

**FERTILIZACIÓN CON ZINC EN TRIGO, MAÍZ Y SÉSAMO EN SUELOS  
DE DIFERENTES TEXTURAS**

**LETICIA RAQUEL OSORIO VERA**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de  
Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniera Agrónoma

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Carrera de Ingeniería Agronómica  
Área de Suelos y Ordenamiento Territorial

**SAN LORENZO-PARAGUAY**

2019

**FERTILIZACIÓN CON ZINC EN TRIGO, MAÍZ Y SÉSAMO EN SUELOS  
DE DIFERENTES TEXTURAS**

**LETICIA RAQUEL OSORIO VERA**

Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Alvarez

Co-orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniera Agrónoma

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Carrera de Ingeniería Agronómica  
Área de Suelos y Ordenamiento Territorial

SAN LORENZO-PARAGUAY

2019

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Carrera de Ingeniería Agronómica

**FERTILIZACIÓN CON ZINC EN TRIGO, MAÍZ Y SÉSAMO EN SUELOS  
DE DIFERENTES TEXTURAS**

Esta Tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de Ingeniera Agrónoma, otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción.

**Autor:** Leticia Raquel Osorio Vera

**Orientador:** Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy W. Rasche Álvarez

**Co-Orientador:** Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos A. Leguizamón Rojas

**Miembros de la mesa examinadora**

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy W. Rasche Álvarez .....

Prof. Ing. (Dr.) Carlos A. Leguizamón Rojas .....

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego A. Fatecha Fois .....

Ing. Agr. Eugenio González Cáceres .....

San Lorenzo, 11 de septiembre de 2019

***DEDICATORIA***

A mis padres Miryan y Reinaldo

A mi esposo Adrián

A mis amigas de la carrera Alicia y Noemi

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por acompañarme durante toda la carrera Universitaria.

A mi compañero de vida Adrián por ayudarme y apoyarme incondicionalmente en mis elecciones y decisiones, además, por toda la fuerza y el aliento que me entregó en los momentos difíciles durante todo este tiempo en la carrera y por haberme acompañado en cada larga noche de estudio.

A mis padres Miryan y Reinaldo por darme la oportunidad de cumplir con mis sueños, por el apoyo y por la confianza depositada en mí desde el inicio hasta el final. A mi madre por confiar en mí de manera absoluta y dar todo por mí siempre. A mi padre por sus consejos y por todas sus palabras que me guiaron durante mi vida.

A mis hermanos Ernesto y Patricia por el apoyo durante este tiempo.

Al Prof. Ing. Agr. Jimmy Rasche Álvarez por la orientación, el apoyo y confianza para la ejecución de la tesis.

A todos los profesores de la Orientación Suelos por la ayuda, comprensión y acompañamiento durante la realización de la tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento de la tesis dentro del proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad de los suelos para la producción de alimentos”.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por la formación recibida, por la facilidad de obtención de infraestructura para el experimento implantado y por el apoyo mediante la utilización de equipos para la ejecución del trabajo en laboratorio.

A mis compañeras de la orientación Alicia y Noemi por toda la ayuda continúa recibida durante la investigación, además, de su amistad y todos los momentos vividos juntas durante toda la carrera.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron para la realización de mis estudios.

## FERTILIZACIÓN CON ZINC EN TRIGO, MAÍZ Y SÉSAMO EN SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS

Autora: Leticia Raquel Osorio Vera

Orientador: Prof. Ing. Agr. Jimmy Walter. Rasche Álvarez

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas

### RESUMEN

La disponibilidad del zinc en el suelo es variable y las plantas requieren de pequeñas cantidades, sin embargo, es fundamental para los cultivos debido a que este nutriente participa en procesos bioquímicos de los vegetales, siendo por ello de gran importancia el estudio de aplicaciones de zinc en los cultivos. Con el objetivo de evaluar los efectos de la fertilización a base de zinc en cultivos de trigo, maíz y sésamo en dos suelos de distintas texturas, esta investigación se realizó en el invernadero del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial localizado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, Distrito de San Lorenzo, Central. El experimento se llevó a cabo en macetas de 5 kg de suelo, en el estudio se utilizó un diseño completamente al azar en esquema bifactorial, siendo evaluados los siguientes factores; el factor 1 las dos texturas de suelo (franco arenosa y arcillosa), factor 2 las dosis de zinc (0, 10, 20, 40 y 80 mg kg<sup>-1</sup> de Zn), aplicadas antes de la siembra de los dos primeros cultivos (trigo, maíz) y verificado el efecto residual en el tercer cultivo (sésamo), siendo 5 tratamientos con 10 repeticiones. Con el factor 2 se encontró diferencias significativas en el cultivo de trigo, en la variable altura de la planta, donde la máxima altura fue de 71,60 cm con la aplicación de 47,01 mg de Zn kg<sup>-1</sup> de suelo, en la materia seca se registró un incremento del 16% con la última dosis. En el cultivo del maíz se obtuvo como máxima altura de la planta 78,54 cm con la aplicación de 57,12 mg Zn kg<sup>-1</sup> de suelo, en la materia seca no se registró significancias. En el cultivo de sésamo no se encontró diferencias estadísticas en la variable altura y materia seca. Con respecto al contenido de zinc en el suelo y concentración en el tejido, se registró que a mayor dosis aplicada mayor fue la acumulación de zinc tanto en el suelo como en el tejido. En tanto que en el factor 1, en el cultivo del trigo se encontró diferencias significativas en la altura con 4,51 cm mayor en la textura franco arenosa que en la arcillosa, en la materia seca con 1,54 g mayor en la textura arcillosa que en la franco arenosa, no se encontró efecto significativo con el contenido de zinc en el suelo y la concentración de zinc en el tejido, en el cultivo del maíz no hubo diferencias significativas en ninguna de las variables y en el cultivo del sésamo hubo diferencias en la altura con 10,05 cm mayor en la textura arcillosa que en la franco arenosa, en la materia seca con 8,76 g mayor en la arcillosa que en la franco arenosa, en tanto que no hubo diferencias con el contenido de zinc en el suelo y concentración del elemento en el tejido. La aplicación de dosis creciente de zinc al suelo responde favorablemente en el cultivo de trigo, siendo el mismo, el que tuvo más respuestas con las dosis aplicadas.

**Palabras Clave:** Zinc, Textura, *Sesamun indicum*, *Triticum aestivum*, *Zea mayz*.

## ADUBAÇÃO COM ZINCO EM TRIGO, MILHO E GERGELIM EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS

Autora: Leticia Raquel Osorio Vera

Orientador: Prof. Ing. Agr. Jimmy Walter. Rasche Álvarez

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas

### RESUMO

A disponibilidade de zinco no solo é variável e as plantas requerem pequenas quantidades, no entanto, é essencial para as culturas porque este nutriente participa nos processos bioquímicos das plantas, sendo por tanto de grande importância o estudo das aplicações de zinco nas culturas. Com o objetivo de avaliar os efeitos da adubação à base de zinco sobre o trigo, milho e gergelim em dois solos de diferentes texturas, esta pesquisa foi realizada em casa de vegetação da Área de Solos e Ordenamento do Território localizada na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Nacional de Assunção, municipio de San Lorenzo, Central. Realizou-se um experimento em vasos com 5 kg de solo. No estudo, um delineamento inteiramente casualizado foi utilizado em esquema bifatorial, sendo avaliados os seguintes fatores; factor 1 as duas texturas do solo (franco-arenoso e argiloso), factor 2 as doses de zinco (0, 10, 20, 40 e 80 mg kg<sup>-1</sup> de Zn), aplicadas antes da sementeira das duas primeiras culturas (trigo, milho) e verificou o efeito residual na terceira safra (gergelim), sendo 5 tratamentos com 10 repetições. Com o factor 2 foram encontradas diferenças significativas na cultura do trigo, na variável altura da planta, onde a altura máxima foi de 71,60 cm com a aplicação de 47,01 mg de Zn kg<sup>-1</sup> de solo, no solo. Na matéria seca, um aumento de 16% foi registrado com a última dose. No cultivo de milho, a altura máxima da planta foi obtida 78,54 cm com a aplicação de 57,12 mg Zn kg<sup>-1</sup> de solo, na matéria seca não foi registrada significância. Na cultura do gergelim, não foram encontradas diferenças estatísticas na variável altura e matéria seca. Em relação ao teor de zinco no solo e concentração no tecido, registrou-se que quanto maior a dose aplicada, maior o acúmulo de zinco no solo e no tecido. Enquanto no fator 1, foram encontradas diferenças significativas na altura no cultivo de trigo com 4,51 cm a mais na textura franco-arenosa do que na argila, na matéria seca com 1,54 g maior na textura argilosa do que no franco-arenoso, não foi encontrado efeito significativo no teor de zinco no solo e na concentração de zinco no tecido, na cultura de milho não houve diferenças significativas em nenhuma das variáveis e na cultura de gergelim houve diferenças na altura com 10,05 cm maior na textura argilosa do que na franco-arenoso, na matéria seca com 8,76 g maior no barro que no barro arenoso, enquanto não houve diferenças quanto ao teor de zinco no solo e a concentração do elemento no tecido. A aplicação de doses crescentes de zinco no solo responde favoravelmente na safra de trigo, sendo a mesma que teve mais respostas com as doses aplicadas.

**Palavras-chave:** Zinco, Textura, *Sesamun indicum*, *Triticum aestivum*, *Zea mayz*.

## FERTILIZATION BASED ON ZINC IN WHEAT, MAIZE AND SESAME IN SOILS OF DIFFERENT TEXTURES

Author: Leticia Raquel Osorio Vera

Adviser: Prof. Ing. Agr. Jimmy Walter. Rasche Álvarez

Co-Adviser: Prof. Ing. Agr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas

### SUMMARY

The availability of zinc in the soil is variable and plants require small amounts, however, it is essential for crops because this nutrient participates in biochemical processes of vegetables, therefore the study of zinc applications is of great importance. in crops. With the aim of evaluating the effects of zinc-based fertilization on wheat, corn and sesame crops in two soils of different textures, this research was carried out in the greenhouse of the Soil and Land Management Area located at the Faculty of Agricultural Sciences of the National University of Asunción, District of San Lorenzo, Central. The experiment was carried out in pots of 5 kg of soil, in the study a completely randomized design was used in a bifactorial scheme, the following factors being evaluated; factor 1 the two soil textures (sandy loam and clayey), factor 2 the doses of zinc (0, 10, 20, 40 and 80 mg kg<sup>-1</sup> of Zn), applied before the seeding of the first two crops (wheat, corn) and verified the residual effect in the third crop (sesame), being 5 treatments with 10 repetitions. With factor 2 significant differences were found in wheat cultivation, in the variable plant height, where the maximum height was 71.60 cm with the application of 47.01 mg of Zn kg<sup>-1</sup> of soil, in the dry matter an increase of 16% was registered with the last dose. In maize cultivation, the maximum height of the plant was obtained 78.54 cm with the application of 57.12 mg Zn kg<sup>-1</sup> of soil. In the sesame crop, no statistical differences were found in the variable height and dry matter. With respect to the zinc content in the soil and concentration in the tissue, it was recorded that the higher the applied dose, the greater the accumulation of zinc in both the soil and the tissue. While in factor 1, significant differences in height were found in wheat cultivation with 4.51 cm greater in the loamy texture than in clay, in dry matter with 1.54 g greater in clay texture than in the sandy loam, no significant effect was found with the zinc content in the soil and the zinc concentration in the tissue, in the corn crop there were no significant differences in any of the variables and in the sesame crop there were differences in the height with 10.05 cm greater in the clay texture than in the sandy loam, in the dry matter with 8.76 g greater in the clay than in the sandy loam, while there were no differences with the zinc content in the soil and concentration of the element in the tissue. The application of increasing doses of zinc to the soil responds favorably in the wheat crop, being the same, the one that had more responses with the applied doses.

