presenta niveles de

importancia agronómica ya que su contenido se encuentra por debajo de 1 cmol(+)/kg y su saturación se encuentra por debajo del 7%, por lo tanto no hay problema con este elemento.

Los elementos menores, el cobre se encuentra por encima de los valores medios para los suelos agrícolas (1.5 – 2.5 mg/kg), sin embargo, no reviste importancia dado que no es excesivo. El contenido de hierro está en niveles medios (20 – 30 mg/kg), pero el contenido de manganeso al igual que boro, son deficitarios, ambos están por debajo de los rangos medios (25-40 mg/kg para Mn y 0.8 – 1.2 mg/kg para B). El contenido de zinc que es el elemento en cuestión para esta investigación, se encuentra dentro del rango de los contenidos medios para suelos agrícolas (3 – 5 mg/kg), sin embargo en la zona se ha observado que el maíz responde a aplicaciones de foliares de este elemento, lo que motivó la realización de este ensayo para la zona cereteana.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos a evaluar en las muestras de suelos.

Parámetro	Método	Referencia
Textura	Boyucos	IGAC, 2006
pH	Potenciometría relación suelo:agua 1:1	Instituto de Edafología, 1993
MO	Walkley y Black: oxidación húmeda	
P	Bray II	
Ca	Extracción con Acetato de NH ₄ 1M y pH 7	
Mg		
K		
Na		
Al	KCl	
CICE	Sumatoria de bases y acidez intercambiable	

5.4 Manejo de plagas y enfermedades

No hubo necesidad de realizar o implementar ningún tipo de control o manejo de enfermedades debido a la buena sanidad del lote (no se presentó enfermedad alguna), para el caso de las plagas, solo se presentó *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) pero no alcanzó niveles críticos para la implementación de planes de manejo, cabe resaltar, que el material FNC 2610 contiene la tecnología Herculex que hace control de este tipo de insectos en sus estadios larvales iniciales.

5.5 Manejo de arvenses

Para el control de arvenses se realizaron aplicaciones químicas, las cuales fueron efectuadas antes de la siembra y a los 29 días después de sembrado, se utilizó el herbicida glufosinato+picloran, asperjados tanto en calles como entre plantas en dosis de 2 l/ha (200 ml por aspersora de 20 litros).

5.6 Plan de fertilización

El plan de fertilización fue N-P-K fue de 150-92-90, de N-P₂O₅-K₂O, las cantidades aplicadas dependieron de la oferta del suelo. Como fuente se utilizaron Urea, DAP y KCl. De igual manera se aplicaron 20 kg/ha de S y MgO y 1.1 kg/ha de Borax. La fertilización con fosforo se aplicó en su totalidad al momento de la siembra, mientras que el azufre magnesio y boro se hizo de manera foliar en V6, el nitrógeno se fraccionó de la siguiente manera: 40% en V4 y 60% en V10, el potasio se fraccionó 50% en V4 y el otro 50% 30 en V10. Todas las aplicaciones fueron hechas de forma manual, localizando e incorporando en la inmediatez del tallo la dosis respectiva.

5.7 Diseño estadístico

Se utilizó un diseño estadístico en bloques completamente al azar de 4 tratamientos con 3 repeticiones, en el que se establecerán 12 unidades experimentales de 10 surcos de 12 metros de largo separados a 80 cm, para un total de 96 m² por parcela y un área total del ensayo de 1.152 m².

Tabla 3. Tratamientos a utilizar en el ensayo.

TRATAMIENTO	DOSIS DE ZINC (kg ha ⁻¹)
T0	Sin aplicación de zinc
T1	3
T2	5
T3	7

Como fuente de zinc se utilizó el producto comercial Óxido de zinc, la aplicación se hizo de manera foliar en V6.

Variables

5.7.1 Variables fisiológicas.

- 5.7.1.1 *Altura de planta.*** La medición se realizó con un flexómetro desde la base de las plantas hasta el ápice de la misma, en 3 plantas céntricas de cada unidad experimental, la evaluación se efectuó con una frecuencia de 10 días y se expresó en cm.
- 5.7.1.2 *Número de hojas.*** Se contaron cada 10 días las hojas totalmente formadas en cada una de las 3 plantas céntricas marcadas por tratamiento. Se expresó en unidades/planta.
- 5.7.1.3 *Área foliar.*** Se realizó por estimación haciendo el producto del promedio del largo, el promedio del ancho, el número de hojas y la constante de Montgomery ($k = 0,75$). Se expresó en $\text{cm}^2/\text{planta}$.
- 5.7.1.4 *Masa seca.*** Se realizó hasta periodo de floración mediante secado a 65°C por 72 horas. Para lo cual se tomó una planta céntrica de cada unidad experimental, la evaluación se efectuó con una frecuencia de 10 días. Se expresó en g/planta.

5.7.2 Variables de rendimiento.

- 5.7.2.1 *Longitud de mazorca.*** Se midió la longitud de 3 mazorcas efectivas seleccionadas por tratamiento de 3 plantas céntricas. Se expresó en cm/mazorca.
- 5.7.2.2 *Hileras por mazorca.*** Se contaron las hileras de 3 mazorcas cosechadas, seleccionadas por tratamiento de 3 plantas céntricas. Se expresó en hileras/mazorca.
- 5.7.2.3 *Número de granos/hilera.*** Se contaron los granos que contenía cada hilera de 3 mazorcas cosechadas, seleccionadas por tratamiento de 3 plantas céntricas. Se expresó en granos/hileras.
- 5.7.2.4 *Peso de 1000 granos.*** Se evaluó por cada tratamiento, estos fueron tomados de la parte media de las mazorcas seleccionadas de la cosecha de 3 plantas centrales. Se expresó en g/1000 granos.

5.7.2.5 Rendimiento. Se estimó multiplicando la producción promedio por planta de los cuatro surcos centrales por tratamiento multiplicado por 62.500 que es la población media por hectárea, se aplicó un factor de corrección del 85,5%. Se expresó en kg/ha

5.8 Procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos se tabularon en tablas de Excel y fueron procesados en el programa estadístico SAS versión 9.1, donde se hizo análisis de varianza y pruebas de comparación medias por Tukey con un nivel de confianza del 95%.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Efecto del Zinc sobre las variables fisiológicas

6.1.1 Altura de planta.

En su crecimiento, las planta alcanzaron una altura máxima de 295,2 cm a los 60 días después de emergencia (DDE) y coincidió con la emisión completa de la inflorescencia masculina, siendo esta cuando se aplicaron 7 kg/ha Zinc, seguida por 288,96 cm con el testigo y la menor altura se obtuvo con las dosis de 3 y 5 kg/ha de Zinc y fue de 280 cm para cada dosis que también se alcanzaron a los 60 DDE, desde el día 30 se observa el mayor incremento de esta variable, esto se explica por estímulo que provocó el fraccionamiento de la fertilización que se hizo al cultivo. Estos valores difieren de Barrera et al (2017), quienes también evaluaron un híbrido de maíz bajo condiciones del valle medio del Sinú y encontraron que las mayores alturas lograron cifras de hasta 175 cm a los 77 DDE.

Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para esta variable (Figura 1), como tampoco una tendencia importante de incremento en función a la aplicación de zinc, por lo que se observan las cuatro líneas correspondientes a las dosis aplicadas, bastante superpuestas, lo mismo se observa entre las dosis con respecto a los días después de emergencia (DDE) confirmando aproximaciones entre los datos obtenidos para este variable.

Esta no respuesta se le atribuye posiblemente a que los contenidos de este elemento en el suelo fueron suficientes para satisfacer las necesidades del cultivo, favorecido por el pH ácido del suelo, que según Navarro y Navarro (2003); Alloway (2008), mejora la solubilidad del elemento y por tanto su disponibilidad para las plantas. En este sentido, Yamada (2004), plantea que no necesariamente tiene que haber respuesta cuando el contenido de un elemento como el zinc está en el rango medio, ya que cuando un elemento está en cantidades disponibles y en condiciones edáficas que ayuden a que la planta los tome, un aumento del contenido del elemento no garantiza que la planta los siga tomando.

El comportamiento de esta variable fue de carácter lineal, como es de esperarse para este tipo de variable cuando se desarrolla en ambientes propicios.