**Key words:** Zinc, Texture, *Sesamun indicum*, *Triticum aestivum*, *Zea mayz*.



## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA.....	i
HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
SUMMARY.....	vi
RESUMO.....	vii
TABLA DE CONTENIDO.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 El zinc en la naturaleza y en el suelo.....	3
2.2 Factores que influyen en la disponibilidad de zinc en el suelo.....	7
2.3 Funciones del zinc en las plantas.....	7
2.4 Síntomas de deficiencia del zinc en las plantas.....	8
2.5 Fertilizantes con contenido de zinc.....	9
2.6 Aplicación de zinc en cultivos.....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Localización y Caracterización del área experimental.....	14
3.2 Diseño experimental y tratamientos.....	14
3.3 Implementación y manejo del experimento.....	14
3.4 Variables evaluadas.....	16
3.5 Métodos de control de calidad.....	17
3.6 Métodos de análisis de datos.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1 Cultivo de trigo.....	18

4.1.1 Altura de la planta, materia seca de la parte aérea, contenido de zinc en el suelo y en el tejido.....	18
4.2 Cultivo de Maíz.....	23
4.2.1 Altura de la planta, materia seca de la parte aérea, contenido de zinc en el suelo y en el tejido.....	23
4.3 Cultivo de Sésamo.....	28
4.3.1 Altura de la planta, materia seca de la parte aérea, contenido de zinc en el suelo y en el tejido.....	28
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
6. REFERENCIAS.....	33
ANEXOS.....	38

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características químicas de los suelos utilizados en el experimento. San Lorenzo, 2018	15
Tabla 2. Altura de la planta, materia seca, zinc en el suelo y en el tejido del cultivo de trigo por efecto de la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2018.	18
Tabla 3. Altura de la planta, materia seca, zinc en el suelo y en el tejido del cultivo de maíz por efecto de la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2018.	23
Tabla 4. Altura de la planta, materia seca, zinc en el suelo y en el tejido del cultivo de sésamo por efecto de la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2018.	28

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Altura de la planta de trigo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	19
Figura 2. Materia seca acumulada por la planta de trigo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	20
Figura 3. Contenido de Zinc en el suelo posterior a la cosecha de trigo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	21
Figura 4. Contenido de Zinc en el tejido posterior a la cosecha de trigo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	22
Figura 5. Altura de la planta del maíz con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	24
Figura 6. Materia seca acumulada por la planta del maíz con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	25
Figura 7. Contenido de Zinc en el suelo posterior a la cosecha de maíz con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	26
Figura 8. Contenido de Zinc en el tejido posterior a la cosecha de maíz con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	27
Figura 9. Altura de la planta del Sésamo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	29
Figura 10. Materia seca acumulada por la planta del sésamo con la aplicación de dosis en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	29
Figura 11. Contenido de Zinc en el suelo posterior a la cosecha de sésamo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	
Figura 12. Contenido de Zinc en el tejido posterior a la cosecha de sésamo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.	30
	31

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de trigo.	39
Anexo 2. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de trigo.	39
Anexo 3. Análisis de varianza de la variable Zinc en el suelo de la planta de trigo.	39
Anexo 4. Análisis de varianza de la variable Zinc en el tejido de la planta de trigo.	40
Anexo 5. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de maíz.	40
Anexo 6. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de maíz.	40
Anexo 7. Análisis de varianza de la variable Zinc en el suelo de la planta de maíz.	41
Anexo 8. Análisis de varianza de la variable Zinc en el tejido de la planta de maíz.	41
Anexo 9. Análisis de varianza de la variable altura de la planta de sésamo.	41
Anexo 10. Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de sésamo.	42
Anexo 11. Análisis de varianza de la variable Zinc en el suelo de la planta de sésamo.	42
Anexo 12. Análisis de varianza de la variable Zinc en el tejido de la planta de sésamo.	42
Anexo 13. Tabla de los datos obtenidos de las variables evaluadas con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso en el cultivo de trigo. San Lorenzo, 2018.	43
Anexo 14. Tabla de los datos obtenidos de las variables evaluadas con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso en el cultivo de maíz. San Lorenzo, 2018.	44

Anexo 15. Tabla de los datos obtenidos de las variables evaluadas con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso en el cultivo de sésamo. San Lorenzo, 2018.	45
Anexo 16. Suelos de textura franco arenosa y arcillosa	46
Anexo 17. Tamizado y pesaje de suelos, 5 kg de suelo por maceta	46
Anexo 18. Pesaje de las dosis y aplicación de las mismas por tratamientos en macetas	47
Anexo 19. Siembra de los cultivos	47
Anexo 20. Cosecha del cultivo de trigo	48
Anexo 21. Pesaje de la materia seca de la parte aérea de la planta	48
Anexo 22. Evaluación de la altura de la planta	49
Anexo 23. Proceso de evaluación de análisis de tejido de la planta en el laboratorio	49
Anexo 24. Equipo utilizado para la lectura de los análisis de suelo y tejido	50
Anexo 25. Proceso de evaluación del análisis de suelo en el laboratorio	50
Anexo 26. Cultivo de trigo	51
Anexo 27. Cultivo de maíz	51
Anexo 28. Cultivo de sésamo	52

## 1. INTRODUCCIÓN

Paraguay es un país cuya economía depende en gran proporción de la agricultura, el crecimiento en la producción agrícola es de gran importancia para la sustentabilidad de la mayor parte de la población. Pero la intensa degradación de los suelos tiene como consecuencia un desequilibrio con los macro y micro nutrientes del mismo afectando directamente a las plantas y limitando su producción, esto es una de las razones de la necesidad de aumentar las prácticas de manejo y conservación de los suelos junto con las actividades tecnológicas como la implementación de sistemas de fertilización teniendo como efecto la disponibilidad de los nutrientes del suelo de forma equilibrada para las plantas y como resultado se pueda obtener mejores rendimientos en los cultivos.

Los micronutrientes, aunque se requiere en menores cantidades que los macro nutrientes son fundamentales en el desarrollo de las plantas, ya que si hay deficiencia de un solo micronutriente las plantas no podrían llegar a su máximo crecimiento y desarrollo. Entre los micronutrientes necesarios para las plantas se encuentra el zinc (Zn) que cumple un rol muy importante en los procesos bioquímicos de los vegetales, por lo que la deficiencia del mismo origina alteraciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas y posteriormente bajos rendimientos en los cultivos.

El contenido y disponibilidad del zinc en el suelo es muy variable y puede ser deficiente por varias razones como en suelos arenosos, por efectos antagónicos con otros nutrientes como el fósforo, altos niveles de pH del suelo, baja cantidad de materia orgánica, entre otros.

El zinc tiene una gran relación con la materia orgánica, a mayores niveles de la misma aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Esto se refiere a la cantidad de cationes que las superficies pueden retener debido a la cantidad de cargas negativas que tiene la materia orgánica.

En los últimos años se ha registrado la deficiencia del zinc en los cultivos, se ha constatado, en varios lugares, problemas en el crecimiento y desarrollo de las plantas por déficit del zinc, así mismo, disminución en el rendimiento de los cultivos. Para disminuir estos problemas de déficit es importante aplicar Zn en dosis adecuadas, para lo cual se debe realizar ensayos de fertilización con el fin de obtener, conocimientos acerca de las dosis de aplicación en el suelo. La aplicación de fertilizantes a base de Zn al suelo ofrece una solución a los problemas de deficiencia de zinc en los cultivos y es altamente efectiva.

Como la aplicación de fertilizantes al suelo ofrece una solución a los problemas de deficiencia de zinc en los cultivos y es altamente efectiva. Se ha utilizado para este fin diferentes fuentes de zinc.

El objetivo general de esta investigación consistió en la evaluación de los efectos de dosificaciones de fertilizantes a base de zinc en los cultivos de trigo, maíz y sésamo, en dos suelos de texturas distintas. Y los objetivos específicos fue la evaluación de altura de las plantas, producción de materia seca por planta, contenido de zinc en el tejido y nivel de zinc en el suelo.

La hipótesis planteada fue que con la aplicación del fertilizante a base de zinc se obtendrá un aumento en la altura y peso de materia seca de la planta, así como el aumento de acumulación del elemento en el suelo y la concentración en el tejido. Y diferencias en la disponibilidad del zinc en el suelo entre la textura franco arenosa y la textura arcillosa.



## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 El zinc en la naturaleza y en el suelo**

El zinc se encuentra en la naturaleza formando parte de compuestos, generalmente con número de oxidación +2, en los sulfatos, óxidos, cloruros, bromuros, ioduros y otros compuestos complejos, con número de coordinación 4 en lugar de 6 como los otros cationes divalentes de radio iónico semejante y ocasionalmente se encuentra en forma elemental. En la litósfera se encuentra principalmente como sulfuro de zinc (esfalerita), esto indica que su comportamiento es de un metal calcófilo, es decir, se encuentra de manera abundante en la naturaleza en los minerales ricos en azufre y durante su intemperización los sulfuros se oxidan dando lugar a los sulfatos permitiendo la movilización del zinc y la formación de nuevos compuestos (Camargo 1988).

El zinc se puede encontrar formando parte de un gran número de minerales, particularmente, en los ferromagnesianos como la augita, la hornblenda y la biotita, unidos al magnesio (Mg) y al hierro (Fe) formando parte de la estructura mineral donde generalmente se encuentra sustituido isomórficamente debido a que el zinc tiene el mismo radio iónico que el Mg y el Fe, además, se puede encontrar siendo parte de sales muy solubles que tienen corta duración en los suelos (Uribe 2005). En las rocas ígneas, existe mayor concentración en rocas máficas que en las félsicas, principalmente por su capacidad de remplazar el  $Mg^{+2}$  y el  $Fe^{+2}$  en silicatos y por la ocurrencia de sulfuro de zinc como granos submicroscópicos. Por otro lado, en las rocas sedimentarias la mayor concentración se encuentra en las arcillitas, debido al resultado principalmente de la reorganización de las estructuras típicas de los silicatos minerales de arcilla (Camargo 1988).

Además, pueden encontrarse en distintas sales como la esfalerita (ZnS), la mithsonita (ZnCO<sub>3</sub>), la cincita (ZnO) y la willemita (ZnSiO<sub>3</sub> y ZnSiO<sub>4</sub>) (Alloway 2008).

También se encuentra asociado a hidróxidos precipitados de Al, Fe y Mg, o adsorbido específicamente por carbonatos, filosilicatos y óxidos hidratados. Comúnmente la concentración de Zn en el suelo varía entre 10 a 300 mg kg<sup>-1</sup>, con un valor promedio de 50 mg kg<sup>-1</sup> (Lindsay citado por Almendros 2013).

El zinc disponible es el Zn lábil, esto significa que está constituido por la fracción soluble y normalmente es adsorbido por los coloides del suelo. El zinc lábil se encuentra en equilibrio con las formas no lábiles, esto se refiere a que las porciones de forma lábiles se revierten en formas no lábiles con el tiempo, ocurriendo este proceso inversamente. Otro punto importante a destacar es que el contenido de zinc en las plantas no tiene relación con el contenido total del suelo, es decir, que puede haber suficiente contenido de zinc en el suelo, pero de forma no disponible para las plantas. Si el contenido total de zinc en el suelo es menor a 30 mg kg<sup>-1</sup> es indicador de bajo contenido. Esta situación generalmente se registra en suelos cuya génesis resulta escasa en este elemento, áreas áridas, suelos lixiviados, o por intensas remociones de cosechas (Ortega 2001).

## **2.2 Factores que influyen en la disponibilidad de zinc en el suelo**

Uribe (2005) menciona que existen distintos factores que afectan el contenido de zinc disponible en los suelos, tales como el material parental, humedad, contenido de materia orgánica, la textura, los niveles de pH, profundidad del suelo, temperatura, iones antagonicos, precipitaciones.

Según Roca et al. (2007) las cantidades de zinc varían con los niveles de pH del suelo, debido a que los niveles elevados de pH en el suelo ocasionan la retención del zinc, siendo el mismo fijado en el suelo de forma no disponible para las plantas. Otro punto a resaltar es que la presencia de carbonatos y la salinidad afecta la disponibilidad de Zn en

los suelos. Es decir, que la presencia de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Na}^{+}$  podrían ser una de las causas de la deficiencia del zinc en el suelo, por lo tanto, la disponibilidad del zinc no depende únicamente de los contenidos elevados del mismo en el suelo sino también del contenido de calcio y sodio que controlan la fuerte adsorción en los coloides.