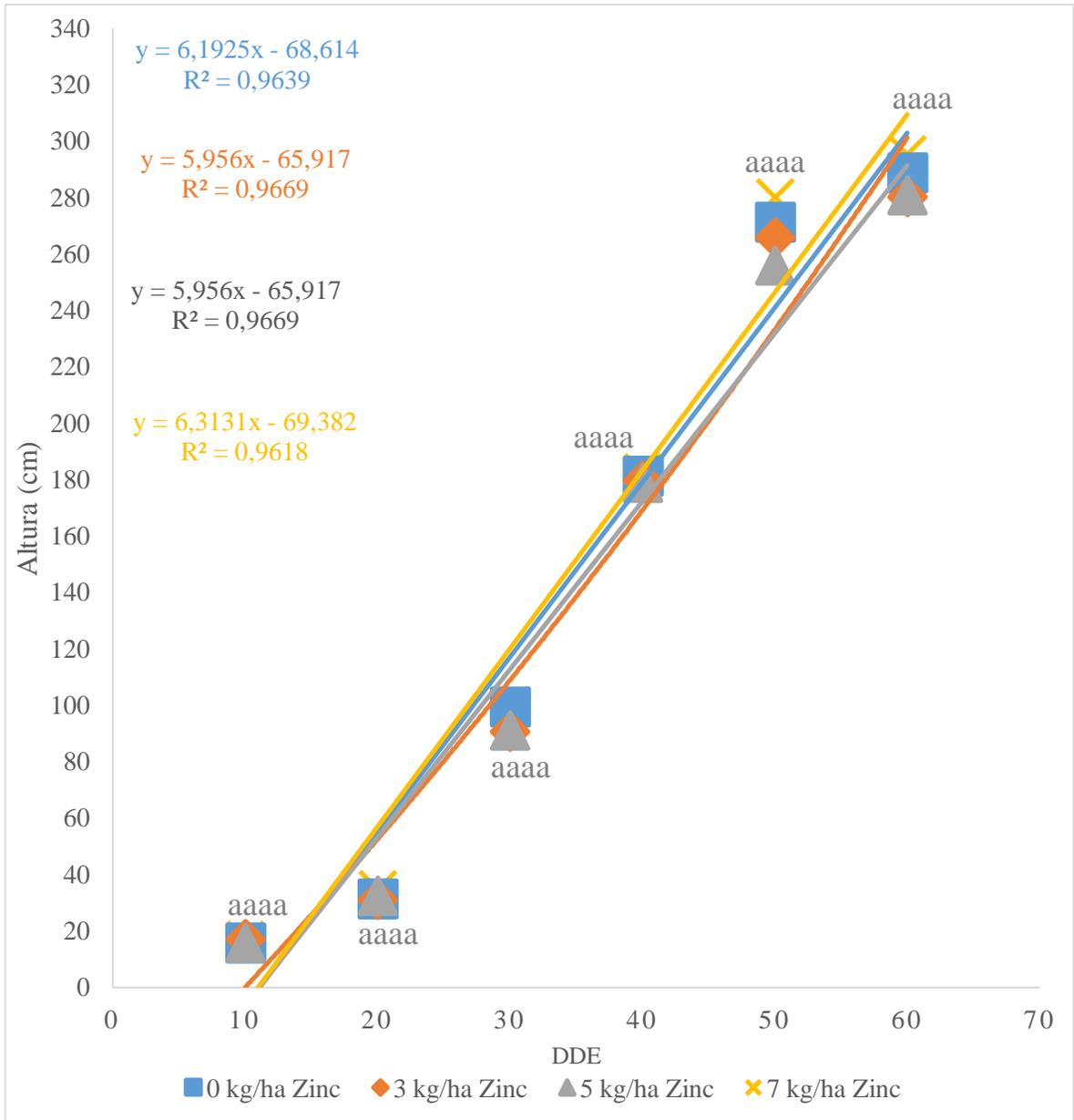


Figura 1. Crecimiento del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc. Letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P < 0,05$). (CV 6,16%).

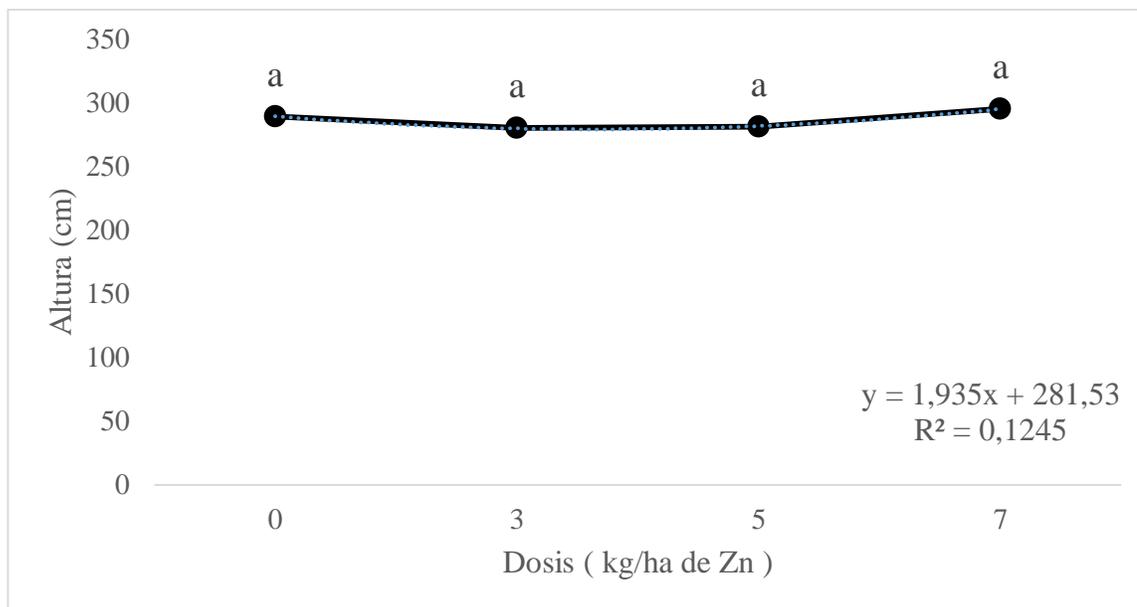


Figura 2. Modelo ajustado al crecimiento final del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.

En la Figura 2 se puede apreciar que la aplicación de zinc en las condiciones del ensayo, es poco lo que influye (12%) en el crecimiento de la planta de maíz al final de su ciclo vegetativo, esto es, que la altura de planta según autores diversos depende de muchos más factores que tan solo el de la fertilización con zinc.

6.1.2 Numero de hojas

En todos los tratamientos las plantas expresaron en su totalidad 18 hojas a los 60 días, aunque no se puede evidenciar a simple vista, debido a la superposición de las líneas, así como de las dosis con respecto a los días después de emergencia del cultivo, esto producto de la similitud en los datos, hubo una diferencia de ± 1 hoja completamente desarrollada entre todos los tratamientos hasta los 50 días, pero al analizar estos datos estadísticamente, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos tal como se muestra en la Figura 3. Aunque a lo largo del ensayo se pudo ver diferencias matemáticas en el

número de hojas, esto se atribuye más a la fecha de germinaron y no a las dosis de zinc. Al final del ciclo del cultivo, se pudo notar que estas produjeron el mismo número de hojas, lo cual se relaciona con la expresión genética de la variedad y no a una respuesta al manejo agronómico del cultivo. Esta variable tuvo un comportamiento lineal, por lo que se puede argumentar que no hubo condiciones que afectaran negativamente esta variable, además de ser el comportamiento esperado teniendo en cuenta la fisiología de la planta.

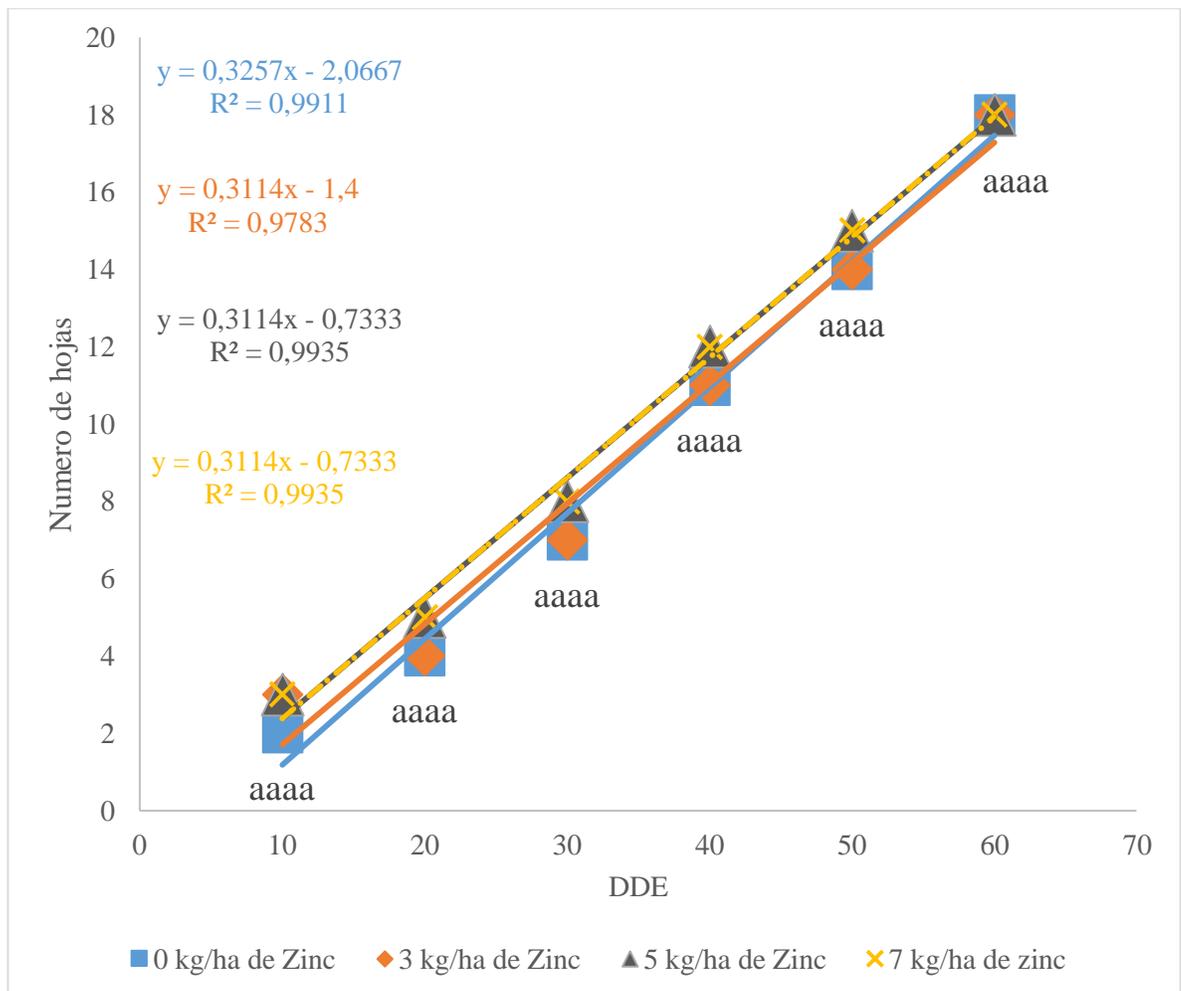


Figura 3. Producción de hojas del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc. Letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P < 0,05$). (CV 9,14%).

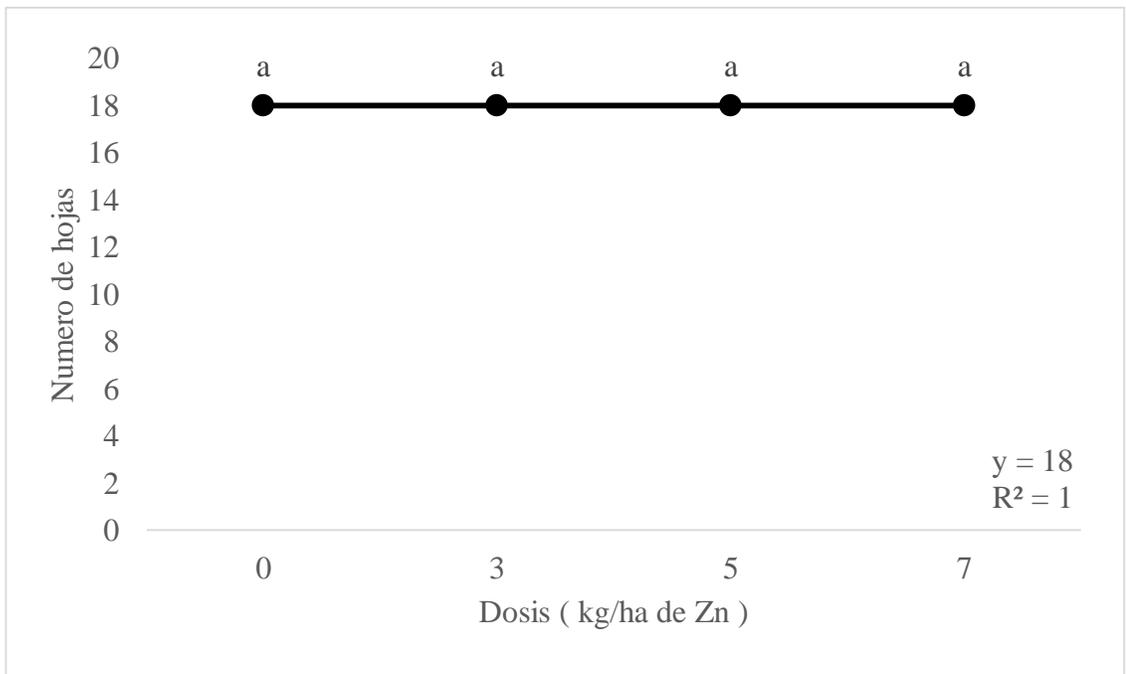


Figura 4. Modelo ajustado a la producción final de hojas del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.

El modelo ajustado al comportamiento de esta variable al final del ciclo vegetativo fue el lineal como se muestra en la (Figura 4), lo cual nos permite atribuirle a este resultado un carácter genético de la planta, y que al final, indistintamente de la aplicación de este elemento, el cultivo expresará en su totalidad 18 hojas.

6.1.3 Área foliar

Los mayores valores se alcanzaron a los 60 DDE, siendo 8100 cm² para el testigo, 8640cm² para 3 kg/ha de zinc, 8282,16 cm² para 5 kg/de zinc y 8200,65 cm² para 7 kg/ha de zinc, otros autores como Barrera et al., (2017) quienes también evaluaron en un híbrido de maíz este parámetro en condiciones similares del valle medio del sinú, encontraron que los mayores valores de área foliar fueron de 281 cm² a los 49 DDE, lo que difiere con nuestra investigación, pero hay que tener en cuenta que se trabajó con híbridos diferentes por lo que se asume que estos no tienen las mismas características genéticas ni potencial agronómico.

Al analizar esta variable no se encontró diferencia significativa con ningún tratamiento a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo (ver figura 5), por lo que atribuimos la falta de respuesta a los contenidos medios de zinc en el medio edáfico (3,4 mg/kg), de igual forma coincidimos con un estudio realizado por Yamada (2004) en Río Grande do Zoul (Brasil) donde el autor estableció la dosis de 0,5 mg/ kg de zinc (Extractante DTPA), como umbral por encima del cual no necesariamente debiera manifestarse respuesta a la fertilización.

Marengo, (2009) tampoco encontró respuesta a esta variable cuando los contenidos de zinc fueron medios.

Esta variable tuvo un comportamiento lineal al final del ciclo vegetativo del cultivo, por lo que se evidencia una normalidad dentro de los parámetros fisiológicos para el área foliar, la cual obedece a un comportamiento creciente.