En la solución del suelo en niveles bajos de pH el zinc está presente como  $\text{Zn}^{+2}$  y en niveles altos como  $\text{ZnOH}^{+}$  y  $\text{Zn}(\text{OH})_2\text{O}$ , siendo que estos últimos no están disponibles para las plantas (Camargo 1988).

Según Fageria et al. (1995) cuando el pH del suelo se incrementa a más de 6, el aumento en unidad de pH puede reducir la concentración del Zn en la solución del suelo alrededor de 100 veces. En los oxisoles, la deficiencia de zinc en cultivos anuales es observada de manera frecuente, debido a la relación que existe con el bajo contenido natural de zinc en el suelo, y dicha disponibilidad natural disminuye aún más a causa de las dosis elevadas de cal agrícola en el encalado, que tiene como fin corregir la acidez de los suelos, provocando de cierta forma deficiencias más pronunciadas en las plantas (Fageria y Stone 2004).

El régimen de humedad ejerce una gran influencia sobre la distribución del zinc total en el suelo, En general, el régimen de humedad aquíco conducen a una reducción significativa de zinc en el suelo, mientras que en el régimen de humedad ustico se encuentran mayores niveles de zinc en el suelo, la razón de la variabilidad es que en el régimen de humedad aquíco se presenta una acumulación de agua durante casi todo el año en dichas zonas, por lo que es propicia para la lixiviación. Otra influencia del zinc son los órdenes de suelos, siendo que en los vertisoles se encuentra mayor contenido de zinc en el suelo en comparación a los entisoles, esto es debido al mayor porcentaje de arcilla que contiene los vertisoles (Katyal y Sharma 1991).

Roca et al. (2007) mencionan que la textura afecta la disponibilidad de Zn. La fracción arena como es inerte, contiene y retiene bajo contenido de Zn. En los suelos

arcillosos el zinc es fuertemente adsorbido por los coloides del suelo, esto tiene respuestas favorables como la disminución de la pérdida por lixiviación, es por ellos que, en suelos arenosos, con una baja capacidad de intercambio catiónico y sujetos a lluvias intensas se pueden presentar problemas de deficiencia del zinc (Strey et al. 2009).

El Zn disponible es directamente proporcional a la materia orgánica del suelo, esto se refiere que alrededor del 60 % de este ion forma complejos con la materia orgánica soluble (Hamilton et al. 1993).

Uribe (2005) afirma que entre el zinc y el cobre existe un antagonismo debido a que el cobre inhibe la absorción de zinc por la planta. Esto ocurre posiblemente porque estos dos iones compiten por el mismo sitio de transporte.

Perea et al. (2010b) mencionan que cuando existe un exceso de Zn en la planta provoca la disminución de absorción de N, Mg y K, en otros casos, y en otros casos el exceso de zinc genera una especie de reactivación oxidativa desplazando a otros metales del lugar de activación de la síntesis de proteína. La toxicidad induce clorosis en hojas jóvenes además puede provocar deficiencia de Fe y Mg por sustitución, otro síntoma de toxicidad es la reducción del contenido de agua en los tejidos.

Según López y Malavolta (1974) las fertilizaciones fosfatadas en los suelos no influyen en la disponibilidad de zinc en el suelo, pero sí disminuyen la concentración de zinc en la planta. Cuando se encuentran bajas concentraciones de zinc y altas concentraciones de fósforo tienen un efecto en la translocación de zinc en la planta. Esta inhibición en la planta es mayor cuando los fosfatos están acompañados de los cationes divalentes.

Según Fageria (2000) la mayor parte del territorio del Brasil presenta problemas de fósforo, por lo que se requiere grandes aplicaciones del mismo para la corrección de la

deficiencia. Esto causa un gran problema secundario en cuanto a la disponibilidad de zinc en el suelo, debido al antagonismo que existe entre el fósforo y el zinc.

Generalmente el Zn se encuentra distribuido entre las raíces debido a que el mismo se acumula en los puntos próximos a los lugares de absorción que son específicamente en las raíces, esto es causa de la baja movilidad de este elemento dentro de la planta. Sin embargo, este caso, se agrava con la aplicación de P interfiriendo con la translocación del Zn hacia la parte aérea (Bataglia 1988).

Existe una gran relación entre el zinc y el boro esto ocurre porque ambos son esenciales para el funcionamiento óptimo de la ATPasa, además de los sistemas redox de la membrana plasmática. Esto se refiere a que sin boro puede haber una reducción del zinc y viceversa (Yamada 2000).

Bajas temperaturas en asociación con exceso de humedad, generalmente ocasionan deficiencias más pronunciadas que tienen a manifestarse en la fase inicial del crecimiento de las plantas, dichos síntomas desaparecen más tarde. Como las grandes cantidades de zinc pueden ser fijadas por la fracción orgánica del suelo, también puede ser temporalmente inmovilizado dentro de los microorganismos, especialmente cuando se realizan aplicaciones de estiércol en el suelo (Lopes y Carvalho 1988).

### **2.3 Funciones del zinc en las plantas**

El zinc está presente en las plantas como catión divalente, no sufre alteraciones en su estado de oxidación. Es constituyente estructural en las membranas además actúa como activador o regulador de un elevado número de enzimas. Entre dichas enzimas se encuentran las deshidrogenasas, isomerasas, aldolasas, transfosforilasa, RNA Y DNA polimerasas (Castro et al 2005). El zinc se considera importante para el crecimiento y el mantenimiento de la integridad de la membrana plasmática de la raíz, además se encuentra involucrado en el metabolismo del nitrógeno (Orioli 2008, Hernandez et al. 2009).

Otra actividad del oligoelemento zinc es la participación en el metabolismo del nitrógeno, además, en la fotosíntesis en las plantas C4 por la enzima carboxilasa pirúvica (Orioli 2008).

El zinc actúa como cofactor de la anhidrasa carbónica que contienen las plantas y está implicada en varios procesos biológicos como en el intercambio catiónico, la transferencia de CO<sub>2</sub>, la regulación de pH, la respiración, la fijación de la fotosíntesis del CO<sub>2</sub> y además del cierre estomático, por ello es importante las cantidades suficientes de Zn para las plantas. La deficiencia de la misma provoca la reducción en el contenido de la anhidrasa carbónica en las plantas (Escudero et al. 2012).

Teixeira et al. (2008) resaltan que el Zn además de ser esencial para la síntesis de triptófano a su vez es el precursor clave de las auxinas como el ácido indol acético un regulador de crecimiento.

En la fase inicial de crecimiento del cultivo, el zinc disponible aplicado en las semillas estimula el desarrollo radicular y la translocación vía xilema para otras partes de la planta (Tavares et al. 2015).

#### **2.4 Síntomas de deficiencia del zinc en las plantas**

Uno de los síntomas más característico de la deficiencia del zinc como respuesta a la deficiencia del mismo es la reducción del tamaño de las hojas, esto es generalmente en las especies leñosas. Esta sintomatología está relacionada con la reducción de los niveles de hormona vegetal ácido indolacético (IAA), probablemente la deficiencia de zinc reduce la síntesis de triptófano, precursor de biosíntesis de IAA, esta función del zinc en este proceso aun no fue demostrada satisfactoriamente (Castro et al. 2005).

Otro síntoma bastante puntual de la deficiencia del zinc es la clorosis en hojas nuevas como consecuencia de la dificultad de la formación de cloroplastos y degradación de la clorofila, además están asociados a la deformación de las hojas denominadas hojas pequeñas provocadas por la disminuida remoción de este nutriente en la planta (Teixeira et al. 2008).

## **2.5 Fertilizantes con contenido de zinc**

Según Madruga et al. (2015) proveer micronutrientes a las plantas mediante la aplicación en las semillas tiene mejores resultados que las aplicaciones foliares y el suelo, debido a que las plantas son exigentes a estos elementos, pero en pequeñas cantidades. Además, es mejor la uniformidad y distribución del nutriente entre las plantas como consecuencia de la optimización la nutrición de las plantas en la etapa inicial del crecimiento debido a que el sistema radicular aún se encuentra poco desarrollado por la cual la absorción de los nutrientes del suelo es afectada.

En los compuestos como óxido de zinc el contenido del micronutriente es de 50-80%, tiene baja solubilidad, siendo insoluble en agua y debe ser finamente molido para que tengan mayor eficiencia (Castellanos y Rodríguez 2014).

Se encuentra también el cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ) que contiene 28 % de zinc, es soluble en agua y es apto para fertirriego. Luego está el oxisulfato de zinc ( $ZnSO_4 \cdot 4Zn(OH)_2$ ) que contiene un 40 a 55 % de zinc es parcialmente soluble en agua y no es apto para riego, el sulfato de zinc ( $ZnSO_4$ ) contiene aproximadamente 55 % es soluble en agua y se considera apto para fertirriego. Se encuentran también zinc entre 26 a 36 % en el sulfato de zinc heptahidratado ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ), siendo soluble en agua y apto para fertirriego (Toribio y Moriones 2015).

Según Perea et al. (2010a) el quelato es un compuesto químico donde la molécula orgánica actuando como quelante rodea y se enlaza por varios puntos a un ion metálico,

de manera que lo protege de cualquier acción desde el exterior evitando su hidrólisis y precipitación. Por tanto, químicamente los quelatos son moléculas muy estables. Los agentes quelantes que pueden ser utilizados como fertilizantes son EDTA, DTPA, EDDCHA, EDDHAM y el EDDHA. Los quelatos resultan muy eficientes para corregir deficiencias o necesidades de la planta, es por ello que se debe quelatar los elementos.

Otras fuentes importantes y efectivas son los quelatos de zinc. Que depende principalmente de los quelantes como el ácido cítrico, que es un hidroxí-ácido tricarbóxico orgánico que forma quelatos estables, asimilables y fitocompatibles con la mayoría de los cationes metálicos. Se ha comprobado que el ácido cítrico tiene respuestas favorables con la quelatación efectiva del zinc y los demás metales. La importancia relativa de la quelatación en la nutrición vegetal para el uso edáfico y foliar es para que el elemento no precipite en el suelo, y sea más asimilable por la planta, poder agregar una dosis muy grande sin que sea fitotóxico. Las altas concentraciones de este elemento nutritivo tanto en el medio foliar como radicular son menos fitotóxicas cuando estos están bajo la forma de quelatos que cuando están como sales simples (Calderón 1997).

De forma alternativa se encuentra las enmiendas orgánicas como estiércol vacuno, gallinaza, compost y otros tienen cantidades significativas de zinc (Castellanos y Rodríguez 2014).

## **2.6 Aplicación de zinc en cultivos**

Generalmente la concentración del zinc en las plantas varía entre 30 y 80 mg kg<sup>-1</sup> en el tejido (Haslett et al. 2001). Las deficiencias normalmente se presentan con el 15 a 20 mg kg<sup>-1</sup> y la presencia de toxicidad difieren entre 100 a 400 mg kg<sup>-1</sup> dependiendo de la resistencia de los cultivos al zinc (Rosolem y Franco 2000 Citado por Madruga et al. 2015).



Manarin (2005) menciona que el nivel crítico de zinc en las hojas normalmente esta entre 15 y 20 mg kg<sup>-1</sup>. Estudios realizados comprobaron que existen variaciones entre los cultivos en la sensibilidad a la deficiencia del zinc, siendo el maíz y el algodón más sensibles que el trigo y la avena. Fageria et al. (1997) afirman que el nivel de zinc adecuado en la parte aérea de plántulas es de 15 mg kg<sup>-1</sup> en trigo, 47 mg kg<sup>-1</sup> en arroz, 35 mg kg<sup>-1</sup> en frijoles, 20 mg kg<sup>-1</sup> en maíz y 21 mg kg<sup>-1</sup> en la soja.