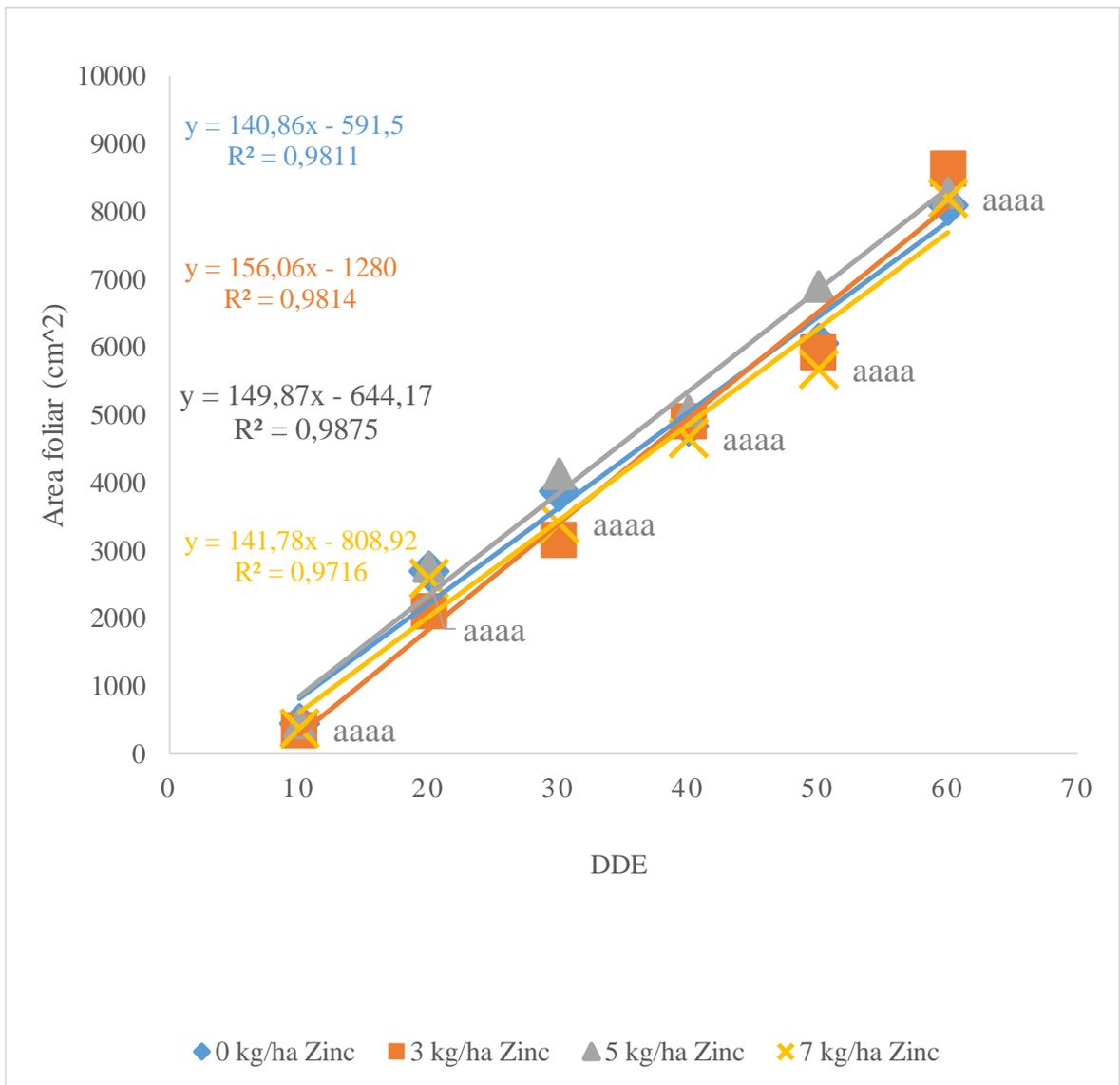


Figura 5. Área foliar del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc. Letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de comparación múltiple de Tukey (P<0,05). (CV 7,77%).

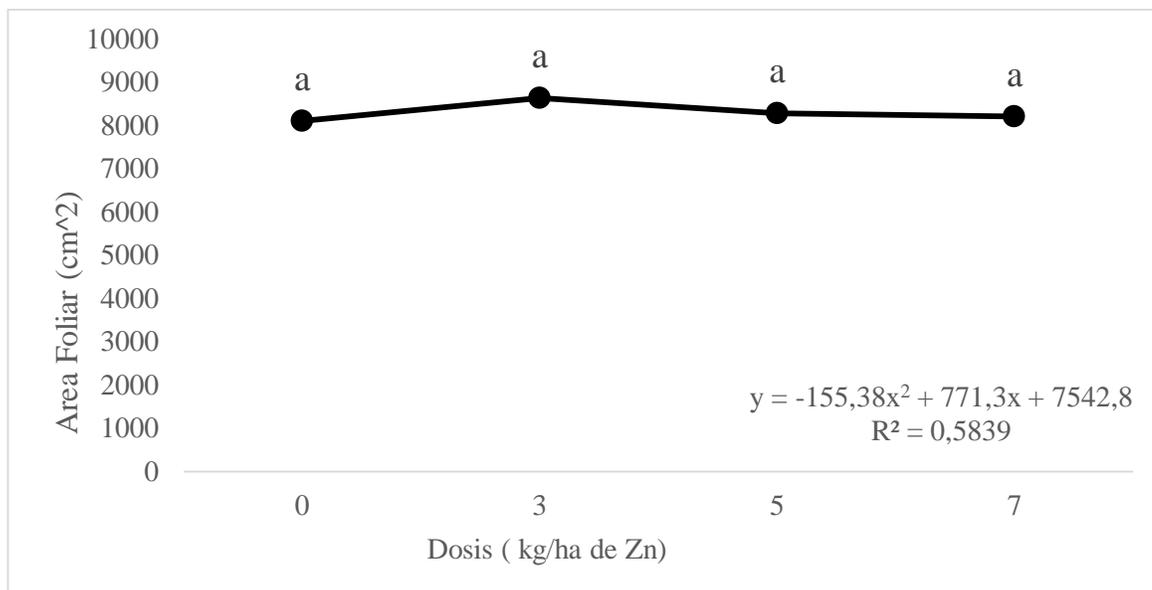


Figura 6. Modelo ajustado a la producción final de Área foliar de plantas de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de zinc.

Al final de la etapa de esta variable no se observó diferencias entre las distintas, ajustando un modelo cuadrático para comprender mejor este comportamiento, solo es explicado en un 58% como se muestra en la figura 6 por lo que para este parámetros podemos decir que influyen otros factores y no solo responde a un aumento de las dosis de zinc.

6.1.4 Masa seca

A lo largo del ciclo vegetativo del cultivo esta se comportó de manera similar en todos los tratamientos, sin diferencia estadística significativa, lo que deja entre ver que para las condiciones del ensayo, la aplicación de zinc no influye en la producción de biomasa para esta variedad de maíz (Figura 7). Al final del ensayo o primera etapa fenológica, el tratamiento que mayor masa acumulada fue de 282.37 g y se logró con la aplicación de 5 kg/ha de zinc, y la menor producción fue de 211.7 g en el tratamiento testigo (sin aplicación de zinc), sin diferencias estadísticas significativas. Estos resultados concuerdan con los

reportados por Gherzi (2016), quien tampoco encontró respuesta a la aplicación de zinc en la producción de masa seca.

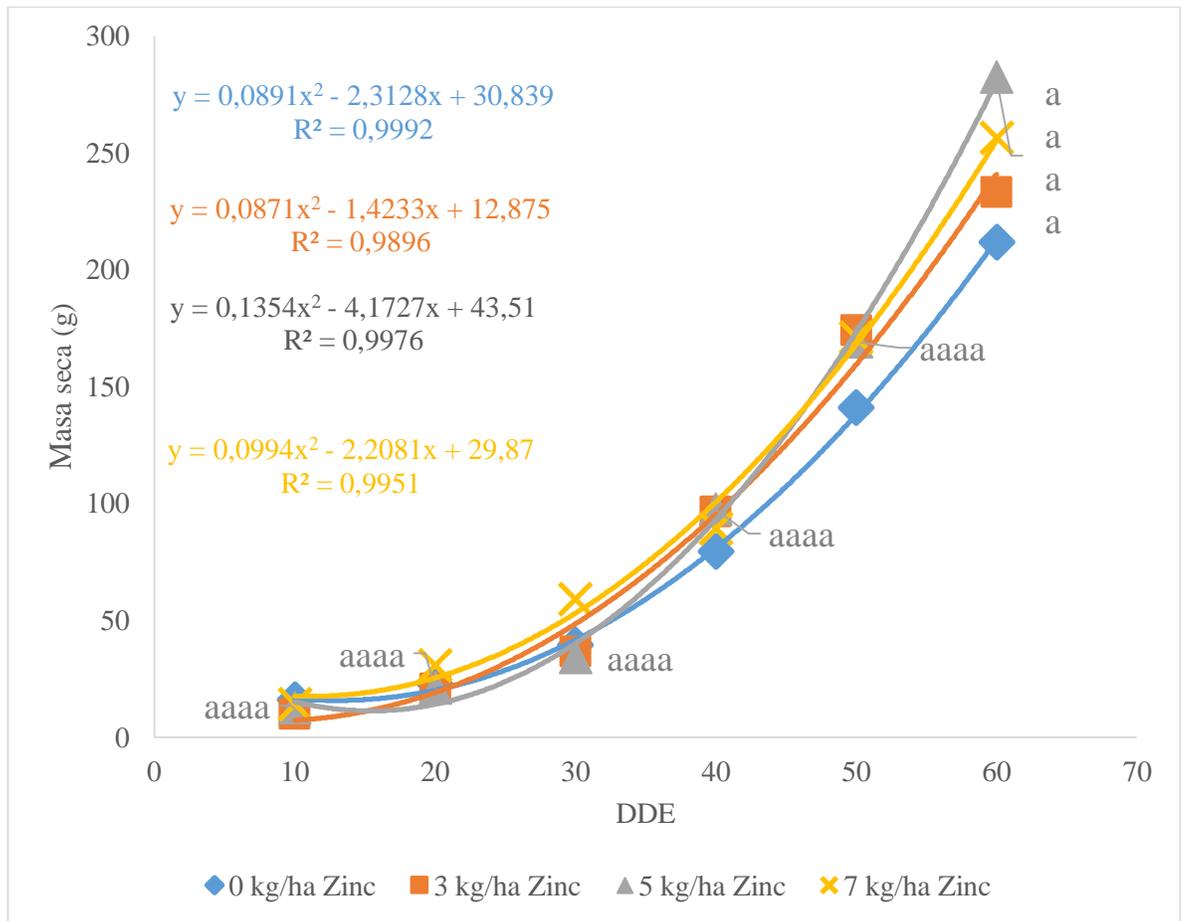


Figura 7. Producción de masa seca de plantas de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc. Letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P < 0,05$). (CV 16,88%).

La producción de masa seca se incrementa con la aplicación de hasta 5 kg/ha de zinc, por encima, decrece la acumulación de biomasa en la planta de maíz (Figura 8). Con base en la tendencia de esta variable, el modelo ajustado que mejor explica este comportamiento es el cuadrático, y lo explica en un 80%, el resto lo explican otros factores que influyeron.

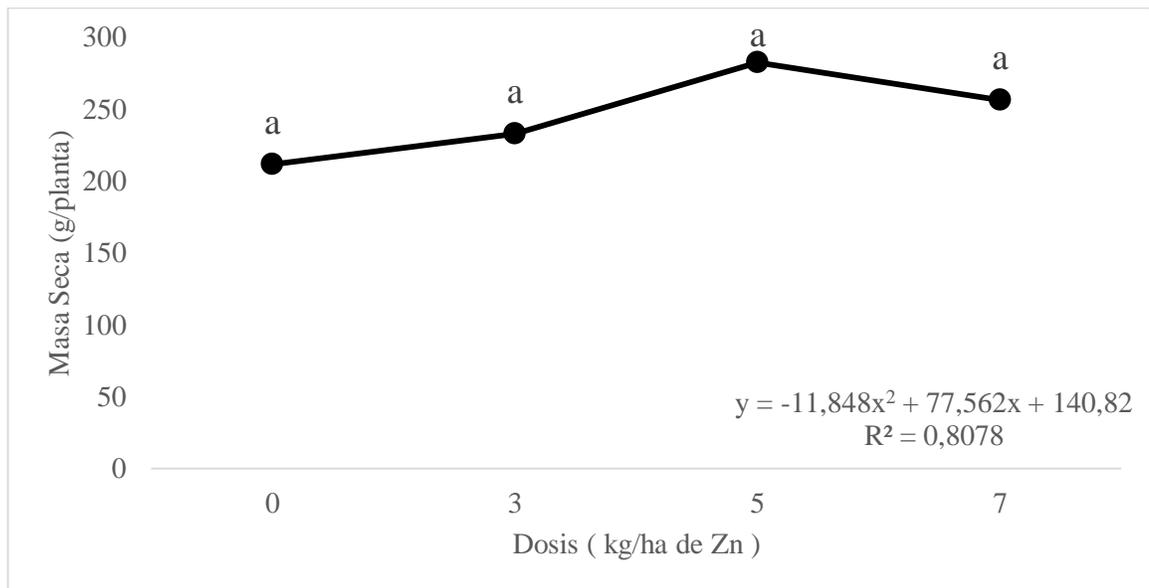


Figura 8. Modelo ajustado a la producción final de masa seca del cultivo de maíz FNC 2610 en función de distintas dosis de Zinc.

6.2 Efecto del Zinc sobre los componentes del rendimiento

6.2.1 Longitud de mazorca

La mayor longitud de mazorca fue de 16.42 cm, lograda cuando se aplicaron 3 kg/ha de zinc, mientras que la menor longitud se obtuvo con la aplicación de 7 kg/ha de zinc, con un cifra de 15,63 cm. Esto refleja que no hay tendencia definida entre esta variable (Figura 9). Estos resultados son similares a los reportados por Alvarado (2002), quien tampoco encontró respuesta de esta variable a la aplicación de distintas dosis de zinc y alcanzó una longitud máxima de 13,33 cm.

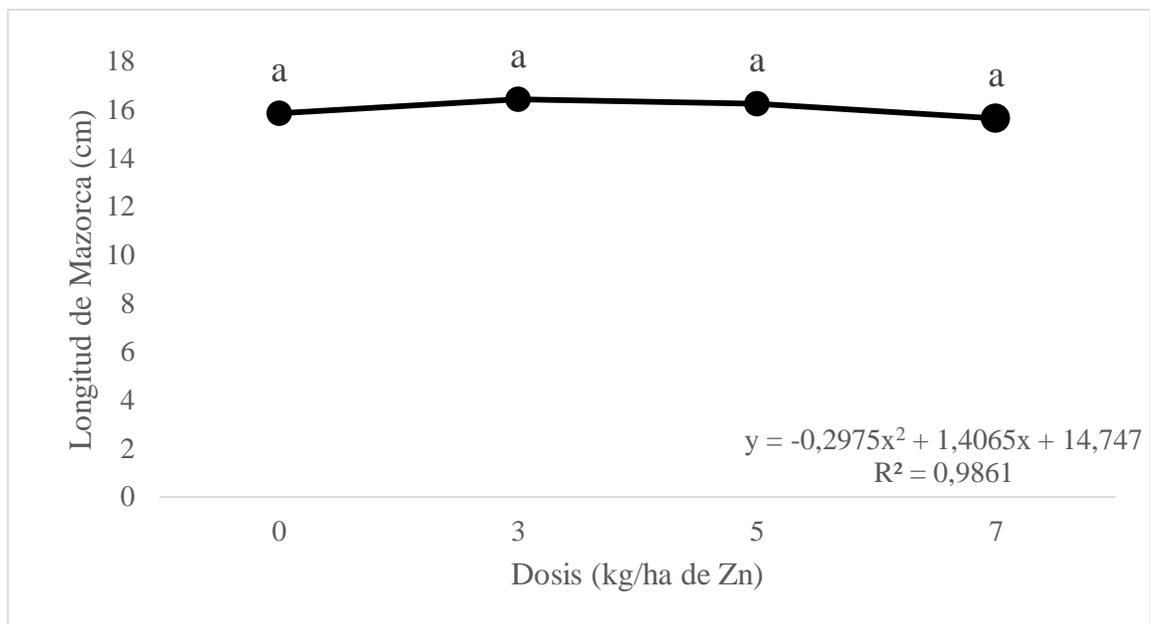


Figura 9. Longitud de la mazorca de maíz FNC 2610 en función a aplicación de distintas dosis de Zinc. Letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P < 0,05$). (CV 5,76%).

6.2.2 Hileras por mazorca

El mayor número de hileras encontrada fue de 14 y lo alcanzaron los tratamientos con 3, 5 y 7 kg/ha de zinc, mientras que el tratamiento testigo (sin aplicación de zinc) fue donde se presentaron menos hileras por mazorca (Figura 10). Pero esta diferencia no se atribuye a las dosis de zinc aplicadas aun cuando el testigo es el que muestra esta diferencia, ya que el valor del número de hileras por mazorcas fue de 13,3 hileras, aunque estadísticamente esto refiera una diferencia, no se consideramos, ya que al momento de la generación de las líneas de óvulos que definirán los granos que se formaran lo largo de la mazorca, está siempre inicia como una hilera simple de óvulos, luego se divide y forma dos líneas de óvulos de cada línea simple, es por tanto que las líneas de granos de una mazorca siempre serán pares en un ciclo de cultivo en el que no se presentes factores que puedan intervenir Bonhome et al., (1984); Andrade et al., (1999).