Fageria (2000) utilizó un suelo de textura franco-arcillosa para llevar a cabo un experimento en suelos de cerrados que consistieron en cinco dosis de Zn 0, 5, 10, 20, 80 y 120 mg kg<sup>-1</sup> de suelo en el cultivo de arroz, frijoles, maíz, soja y trigo. Verificó que las producciones de masa seca de la parte aérea y de las raíces de las plantas fueron influenciadas por las dosis de zinc, con excepción del frijol. Observó además que para el cultivo de arroz la dosis adecuada de zinc en el suelo fue de 10 mg kg<sup>-1</sup> y para el maíz fue de 3 mg kg<sup>-1</sup>, siendo las mismas los cultivos más sensibles a la deficiencia del zinc. En las hojas el nivel adecuado de zinc fue de 67 mg kg<sup>-1</sup> para el cultivo de arroz y para el maíz fue de 27 mg kg<sup>-1</sup>.

Según los resultados obtenidos por Gambaudo et al. (2012) las producciones del maíz con la aplicación de distintos fertilizantes compuestos que corresponden a Fulltec con 5 % de Zn, fertilizante microquelatado con 7%, Starter con 3% y Mastermins con 4 %, con la aplicación de dosis de 200 cc ha<sup>-1</sup>, 6 L ha<sup>-1</sup>, 6 L ha<sup>-1</sup> y 6 L ha<sup>-1</sup>. Incrementaron los rendimientos con relación al testigo, correspondiendo 8.302 kg ha<sup>-1</sup> al testigo, 9.647 kg ha<sup>-1</sup> al 5% de Zinc, 9.238 kg ha<sup>-1</sup> al 3%, 9.153 kg ha<sup>-1</sup> al 7% y 9.140 kg ha<sup>-1</sup> al 4%.

Según lo mencionado por Rodríguez et al. (2014) luego de aplicar diferentes dosis de zinc y manganeso en la plantación de naranjo dulce, con dosis de 2 L ha<sup>-1</sup> y 4 L ha<sup>-1</sup> de Zn en los cultivos, incrementaron significativamente los rendimientos, siendo las aplicaciones de zinc los de mayores rendimientos que fueron de 120, 06 kg planta<sup>-1</sup> y 113,95 kg planta<sup>-1</sup>, en comparación al testigo que tuvo un rendimiento de 91,88 kg planta<sup>-1</sup>.

En un trabajo realizado en invernadero para evaluar el crecimiento y la eficiencia del cultivo, de dos maíces híbridos y una de variedad con cuatro dosis de zinc (0, 1, 2, 3 mg kg<sup>-1</sup>), se tuvo como resultado que la producción de raíces obtuvo diferencias significativas ya con la dosis de 1 mg kg<sup>-1</sup>, sin encontrar diferencias significativas con las dosis más altas, mientras que la materia seca máxima de la producción de los maíces híbridos resultaron mayor con las dosis más altas en comparación de la variedad Al-Manduri que ya obtuvo la materia seca máxima con la dosis de 1 mg kg<sup>-1</sup>. Estos resultados sugieren que los híbridos son más exigentes en los requerimientos de Zn para el crecimiento adecuado del mismo (Coutinho et al. 2007).

Hernández et al. (2009) realizaron un trabajo en invernadero con el objetivo de evaluar los efectos de desarrollo de aplicaciones de zinc en el suelo para el cultivo de *Panicum maximum* con las dosis de 0, 15,30, 60, 120 y 240 mg dm<sup>-3</sup> indicaron como resultado que la Tanzania tienen una alta tolerancia al zinc con un nivel crítico tóxico de 273 mg kg<sup>-1</sup>.

Salvagiotti et al. (2012) estudiaron la respuesta del trigo a la fertilización foliar de zinc. Con la aplicación de dosis de 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de zinc obtuvieron rendimientos promedios de 6.170 kg ha<sup>-1</sup> con diferencia del testigo que fue de 4.584 kg ha<sup>-1</sup>. La aplicación de zinc en el estadio de macollage incrementó el rendimiento en un 16%.

Madruga et al. (2012) evaluaron los efectos del tratamiento de semilla de trigo con zinc. Las semillas se cubrieron con dosis de 0, 1, 2, 3 y 4 de ZnSO<sub>4</sub> mL kg<sup>-1</sup> y luego fueron almacenadas durante 6 meses. Los resultados fueron que el recubrimiento de zinc no afecta a la viabilidad de las semillas de trigo almacenado durante todo ese tiempo, además el número de semillas por espiguilla aumentó en un 200 % en comparación con el testigo y el peso del grano por planta aumentó en 36 % en comparación con el testigo, ambos con la dosis 4 mL kg<sup>-1</sup> de semillas.

Galvão (1988) demostró que los efectos de las dosis de zinc en el cultivo de arroz tuvieron una mayor producción ya con la menor dosis, de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de sulfato de zinc, que fue de  $698 \text{ kg de granos ha}^{-1}$ , el zinc fue aplicado en forma de solución lateramente en las plantas 15 días después de la emergencia.

Arrieche y Ramírez (1999) en un ensayo realizado en invernadero establecieron un experimento con cuatro dosis de Zn, que fueron 0, 5, 10 y  $15 \text{ mg kg}$  de Zn por kg de suelo, en la forma de sulfato de zinc heptahidratado. Tuvieron como resultado un incremento promedio de materia seca de  $2,92 \text{ g pl}^{-1}$  para la dosis de  $5 \text{ mg kg}$  de zinc, lo que significó un aumento de 47,9 % con respecto al testigo, luego con la dosis de  $10 \text{ kg mg}^{-1}$  tuvieron un incremento de materia seca de  $3,63 \text{ g pl}^{-1}$ , es decir, un aumento de 59,4 % con respecto al testigo y finalmente con la dosis de  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  el incremento fue solo de 1,52 lo que equivale a 25,0 % mostrando tendencia a disminuir la producción de materia seca cuando se aplica dosis excesivas.

Según Teixeira et al. (2008) durante una investigación que consistió en la aplicación vía foliar de distintas dosis de zinc siendo estas de 100, 200, 400 y  $800 \text{ g ha}^{-1}$  en el cultivo de frijoles, no constataron diferencias significativas en el rendimiento de los granos.

Fretes et al. (2017) aplicaron el zinc en diferentes épocas, formas de aplicación y tanto en forma de ZnO y  $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , en el cultivo del trigo, analizaron las variables como altura de la planta, longitud de espigas, cantidad de espigas, producción de grano y peso hectolitro de granos y no observaron efectos significativos en ninguna de las variables.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización y Caracterización del área experimental**

La investigación que forma parte del proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos”, financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) se llevó a cabo en el invernadero del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, localizado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, en el Distrito de San Lorenzo, Departamento Central, a una altura de 125 metros sobre el nivel del mar.

#### **3.2 Diseño experimental y tratamientos**

La investigación se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar en esquema bifactorial, donde el primer factor consistió en dos texturas de suelo, siendo una de textura arcillosa y la otra de textura franco arenosa, el segundo factor fue las dosis de Zinc (0, 10, 20, 40 y 80 mg de Zn kg<sup>-1</sup> de suelo) con diez repeticiones, totalizando 50 unidades experimentales.

#### **3.3 Implementación y manejo del experimento**

Para el experimento fueron utilizados dos tipos de suelos de diferentes texturas, un suelo de textura arcillosa proveniente de la zona de Katuete, clasificado como Rhodic Kandiudox, según el sistema Soil Taxonomy, caracterizado por ser intemperizado y de baja fertilidad, de color rojo oscuro. El otro suelo de textura arenosa proveniente de la zona de San Lorenzo de la Facultad de Ciencias Agrarias,

clasificado como Rhodic Paleudult, caracterizados como suelos minerales con horizontes iluviales de arcillas y franco arcillosa en el horizonte B, buena aireación y permeabilidad, con poca plasticidad y pegajosidad (López et al. 1995). Se evaluaron tres cultivos (trigo, maíz y sésamo). La fuente de zinc utilizada fue el sulfato de zinc heptahidratado ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), aplicado antes de la siembra del primer y segundo cultivo, considerándose como efecto residual en el tercer cultivo.

Antes del inicio del experimento los suelos fueron colectados en la profundidad de 0-0,2 m, una vez que los suelos se encontraron en San Lorenzo fueron sometidos a análisis químico (Tabla 1). Luego se realizó la corrección de la fertilidad en relación a N, P, K y encalado para eliminar el Al intercambiable.

**Tabla 1.** Características químicas de los suelos utilizados en el experimento. San Lorenzo, 2018

Análisis de suelo	pH	M.O. %	P $\text{ng kg}^{-1}$	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> +H <sup>+</sup>	Clase Textural
Katueté	4,5	2,66	0,19	0,38	0,45	0,04	0,00	1,25	Arcillosa
San Lorenzo	5,2	0,42	6,3	0,43	0,18	0,09	0,01	0,87	Franco arenosa

Los suelos fueron acondicionados en macetas, con 5 kg de suelo secado al aire tamizado en zaranda de 4 mm. Luego se realizó la primera aplicación de las dosis de zinc, las mismas fueron aplicadas de acuerdo a los tratamientos. Posterior a los 15 días de aplicado el Zn se sembraron 10 semillas de trigo, por maceta, luego se realizó el raleo reduciendo a 5 plantas, las mismas fueron regadas diariamente. Posteriormente se aplicó por segunda vez el zinc antes de la siembra del maíz, se sembraron 8 semillas de maíz, por maceta, luego se procedió al raleo dejando a 5 plantas. Luego de la cosecha del maíz se procedió a la siembra del sésamo, sembrando 8 semillas por maceta y posteriormente se realizó el raleo reduciendo a 5 plantas. La aplicación de nitrógeno se realizó cada 15 días utilizando como fuente a la urea.

Durante el tiempo transcurrido del desarrollo de las plantas se constató la presencia de plagas y se procedió a la aplicación de insecticidas como Betacyfluthrin y Clorpirifos para el control de los mismos.

La cosecha de la materia aérea se realizó luego de 70 días en el caso del trigo y 60 días en el caso de los cultivos de maíz y sésamo de forma manual, una vez que las plantas llegaron a la etapa de floración. La colecta de suelo se realizó al final de cada cosecha de los 3 cultivos, de cada maceta, para la determinación de zinc en el suelo.

### **3.4 Variables evaluadas**

**Altura de la planta:** la medición de las plantas de cada unidad experimental se realizó luego de la cosecha de los tres cultivos, con la utilización de una cinta métrica, desde la base hasta el ápice de la planta. Luego los resultados fueron promediados y expresados en centímetros.

**Materia seca aérea:** se seleccionaron todas las plantas y se cortaron al ras del suelo para luego ser llevados al laboratorio y se procedió al secado en la estufa a 60 °C por 72 horas, posteriormente se llevó a cabo el peso de la masa seca y fueron expresados en g maceta<sup>-1</sup>.

**Análisis foliar para determinación del zinc de la parte aérea:** se utilizaron las mismas muestras de la materia seca luego de ser pesadas, se procedió al triturado de la misma en un molino de plantas. Posteriormente se llevó a cabo la determinación del nivel de zinc en el tejido.

**Análisis de suelo:** Este procedimiento se realizó posterior a la cosecha de cada cultivo. Se procedió a la extracción de las muestras de suelo a una profundidad de 0-10 cm, luego dichas muestras se transportó al laboratorio y se realizó al análisis de suelo correspondiente para la determinación del nivel del zinc en el suelo.

Ambos análisis tanto del suelo como en el tejido se realizaron en el laboratorio del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias, siguiendo la metodología descrita por Tedesco et al. (1995).

### **3.5 Métodos de control de calidad**

Todas las actividades fueron realizadas con el seguimiento correspondiente de cada profesional para cada evaluación. Este experimento se llevó a cabo con eficiencia debido al apoyo del orientador y co-orientador y los análisis laboratoriales con la ayuda de los técnicos responsables del laboratorio.