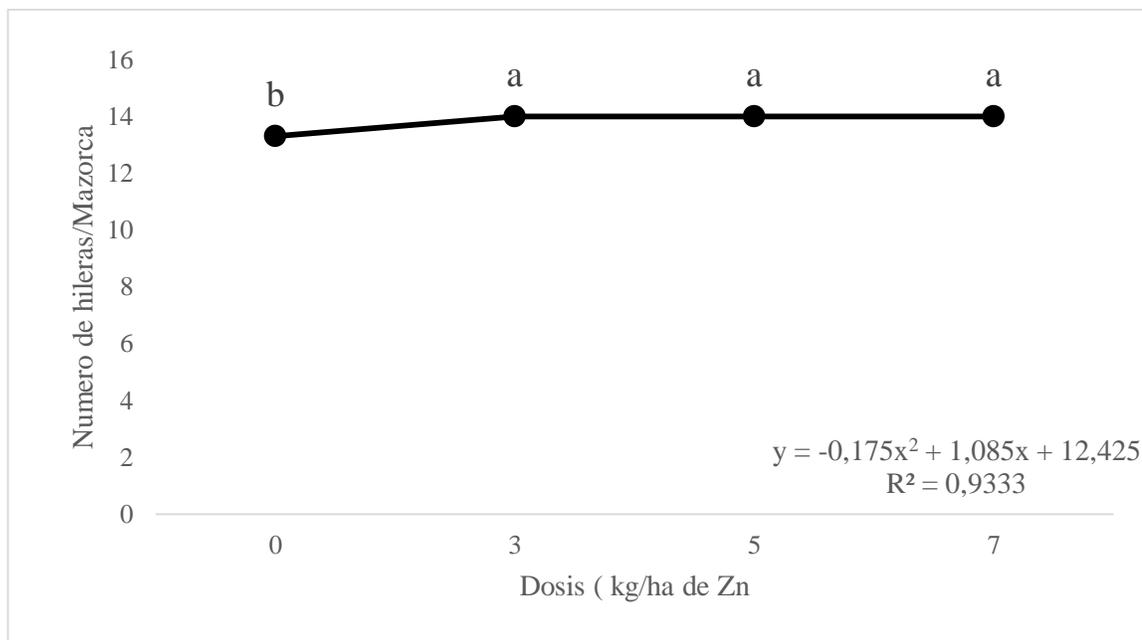


Figura 10. Número de hileras por mazorca de maíz FNC 2610 en función a la aplicación de distintas dosis de Zinc. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativa según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P < 0,05$). (CV 5,33%).

6.2.3 Granos por hileras.

Se alcanzaron en total 35 granos llenos por hilera en los tratamientos con 3, 5 y 7 kg/ha de zinc, mientras que en el testigo (0 kg/ha de zinc) se produjeron 34, estadísticamente no se encontraron diferencia significativas entre los tratamiento (Figura 11), lo que deja entrever que la aplicación de zinc no ejerce función en esta característica de la planta para las condiciones edafoclimáticas del ensayo. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Alvarado (2002) y Rosero y Bolaños (2018), quienes tampoco encontraron respuesta, y aluden que el suelo suele suministrar las cantidades que la planta requiere para sus actividades metabólicas, dado que se requiere de pequeñas cantidades.

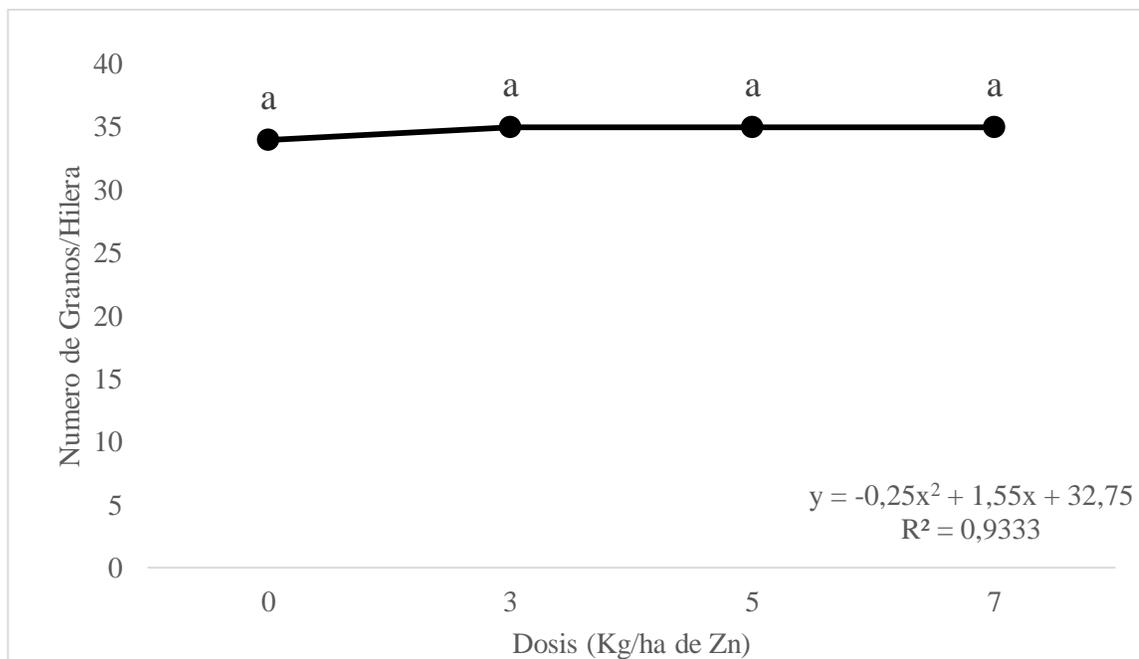


Figura 11. Número de granos por hileras de mazorca de maíz FNC 2610 en función a aplicaciones de distintas dosis de Zinc. Letras distintas indican diferencia estadísticas significativa según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P < 0,05$). (CV 5,20%).

6.2.4 Peso de 1000 granos.

Estos valores oscilaron entre 452,0 y 486,86 g, sin diferencias estadísticas entre los tratamientos tal como se muestra a continuación en la figura 12. Esto concuerda con Rosero y Bolaños (2018) quienes tampoco encontraron respuesta a esta variable, del mismo modo se difiere de Wasaya et al. (2017) quienes establecieron una investigación con suelo deficiente en Zn ($1,93 \text{ mg kg}^{-1}$) y encontraron diferencias en el peso de 1000 granos a aplicaciones foliares de Zn y B respecto al tratamiento testigo.

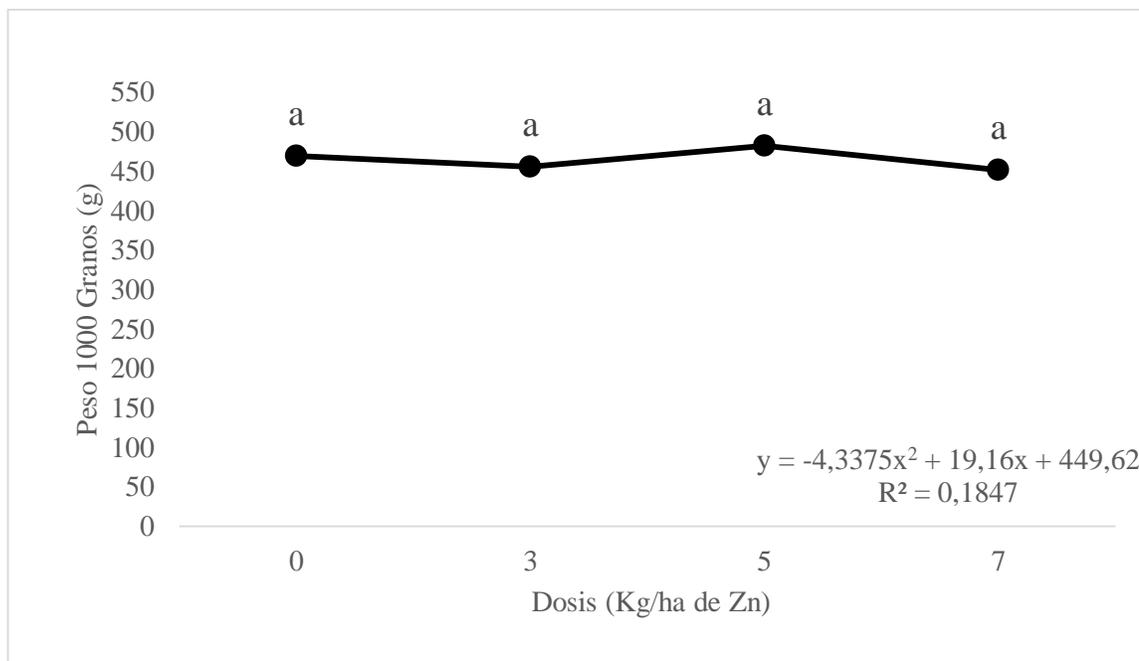


Figura 12. Peso de 1000 granos de maíz FNC 2610 en función a aplicaciones de distintas dosis de Zinc. Letras distintas indican diferencia estadística significativa según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($P < 0,05$). (CV 7,14%).