### **3.6 Métodos de análisis de datos**

Los datos obtenidos de las variables estudiadas fueron sometidos a análisis de varianza (ANAVA), para observar la existencia de diferencias significativas en los parámetros estudiados por el efecto de las dosis de zinc y por efecto de las texturas de suelos, y al detectarse diferencias significativas fueron comparados con el test de tukey al 5% de probabilidad de error y análisis de regresión. Los resultados fueron presentados e interpretados a través de tablas y figuras.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Cultivo de trigo

#### 4.1.1 Altura de la planta, materia seca de la parte aérea, contenido de zinc en el suelo y en el tejido.

En la Tabla 2 se presentan los siguientes valores obtenidos de las variables altura de la planta y materia seca de trigo, donde se verificó que hubo diferencias significativas por efectos de la textura del suelo, sin embargo, no se encontró diferencias a nivel estadístico en los tenores de zinc en el suelo y en la planta. Por otro lado, las dosis de zinc afectaron significativamente en todas las variables (Figura 1, 2, 3 y 4). No se encontró interacción entre los dos factores para todas las variables con excepción de la variable materia seca (Anexos 1, 2, 3 y 4).

**Tabla 2.** Altura de la planta, materia seca, zinc en el suelo y en el tejido del cultivo de trigo por efecto de la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2018.

Factores	Altura (cm)	MS Aérea (g maceta <sup>-1</sup> )	Zinc en el suelo (mg kg <sup>-1</sup> )	Zinc en el tejido (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Textura</b>				
Franco Arenosa	68,90 a	9,03 b	8,58 <sup>ns</sup>	31,28 <sup>ns</sup>
Arcillosa	64,39 b	10,57 a	8,60	29,23
Media	66,65	9,8	8,59	30,30
CV (%)	5,18	10,67	36,07	25,69

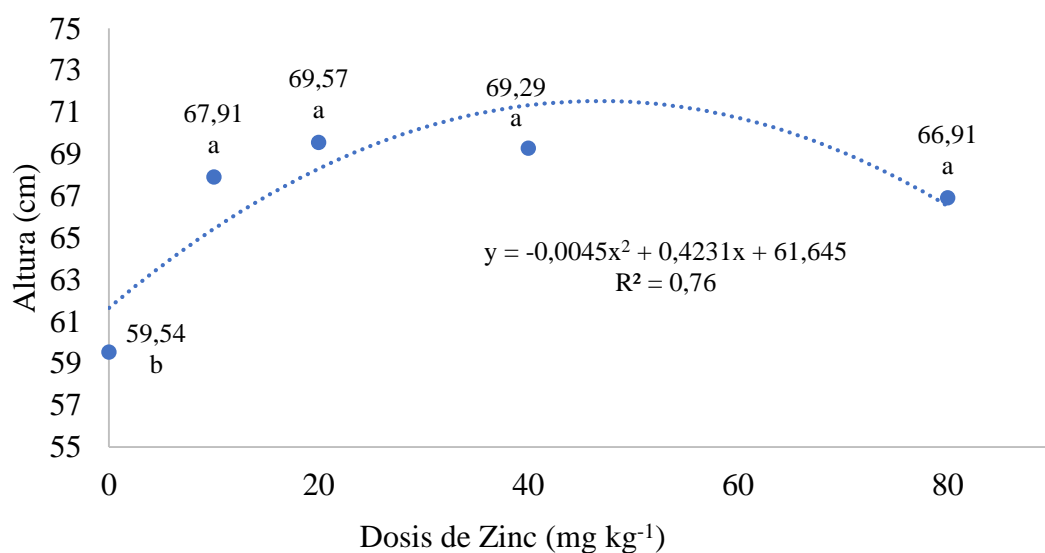
CV (%) Coeficiente de variación ns; Diferencias no significativas. Medias seguidas por diferentes letras en las columnas difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

La altura de la planta resultó mayor en el suelo franco arenoso alcanzando un promedio de 4,51 cm superior al obtenido en el suelo arcilloso. En cuanto a la materia



seca el resultado fue mayor en el suelo arcilloso con un promedio de 1,54 cm superior al obtenido en el suelo franco arenoso (Tabla 2).

Las dosis de zinc influenciaron en la altura de la planta, observándose un incremento con las dosis de Zn aplicadas con relación al testigo (Anexo 1). Esta variable se ajustó a una ecuación cuadrática (altura de planta =  $0,0045x^2 + 0,4231x + 61,645$ ,  $R^2 = 0,76$ ). Con una altura máxima de 71,60 cm, que se obtiene con una aplicación de 47,01  $\text{mg kg}^{-1}$  (Figura 1). A partir de la aplicación de 10  $\text{mg kg}^{-1}$  no hubo diferencias numéricas entre tratamientos.

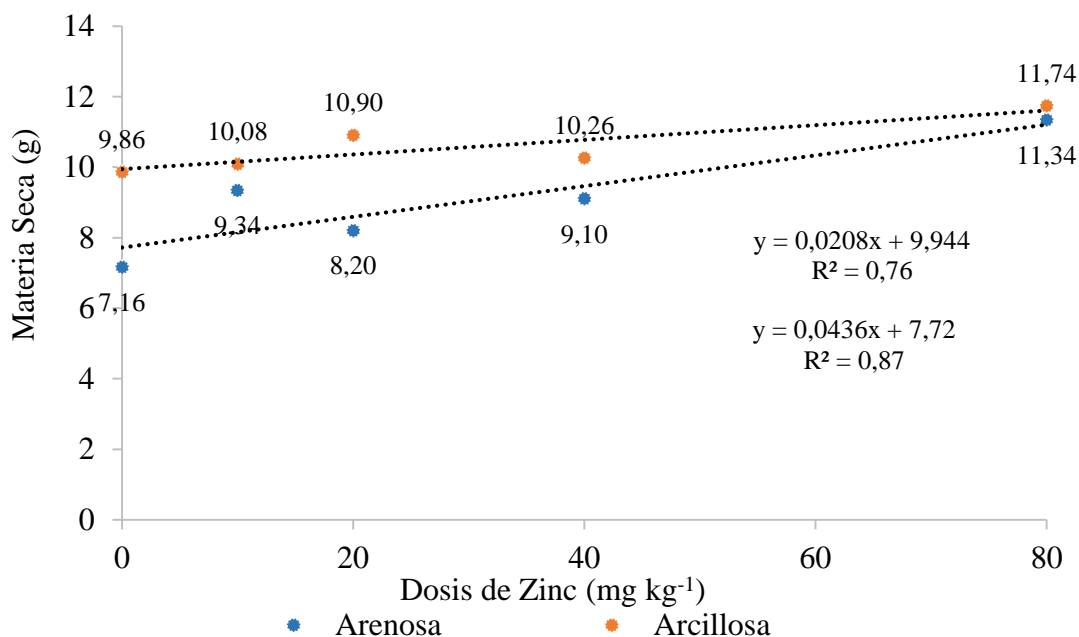


**Figura 1.** Altura de la planta de trigo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

Estos resultados concuerdan con Barbosa et al. (1983) que observaron que la altura de la planta fue de 103,7 cm con la aplicación de Zn en comparación al testigo que fue de 92,0 cm la altura, demostrando un incremento significativamente en la altura del cultivo de arroz. Comprobando que este nutriente tiene un papel esencial para el crecimiento de los cultivos. En tanto que Ferraris (2014) aplicando Zn al cultivo de trigo obtuvo un valor promedio de 10 cm superior en comparación al obtenido en el testigo. Sin embargo, Fretes et al. (2017) no observaron respuesta del trigo en la altura con la

aplicación de Zn. Lo mismo constataron Salet et al. (1990) al no encontrar efecto significativo en la altura del trigo.

Con relación a las dosis, en la materia seca se constató efecto significativo a partir de la dosis  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ . Es así que con la dosis  $40 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn se obtuvo  $9,68 \text{ g maceta}^{-1}$ , en tanto que con la última dosis se obtuvo un incremento del 16 %, (Anexo 2). Ajustándose a la ecuación: (materia seca aérea =  $0,0322x + 8,832$ ,  $R^2 = 0,87$ ). Indicando que la acumulación de materia seca fue aumentando a medida que aumenta la dosis de zinc al suelo (Figura 2).

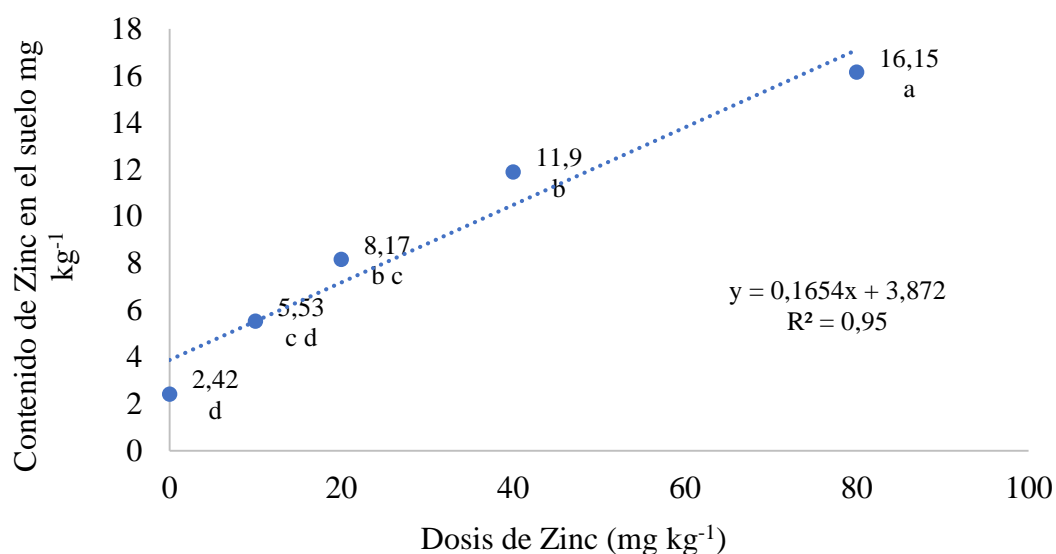


**Figura 2.** Materia seca acumulada por la planta de trigo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

Resultados similares demostraron Madruga et al. (2015) que obtuvieron efecto a nivel estadístico en la masa seca aérea del trigo, que con las dosis de 3 mL de  $\text{ZnSO}_4$  aplicados a las semillas aumento la producción de masa seca aérea en 61,8 % comparado con el testigo. Así mismo Fageria (2000) verificó que la producción de masa seca aérea del trigo fue influenciada por las dosis de Zn, obteniendo  $2,05 \text{ g maceta}^{-1}$  con la aplicación

de  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn, en comparación al testigo que obtuvo  $1,90 \text{ g maceta}^{-1}$ . Sin embargo, Prado et al. (2007) no encontraron diferencias significativas en el trigo.

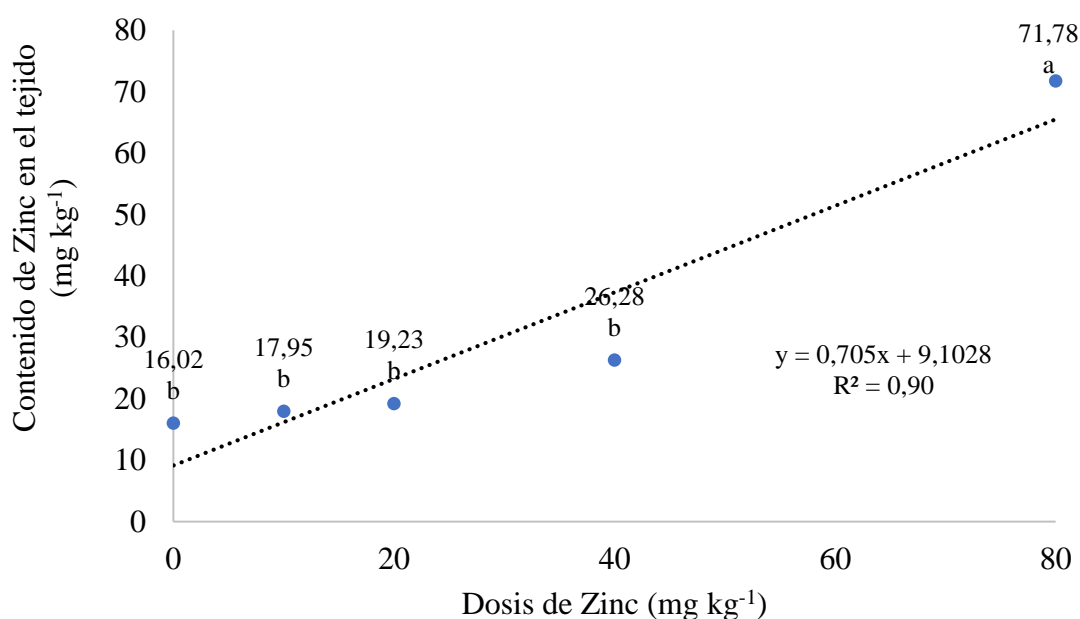
En cuanto al contenido de Zn en el suelo se observó un incremento por las dosis, registrándose, que a mayor dosis del Zn mayor fue la acumulación en el suelo, siendo así, la de mayor acumulación con la dosis  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ , sin embargo, el testigo y las dosis, 10, 20 y  $40 \text{ mg kg}^{-1}$  estadísticamente fueron iguales entre sí (Anexo 3). La misma se ajustó a la siguiente ecuación: (contenido de zinc en el suelo =  $0,1654x + 3,872$ ,  $R^2 = 0,95$ ). Demostrando que a mayor dosis de zinc aplicadas aumenta el contenido de zinc en el suelo (Figura 3).