6.2.5 Rendimiento.

Los valores de rendimiento obtenidos oscilaron en 10.230 kg/ha y 12.390 kg/ha siendo el mayor para el tratamiento 5 kg/ha de zinc, y el más bajo para el testigo, sin embargo no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos como se muestra en la figura 13, al igual que Alvarado (2002) quien no encontró respuesta, la ausencia de respuesta la atribuimos a los contenidos medios que reportó el análisis de suelo y las condiciones edafoclimáticas que permitieron la mayor disponibilidad del elemento, de igual manera coincidimos con Rosero y Bolaños (2018), quienes tampoco encontraron respuesta a esta variable y también atribuyen la escasa respuesta a los altos contenidos de zinc presentes, por otro lado en suelo con contenido medio de 2,1 mg/kg de zinc, melgar et al., (2001). Tampoco encontró respuesta significativa en el rendimiento, lo que hace de este planteamiento el más acertado, sin embargo nuestro trabajo difiere con otros autores como Potarzycki y Grzebisz (2009);

Espósito et al (2010), quienes afirman que encontraron respuesta del rendimiento a la aplicación de zinc.

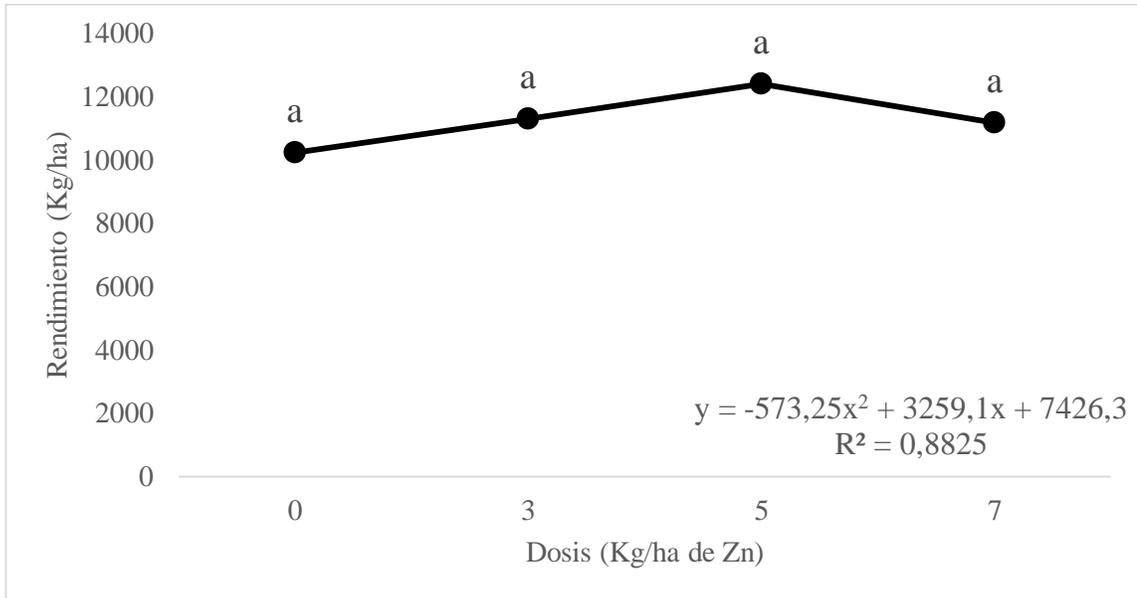


Figura 13. Rendimiento del cultivo de maíz FNC 2610 en función a aplicaciones de distintas dosis de Zinc. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativa según la prueba de comparación múltiple de Tukey (P<0,05). (CV 14,11%).

7 CONCLUSION

Los resultados encontrados permiten concluir que para este estudio y bajo las condiciones de edafoclimáticas del municipio de Cereté, el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) FNC 2610, no respondió significativamente al agregado de distintas dosis de zinc.

8 RECOMENDACIONES

Se recomienda que para futuras evaluaciones, se considere los contenidos de Zinc en el suelo previamente a la implantación de ensayos, ya que se debe tener en cuenta que la respuesta a la aplicación de fertilizantes va a depender de las características edáficas y del material genético, es por esto que se debe hacer un diagnóstico teniendo en cuenta la oferta del suelo y la demanda del cultivo.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, R. 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. Cultivos tropicales, 30(2):113-120.
- Aguilar, L., Escalante, J., Fucikovsk, L., Tijerina, L., y Mark, E. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. Terra Latinoam, 23: 303-310.
- Alarcón, A. 2000. Historia e introducción a la nutrición mineral: Elementos esenciales. Master en Nutrición vegetal en cultivos hortícolas intensivos, Universidad politécnica de Cartagena, Cartagena. 80p.
- Alloway, B. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association. Bruselas, 139p.
- Alvarado G. 2002. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. 103p.
- Andrade, F., Vega, C, Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., y Valentinuz, O. (1999). Kernel number determination in maize. Crop Science, (39): 453-459.
- Ankur, A. (2018). Growing Environments and Micronutrients Application Influence Fruit and Seed Yield of Capsicum (*Capsicum Annum*). Nutri Food Sci Int J. 5(1): 1 – 6.
- Asif, M., Alil, A., Asghar, M. y Hussain, M. (2010). Effect Of Fertilizer Levels And Plant Densities On Yield And Protein Contents Of Autumn Planted Maize. Pak. J. Agri. Sci., 47(3): 201-208.
- Azcón, J. y Talón, M. (2008). Fundamentos de Fisiología Vegetal. Barcelona, España: McGRAW-HILL - INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. L.
- Barbieri, P., Sainz, H., Echeverría, H., Salvagiotti, F., Barbagelata, P., Barraco, M., Colazo, J., Ferraris, G., Sanchez, H., Caceres, R., Reussi, N., Esposito, G., Eyherabide, M y Larsen, B. (2015). El análisis de suelo permite diagnosticar la deficiencia de zinc en el cultivo de maíz. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, (19): 18-21.
- Barrera, J., Cabrales, E., y Sáenz, E. (2015). Respuesta del maíz híbrido 4028 a la aplicación de enmiendas orgánicas en un suelo de Córdoba–Colombia. Orinoquia, 21(2), 38-45.

- Barroso, F. (2017). Imágenes aéreas de muy alta resolución para la caracterización del maíz (*Zea mays* L.) de regadío en una zona semiárida. Tesis doctoral, Universidad de castilla – la Mancha, Albacete. 178p.
- Beta, T y Isaak, C. (2016). Grains Around the World. In C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman & J. Faubion. The World of Grains (2nd ed), Academic Press. 1976p.
- Bonhome, R., Derieux, M., Duburcq, J. B. y Ruget, F. (1984). Variations in ovule number at silking in various corn genotypes. *Maydica*, (29): 101-107.
- Bonilla, I. (2008). Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Lo elementos esenciales. p103-122. En Azcon, J. y Talon, M. (ed). Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGRAW-HILL, Barcelona,.
- Damián, A., Cruz, A., Ramírez, B., Romero, O., Moreno, S., y Reyes, L. (2013). Maíz, alimentación y productividad: modelo tecnológico para productores de temporal de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 10(2): p157-176.
- DANE. (2014). 3er censo nacional agropecuario (tomo 2). <https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf> [2 febrero 2019].
- Espósito, G., Balboa, G., Castillo, C., & Balboa, R. (2010). Disponibilidad de Zinc y respuesta a la fertilización del maíz en el Sur de Córdoba. *Memorias XXII. Congreso Argentino de la Ciencia de suelo. Asociacion Argentina Ciencia del Suelo*, Rosario marzo de 2010.
- FAO. (2018). Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/> [2 febrero 2019].
- FENALCE. (2018). El Cerealista. http://www.fenalce.org/alfa/dat_particular/pdf/pre_49852_q_rev124.pdf [6 febrero 2019].
- Fernandez, V y Brown, H. (2013). From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients, *Front. Plant Sci.* (4): 1–5.
- Ferraris, G., Couretot, L., Ventimiglia, L., y Mousegne, F. (2010). Respuesta al zinc en maíz utilizando diferentes tecnologías de aplicación en la región Centro Norte de Buenos Aires. <http://www.valorsoja.com/wp-content/uploads/FERRARIS-GUSTAVO-RESPUESTA-AL-ZINC-EN-MAIZ-UTILIZANDO-1.doc> [3 febrero 2019].