**Figura 3.** Contenido de Zinc en el suelo posterior a la cosecha de trigo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

Estos resultados concuerdan con Hernández et al. (2009) que observaron el aumento significativo de la concentración del Zn en el suelo de acuerdo a las dosis aplicadas, considerando que aplicando dosis de  $240 \text{ mg kg}^{-1}$  se encontró  $120 \text{ mg kg}^{-1}$  de zinc en el suelo. Fageria (2000), concluyó que los niveles adecuados de zinc en el suelo variaron de  $0,5$  a  $5 \text{ mg kg}^{-1}$ , por el extractor Mehlich 1, y de  $0,3$  a  $4 \text{ mg kg}^{-1}$  por el extractor DTPA.

Respectivamente con la concentración de Zn en el tejido de la parte aérea de la planta, se observó un aumento significativo con la última dosis aplicada. Obteniéndose así una concentración de  $71,78 \text{ mg kg}^{-1}$  en el tejido a diferencia del testigo que fue de  $16,02 \text{ mg kg}^{-1}$  (Anexo 4). La misma se ajustó a la siguiente ecuación (Contenido de zinc el tejido =  $0,705x + 9,1028$ ,  $R^2 = 0,90$ ). Demostrando que a mayor aplicación de zinc al suelo mayor es la acumulación de zinc en el tejido (Figura 4).



**Figura 4.** Contenido de Zinc en el tejido posterior a la cosecha de trigo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

Los resultados obtenidos del experimento concuerdan con los de Madruga et al. (2015) que realizando estudios sobre la aplicación de Zn en semillas de trigo obtuvieron que la concentración del elemento en la parte aérea incrementó al aumentar las dosis de  $\text{ZnSO}_4$ , observaron que con las dosis de 3 y 4 mL de  $\text{ZnSO}_4$  se produjo concentraciones de  $282,19 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $329,82 \text{ mg kg}^{-1}$  en el tejido en comparación al testigo que se encontró concentraciones menor a  $150 \text{ mg kg}^{-1}$ , demostrando que a medida que aumentaron la dosis del nutriente se encontró mayor concentración en el tejido. A diferencia de los resultados

obtenidos por Aguiló et al. (2015) no encontraron diferencias significativas en el cultivo de trigo.

## 4.2 Cultivo de Maíz

### 4.2.1 Altura de la planta, materia seca de la parte aérea, contenido de zinc en el suelo y en el tejido

En la tabla 3 se observa que en todas las variables no presentaron diferencias significativas por efectos de la textura del suelo. Por otro lado, las dosis de zinc afectaron significativamente en las variables altura de la planta, contenido de Zn en el suelo y foliar. Por lo contrario, en la materia seca no se encontró diferencias a nivel estadístico (Figura 5, 6, 7 y 8). No se encontró interacción entre los factores en las variables evaluadas, excepto en la variable materia seca (Anexos 5,6,7 y 8).

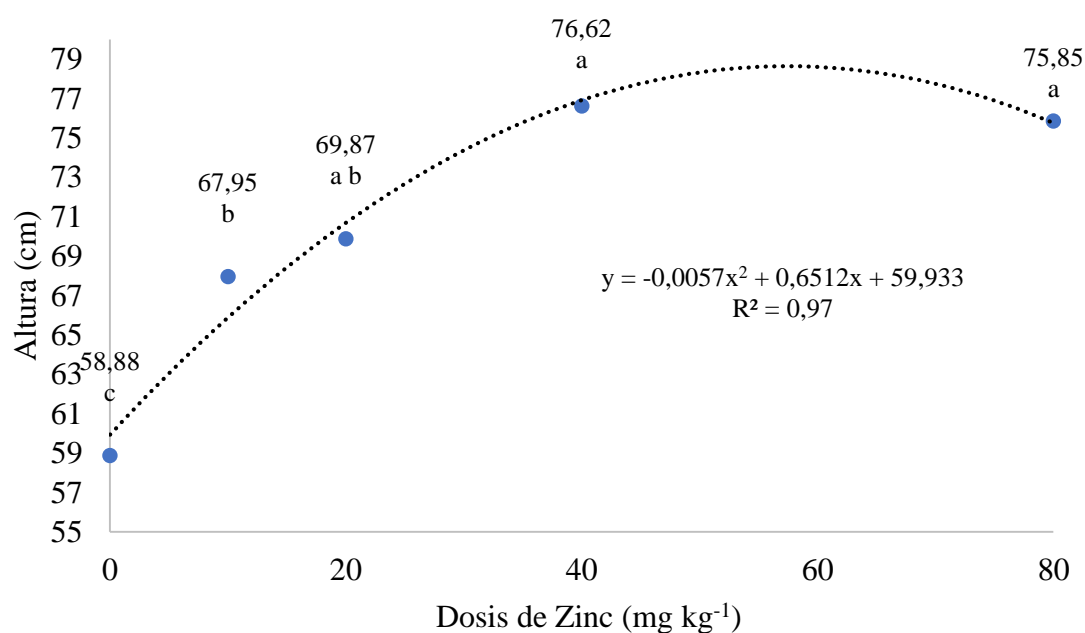
**Tabla 3.** Altura de la planta, materia seca, zinc en el suelo y en el tejido del cultivo de maíz por efecto de la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2018.

Factores	Altura (cm)	MS Aérea (g maceta <sup>-1</sup> )	Zinc en el suelo(mg kg <sup>-1</sup> )	Zinc en el tejido (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Textura</b>				
Franco Arenosa	70,41 <sup>ns</sup>	32,12 <sup>ns</sup>	8,95 <sup>ns</sup>	36,95 <sup>ns</sup>
Arcillosa	69,26	29,21	9,86	33,42
Media	69,84	30,7	9,41	35,19
CV (%)	8,05	16,13	30,61	37,61

CV (%) Coeficiente de variación ns; Diferencias no significativas. Medias seguidas por diferentes letras en las columnas difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

La aplicación de dosis de zinc aumentó la altura de la planta del maíz, la misma se ajustó a la ecuación: (altura de la planta =  $0,0057x^2+0,6512x+59,933$ ,  $R^2= 0,97$ ). La dosis de máxima eficiencia para esta variable es de 57,12 mg de Zn kg<sup>-1</sup> de suelo, alcanzando una altura máxima de 78,54 cm. (Figura 5).

De manera similar a los resultados del presente experimento Ferraris (2010) obtuvo con la aplicación de zinc en el cultivo del maíz una mejora en la altura de la planta con un incremento del 5 % en comparación al testigo, resaltando que el zinc es de gran importancia para un amplio rango de situaciones productivas en el cultivo del maíz. Al contrario de los resultados García (2018) no encontró diferencia estadística entre los tratamientos evaluados en el cultivo de maíz. Esto concuerda con Alvarado (2002), que al comparar la altura de la planta del maíz con niveles de zinc aplicados en comparación al testigo, no encontraron diferencias significativas.



**Figura 5.** Altura de la planta del maíz con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

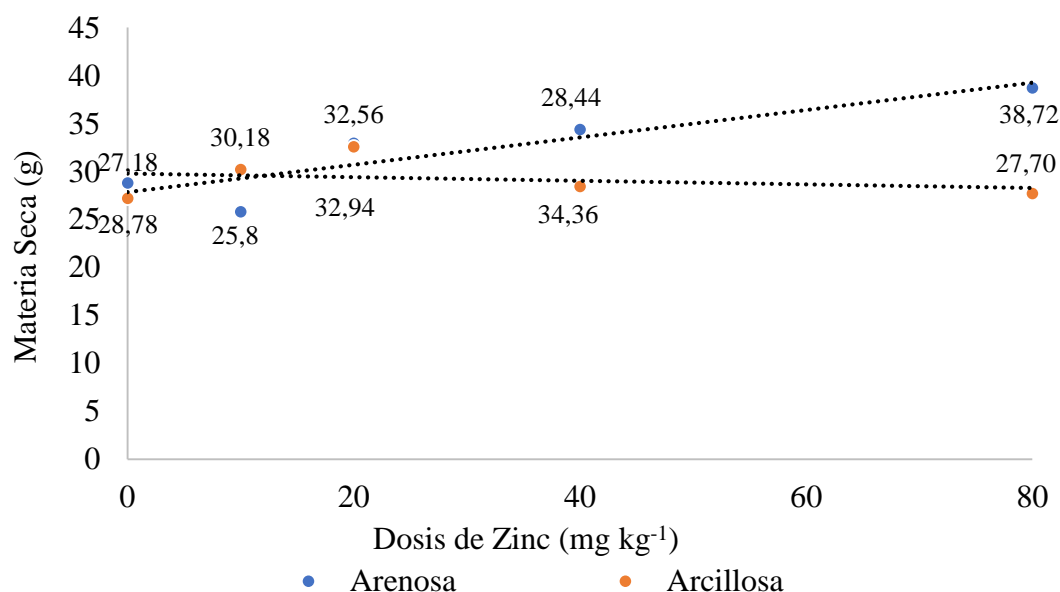
El efecto tanto del factor dosis como del factor textura en la materia seca de la parte aérea del maíz, se obtuvo resultados similares entre los diferentes tratamientos (Anexo 6), (Figura 6).

Este resultado obtenido en el presente experimento con respecto a la materia seca de la parte aérea del maíz pudo haber tenido relación con la sensibilidad a la deficiencia de este elemento estudiado de acuerdo a los diferentes cultivos, es decir, que las exigencias

nutricionales dependen de los requerimientos de cada cultivo. Clarkc (1990) mencionó que el cultivo del maíz y el arroz son más sensibles a la deficiencia del zinc, en tanto que, el trigo es más eficiente en el uso de este nutriente. Esta información evidencia la razón por la cual esta variable no tuvo respuesta con las dosis de zinc

Resultados similares obtuvieron Rosolem y Franco (2000), que afirmaron que la producción de masa seca de la planta del maíz no fue afectada por las concentraciones de Zn.

Coutinho et al. (2007), encontraron resultados diferentes al presente experimento, con los resultados obtenidos que observaron que la masa seca de la parte aérea de maíz se incrementó con la aplicación de Zn al suelo, siendo que la dosis de  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  fue suficiente para la producción de máxima de masa seca de una variedad de maíz. Sin embargo, no fue así para híbridos que requerían de dosis más altas. Así mismo Fageria (2000), resalta que la producción de masa seca del cultivo del maíz resulto afectada significativamente con los tratamientos de Zn, obteniendo la producción máxima con la aplicación de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo siendo el aumento de 14 % en comparación al testigo.

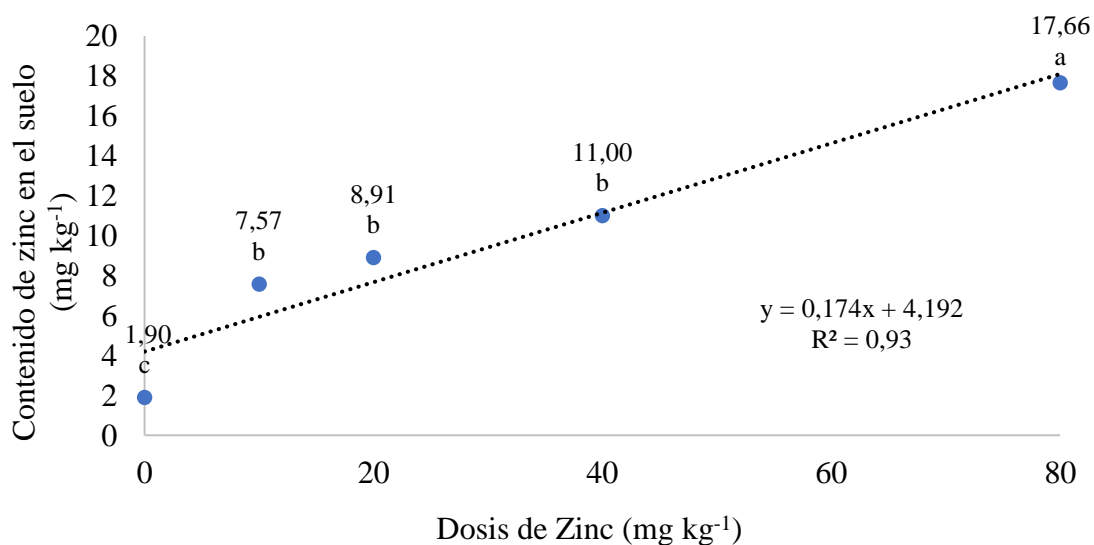


**Figura 6.** Materia seca acumulada por la planta del maíz con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

Con el efecto de las dosis de Zn la concentración del micronutriente en el suelo aumentó linealmente. El testigo registró  $1,90 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn en el suelo, en tanto que con la mayor dosis se observó un incremento del 91% (Anexo 7). Dosis ajustada a la ecuación: (Contenido de zinc en el suelo =  $0,174x + 4,192$ ,  $R^2 = 0,93$ ). Mencionando que, a mayor dosis aplicadas al suelo, mayor es la acumulación de zinc en el suelo (Figura 7).

Conforme a los resultados del presente experimento, concuerdan con los resultados obtenidos por Ritchey et al. (1986) que, estudiando la disponibilidad de zinc para el cultivo del maíz, aplicando a las mismas concentraciones de 0, 1, 3, 9 y 27 ppm de zinc, afirman que a medida que las aplicaciones de zinc fueron en aumento la concentración del elemento en el suelo fueron incrementando. Registraron que con la dosis de  $27 \text{ kg ha}^{-1}$  el nivel del nutriente encontrado en el suelo fue de 4,2 ppm, con una notable diferencia con la dosis  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  que solo se encontró 0,5 ppm de zinc en el suelo.

De la misma manera, Hernandez et al. (2009) encontraron que, con la aplicación de dosis de 15, 30, 60, 120 y  $240 \text{ mg dm}^{-3}$ , aumentaron la concentración en el suelo, alcanzando los  $120 \text{ mg de Zn dm}^{-3}$ . Esta concentración ya considerada alta de acuerdo a la clasificación de otros autores.

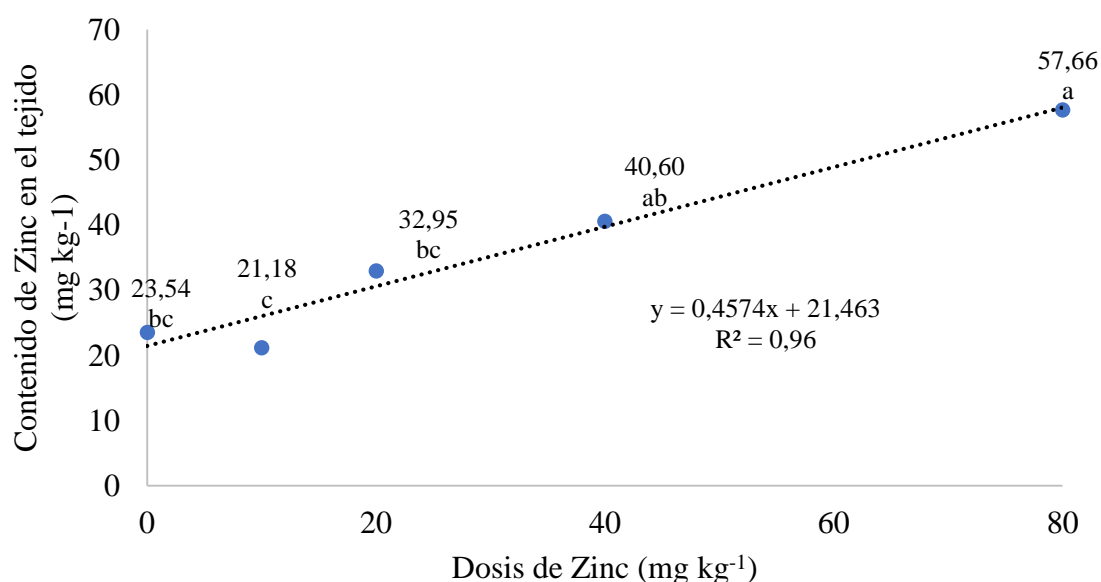


**Figura 7.** Contenido de Zinc en el suelo posterior a la cosecha de maíz con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.



En relación a la concentración de Zn en el tejido de la parte aérea del maíz se observó que la aplicación del micro elemento promovió un aumento significativo con el aumento de las dosis (Anexo 8). Las dosis 80 y 40 mg kg<sup>-1</sup> de Zn aplicadas al suelo acumulo 57,66 y 40,60 mg kg<sup>-1</sup> de Zn en el tejido, sin embargo, con las dosis 0, 10, y 20 mg kg<sup>-1</sup> de Zn la proporción acumulada del elemento no tuvo diferencias significativas entre dichos tratamientos, con ajuste a la siguiente ecuación: (Contenido de zinc en el tejido= 0,4574x + 21,463, R<sup>2</sup>= 0,96) (Figura 8).

Fageria (2000) determinó que los niveles adecuados de zinc en el tejido de la planta varían de acuerdo a cada cultivo que va de 18 a 67 mg kg<sup>-1</sup> de la materia seca de la parte aérea y los tóxicos de 100 y 673 mg kg<sup>-1</sup>. De acuerdo a los resultados obtenidos al presente experimento Ernani et al. (2001) concuerda con los resultados obtenidos en su trabajo de investigación, que estudiando la influencia de las adiciones sucesivas del zinc en 3 cultivos de maíz cada 30 días, en diferentes formas, con aplicaciones de 0; 6,25; 12,5; 25 y 50 mg kg<sup>-1</sup> de suelo aplicadas antes de cada cultivo. Observaron que la concentración y acumulación de zinc en las plantas aumentó con el aumento de las dosis llegando a valores superior a 250 mg kg<sup>-1</sup> con la mayor dosis aplicadas en el tercer cultivo.



**Figura 8.** Contenido de Zinc en el tejido posterior a la cosecha de maíz con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

### 4.3 Cultivo de Sésamo

#### 4.3.1 Altura de la planta, materia seca de la parte aérea, contenido de zinc en el suelo y en el tejido.

En la tabla 4 se observa que la altura de la planta y la materia seca de la parte aérea del cultivo de sésamo fueron afectados por la textura del suelo, no así, en las variables contenido de zinc en el suelo y en el tejido. Por otro lado, las dosis de zinc no afectaron de forma significativa en las variables altura de la planta y materia seca acumulada, sin embargo, el contenido de zinc en el suelo y el nivel de zinc en el tejido si fueron diferenciados estadísticamente (Figura 9, 10,11 y 12). No se encontró interacción entre los factores en ninguna de las cuatro variables (Anexo 9,10,11 y 12).

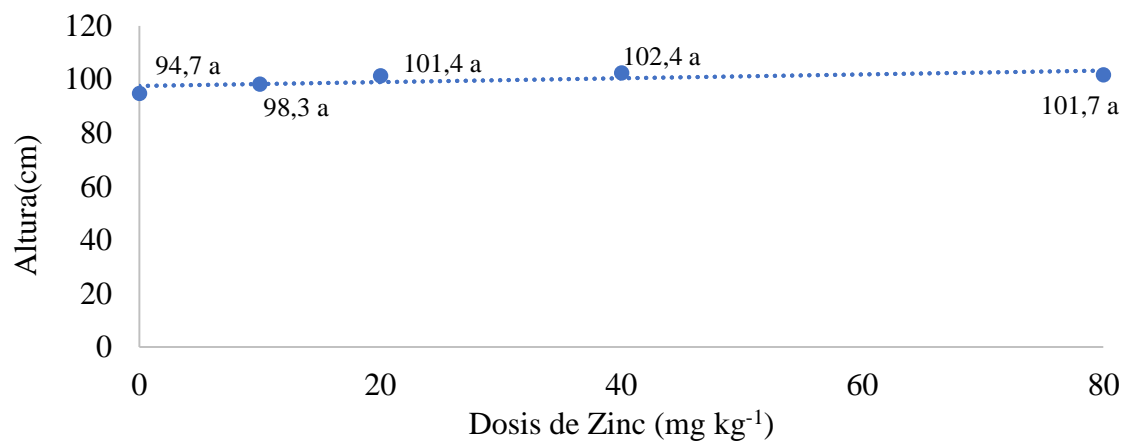
**Tabla 4.** Altura de la planta, materia seca, zinc en el suelo y en el tejido del cultivo de sésamo por efecto de la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2018.

<b>Factores Textura</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>MS Aérea (g maceta<sup>-1</sup>)</b>	<b>Zinc en el suelo (mg kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Zinc en el tejido (mg kg<sup>-1</sup>)</b>
Franco Arenosa	94,68 b	30,24 b	10,57 <sup>ns</sup>	39,30 <sup>ns</sup>
Arcillosa	104,73 a	39,00 a	10,49	42,60
Media	99,705	34,62	10,53	40,95
CV (%)	6,62	13,59	17,97	46,97

CV (%) Coeficiente de variación ns; Diferencias no significativas. Medias seguidas por diferentes letras en las columnas difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error.

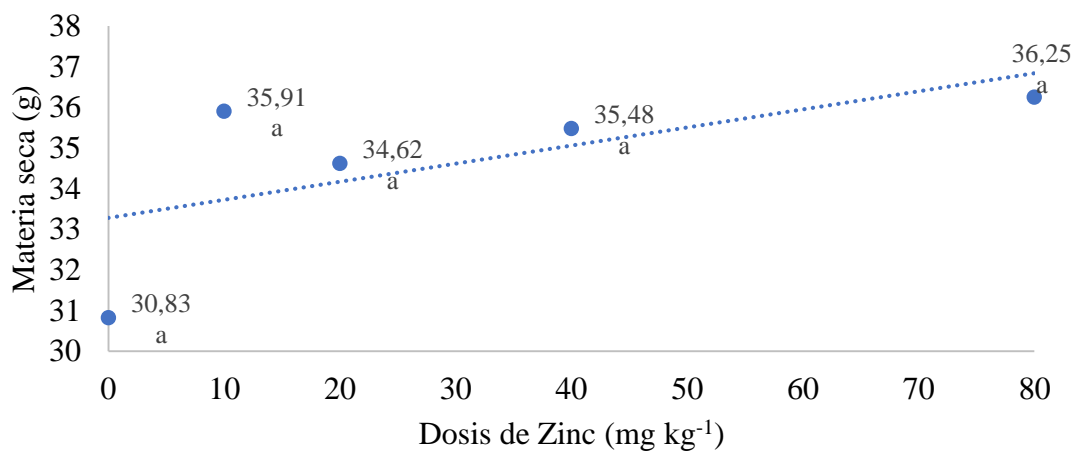
Según la Figura 9, la altura de la planta del sésamo no fue afectada de forma relevante por las dosis de Zn (Anexo 9), en tanto que si resulto significativamente diferente por efecto de la textura. Con la textura franco arenosa la altura promedio fue de 94,68 cm y con la textura arcillosa se obtuvo un incremento del 9,5 %. De manera similar a los resultados obtenidos al presente experimento, relacionando como cultivos oleaginosos, Gonçalves et al. (2010) con diferentes dosis de zinc que fueron de 2 y 4 kg ha<sup>-1</sup> aplicadas al suelo, demostraron que no interfieren en la productividad y componentes de la

producción de soja. Así mismo, para Larrosa y Solera (2015) durante su investigación concluyeron que el cultivo de girasol no presenta respuesta a la fertilización con zinc.