- García, F. O. (2005). Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Presentado en la Jornada “Maíz. <http://www.fertilizando.com/articulos/Criterios-Manejo-Fertilizacion-Cultivo-Maiz.pdf>.
- García, J., Coral, D y Molina, C. (2011). Nutrición del cultivo de maíz. p71-103. En Federación Nacional de Cultivadores de Cereales. (Ed.), Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia, Fondo Nacional Cerealista, Bogotá. .
- Gherzi, M. (2016). Efecto a la fertilización de Zinc en seis series de suelo de la provincia de Córdoba para el cultivo de Maíz. Tesis pregrado. Universidad Nacional de Cordoba, 30p.
- Graybosch, R. (2016). The Grain Crops: An Overview. p 16-21. En C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman & J. Faubion. The World of Grains (2nd ed),.
- Hänsch, R., y Mendel, R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current opinion in plant biology*. 12(3): 259-266.
- Hussain, D., Haydon, M.J., Wang, Y., Wong, E. Sherson, S.M., Young, J., Camakaris, J.,Harper, J.F., Cobbett, C.S. (2004). P-type ATPase heavy metal transporters with roles in essential zinc homeostasis in Arabidopsis, *Plant Cell*. (16): 1327–1339.
- IGAC. (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras, Departamento de Córdoba. Recuperado de <https://www.igac.gov.co/es/contenido/cartografia-estudios-de-suelos-y-textos>
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a las ciencias del suelo. Universidad nacional de Colombia. Bogotá.
- Kirkby, E. (2012). Introduction, Definition and Classification of Nutrients. p3-5. En Marschner, P. (Ed.) Marschner’s Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press..
- Lafitte, H. (2001). Estreses abióticos que afectan al maíz. p95-106. En: Paliwal, R. (ed). El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Food & Agriculture Org, Roma.
- Lara, C., Esquivel, L., Negrete, J. (2011). Bacterias nativas solubilizadores de fosfato para incrementar los cultivos en el departamento de Córdoba-Colombia, *Biotechnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial* 9(2): 114-120.
- Lee, S., Kim, S., Lee, J., Guerinot, M., & An, G. (2010). Zinc deficiency-inducible OsZIP8 encodes a plasma membrane-localized zinc transporter in rice. *Molecules and Cells*, 29(6): 551-558.

- López, A., Gómez, M y Rodríguez, L. (2014). Effect of edaphic and foliar applications of different doses of zinc on the yield of the Criolla Colombia cultivar. *Agronomía Colombiana* 32(1): 70-77.
- MADR. (2016). Evaluaciones Agropecuarias. <http://www.agronet.gov.co/Documents/MA%C3%8DZ%20TECNIFICADO2016.pdf> [2 febrero 2019].
- Marengo, A. (2009). Efecto de la fertilización con Zinc sobre el área foliar y el rendimiento del cultivo de maíz. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Rio Cuarto, Córdoba. 44p.
- Melgar, R., Lavandera, J., Duggan, M., y 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.
- Molina, C., Delgado, H., Vanegas, H., Lemos, G., Polaina, F., y Otero, P. (2011). Manejo agronómico. p104 – 166. En: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales. (Ed.), Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia, Fondo Nacional Cerealista, Bogotá..
- Montalvo, D., Degryse, F., Da Silva, R., Baird, R., y McLaughlin, M. (2016). Agronomic effectiveness of zinc sources as micronutrient fertilizer, *Advances in Agronomy* 139: 215-267.
- Naik, K., y Das, D. (2008). Relative performance of chelated zinc and zinc sulphate for lowland rice (*Oryza sativa* L.). *Nutrient Cycling, Agroecosystems* 81(3): 219-227.
- Navarro, B & Navarro, G. (2003). Química agrícola. Mundiprensa. Barcelona, España.
- Nikhil k, SR Salakinkop. (2017). Influence of Agronomic Bio-fortification of Zinc and Iron on Their Density in Maize Grain and Nutrients Uptake. *Int J Environ Sci Nat Res.* 7(2): 1 – 5.
- Ospina, J. y Duarte, C. (2011). Fisiología de la planta de maíz. p33 – 59. En: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales. (Ed.), Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia, Fondo Nacional Cerealista, Bogotá.
- Palencia, G.; Mercado, T.; y Combatt, E. (2006). Estudio agroclimático del departamento de Córdoba. Editorial Gráficas el Caribe, Montería. 126 p.
- Paliwal, R. (2001). El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Food & Agriculture Org, Roma. http://www.fao.org/3/X7650S/x7650s02.htm#P0_0

- Palmgren, M.G., Clemens, S., Williams, L.E., Kraemer, U., Borg, S., Schjorring, J.K., Sanders, D. (2008). Zinc biofortification of cereals: problems and solutions, *Trends Plant Sci.* 13: 464–473.
- Peña, A., González, F., y Robles, F. (2010). Manejo agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(1): 27-35.
- Polaina, F., Mendez, D. (2011). Importancia del cultivo de maíz. p3-19. En Federación Nacional de Cultivadores de Cereales. (Ed.), Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia, Fondo Nacional Cerealista, Bogotá..
- Potarzycki, J., y Grzebisz, W. (2009). Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant Soil Environ*, 55(12): 519-527.
- Rosero, J. y D Bolaños. (2018). Adición de magnesio, azufre, zinc y boro en el cultivo de maíz, híbrido atl 200. Tesis pregrado. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto. 29p.
- Scott, M y Emery, M. (2016). Maize: Overview. p99-104. En: Wrigley, C. Corke, H. Seetharaman, K y Faubion, J. (2nd ed). *The World of Grains*. Academic Press..
- Serna-Saldivar, S. (2016). Maize: Foods from Maize. p 97-109. En: Wrigley, C. Corke, H. Seetharaman, K y Faubion, J. (2nd ed), *The World of Grains*. Academic Press..
- Sharma, A., Patni, B., Shankhdhar, D., y Shankhdhar, S. 2013. Zinc—an indispensable micronutrient. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 19(1): p11-20.
- Stein, A. (2010). Global impacts of human mineral malnutrition. *Plant and soil*, 335(1-2): 133-154.
- Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., & Adam, V. (2018). Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of hazardous materials*, 349: 101-110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.040>
- Sunganya, A. (2015). Biofortification of zinc in maize (*Zea mays* L.) Through fertilization. Tesis doctoral, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore.
- Valladares, C. (2010). Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano http://institutorubino.edu.uy/materiales/Federico_Franco/6toBot/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf [2 febrero 2019].

- Vargas, J. (2011). Fisiología de la planta de maíz. p. 33 – 59. En Federación Nacional de Cultivadores de Cereales. (Ed.), Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia. Bogotá, Colombia: Fondo Nacional Cerealista.
- Wiesler, F (2012). Nutrition and Quality. p271-283. En: Marschner, P. (Ed.), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press. .
- Wrigley, C., Corke, H y Faubion, J. (2016). The grains that feed the world. p1-13. En: Wrigley, C. Corke, H. Seetharaman, K y Faubion, J. (2nd ed), the world of grains. Academic Press.
- Wyatt, J. (2016). Grain and Plant Morphology of Cereals and how characters can be used to identify varieties. p51-72. En: C. Corke, H. Seetharaman, K y Faubion, J. (2nd ed), the world of grains. Academic Press. .
- Yamada, T. 2004. Deficiencias de micronutrientes, ocurrencia, detección y corrección: El éxito de la experiencia brasilera. Boletín técnico POTAFOS. Informaciones Agronómicas, (24). Archivo Agron No. 9. Piracicaba. Brasil