**Figura 9.** Altura de la planta del Sésamo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

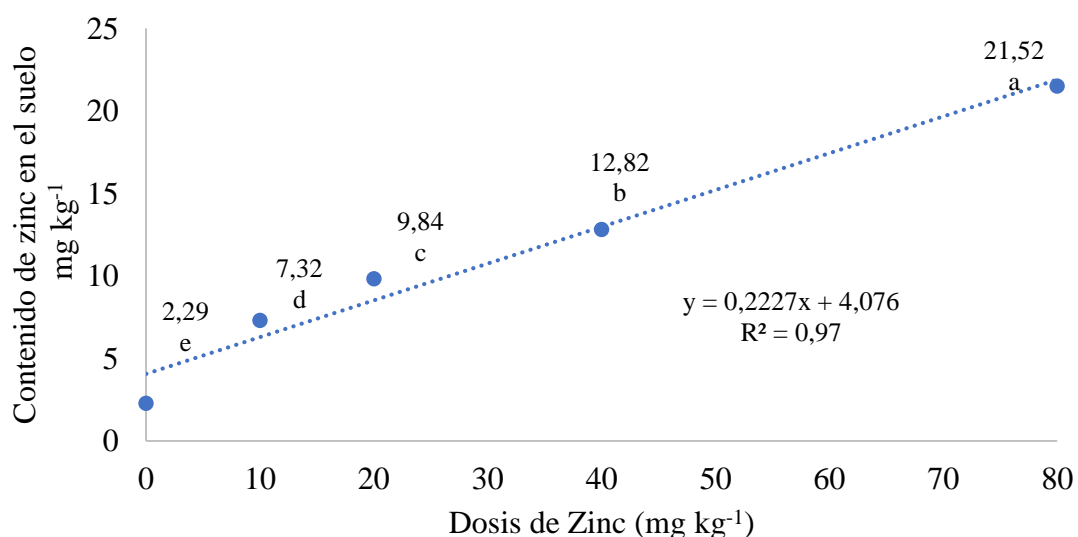
La producción de materia seca de la parte aérea tampoco resulto afectada por las dosis del elemento estudiado (Anexo 10). Por lo contrario, si tuvo respuestas significativas por efecto de la textura. La materia seca acumulada fue de 30,24 g en la textura franco arenosa y 39,00 g en la textura arcillosa, teniendo una diferencia de 8,76 g entre las dos texturas (Figura 10).



**Figura 10.** Materia seca acumulada por la planta del sésamo con la aplicación de dosis en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

Estos resultados concuerdan con Lima et al. (2010) que, estudiando el crecimiento y producción del sésamo en función al zinc, no encontraron respuestas significativas en la materia seca de la parte aérea por efecto de las dosis de zinc.

El efecto de dosis de Zn tuvo respuestas significativas con respecto al contenido de Zn en el suelo (Anexo 11). Con ajuste a la ecuación: (Contenido de zinc en el suelo =  $0,2227x + 4,076$ ,  $R^2 = 0,97$ ). Observándose que a mayor dosis mayor fue la acumulación de Zn en el suelo, con una diferencia de  $19,23 \text{ mg kg}^{-1}$  entre el testigo y la última dosis (Figura 11).

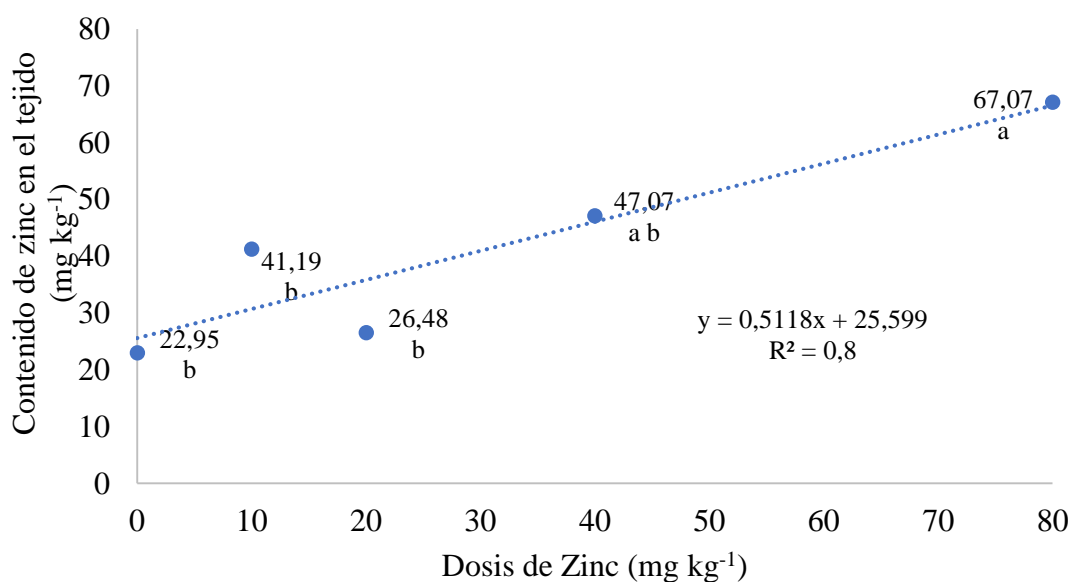


**Figura 11.** Contenido de Zinc en el suelo posterior a la cosecha de sésamo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

De acuerdo al presente experimento, resultados similares obtuvo Fageria (2000) estudiando los niveles adecuados y tóxicos en la producción de varios cultivos anuales con tratamientos con zinc de 0, 5, 10, 20, 80 y  $120 \text{ mg de Zn kg}^{-1}$  de suelo, obtuvo como conclusión que los niveles adecuados de zinc en el suelo variaron de  $0,5$  a  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  y los niveles tóxicos variaron de  $25$  a  $94 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo, ambos fueron determinados por el extractor Mehlich 1. En tanto que Buzzeti et al. (1991) aplicando dosis de zinc en

diferentes condiciones de acidez, observaron que la concentración de zinc en el suelo aumenta linealmente con la aplicación de dosis del nutriente.

Según la figura 12, la concentración de Zn en el tejido del sésamo tuvo respuestas representativas a nivel estadístico con la aplicación de dosis (Anexo 12). Obteniendo la mayor concentración  $68,08 \text{ mg kg}^{-1}$  con la dosis  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ , a comparación del testigo que se obtuvo una concentración de  $22,95 \text{ mg kg}^{-1}$ . La misma se ajustó a la siguiente ecuación: (Contenido de zinc en el tejido =  $0,5118x + 25,599$ ,  $R^2=0,84$ ). Observando así que, a mayor dosis de Zn aplicadas, mayor fue la acumulación de Zn en el tejido. Sin embargo, no hubo diferencias estadísticas con respecto al factor 1.



**Figura 12.** Contenido de Zinc en el tejido posterior a la cosecha de sésamo con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2018.

Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Teixeira et al. (2008) que estudiando las fuentes y dosis en el cultivo de frijol en diferentes épocas de siembra encontraron respuesta significativa del cultivo a la adición de dosis de zinc con respecto a la concentración foliar del mismo. Observaron que con la dosis de  $800 \text{ g ha}^{-1}$  de zinc se encontró una concentración de  $58 \text{ mg kg}^{-1}$  de zinc.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En las condiciones en que fue realizado el experimento y teniendo en cuenta los resultados obtenidos se puede concluir que:

La aplicación de dosis de zinc al suelo responde favorablemente en el cultivo de trigo, encontrándose aumento en la altura de la planta y materia seca.

La altura del cultivo de maíz aumenta con dosis crecientes de aplicación de zinc, no así, en la materia seca que no responde a la aplicación de las dosis. La altura y materia seca de la parte aérea del cultivo de sésamo no responde a la aplicación de zinc al suelo.

En los tres cultivos evaluados se constató que a mayor dosis de zinc aplicadas mayor es la acumulación de zinc en el suelo y mayor es la concentración del mismo en el tejido.

En el cultivo de trigo la textura influye en la altura de la planta y materia seca, sin embargo, no afecta en el contenido de zinc en el suelo y en el tejido. En cambio, en el cultivo de maíz la textura no afecta en ninguna de las variables. En el cultivo de sésamo la altura de la planta y materia seca resulto mayor en la textura arcillosa que en la franco arenosa, no obstante, el contenido de zinc en el suelo y en el tejido no resultaron afectados por la textura.

Se recomienda realizar más investigaciones sobre la fertilización a base de zinc en los tres cultivos estudiados y la aplicación de dosis mayores para la observación de los resultados en las plantas.

## 6. REFERENCIAS

- Aguiló, N; Bianco, AF; Cofanelli, PN; Mercol, F. 2015. Respuesta de trigo a la aplicación foliar con zinc en un suelo haplustol entico del departamento Río Cuarto. Tesis Ing. Agr. Córdoba, AR, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 8 p.
- Alloway, BJ. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. 2 ed. París, FR, s.e. 135 p.
- Alvarado, LC. 2002. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas. Tesis Msc. Marín Nuevo León, MX, Universidad Autónoma de Nuevo León, Subdirección de estudios de postgrado, Facultad de Agronomía. 103 p.
- Arrieche, I; Ramírez, R. 1999. Absorción de zinc y su relación con la materia seca del maíz y el zinc del suelo. *Agronomía Tropical* 49(3):261-273.
- Almendros, P. 2013. Efecto residual de complejos orgánicos de zinc en suelos ácidos y calizos en cultivos de judía (*Phaseolus vulgaris* L.) y lino (*Linum usitatissimum* L.) realizados en condiciones de invernadero: influencia de las diferentes condiciones de humedad. Tesis Dc. Madrid, ES, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 256 p.
- Barbosa, MP; Fageria, NK; Fonseca, JR. 1983. Tratamiento de semillas de arroz con micronutrientes sobre el rendimiento e calidad de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 18(3):219-222.
- Bataglia, OC. 1988. Micronutrientes: disponibilidade e interações. Reunión Brasileira de Fertilidade do Solo (17, 1988, Londrina, BR). Trabajos presentados. Campinas, BR: Embrapa. p 121-133.
- Buzetti, S; Muraoka, T; Orlando, A. 1991. Doses de zinco em diferentes condições de acidez de um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 26(6): 913-918.
- Calderón. 1997. Todo sobre quelatos: guía actualizada y completa sobre el uso de quelatos. Santa Fe de Bogotá, CO, 10:1-12.
- Camargo, O. 1988. Micronutrientes no solo. Reunión Brasileira de Fertilidade do Solo (17, 1988, Londrina, BR). Trabajos presentados. Campinas, BR: Embrapa. p 103-120.

- Castro, PR; Kluge, RA; Peres, LE. 2005. Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática. São Paulo, BR, Agronômica Ceres. 560 p.
- Castellanos, J; Rodriguez, DS. 2014. El zinc (ZN): en la nutrición de los cultivos (en línea). Consultado 23 abr. 2017. Disponible <http://www.engormix.com>
- Clark, RB. 1990. Physiology of cereals for mineral nutrient uptake, use and efficiency. San Diego, US, Academic Press. 131-209.
- Coutinho, EL; Da silva, EJ; Da silva, AR. 2007. Crescimento diferencial e eficiência de uso em zinco de cultivares de milho submetidos a doses de zinco em um latossolo vermelho. Acta Scientiarum Agronomy 29(2):227-234.
- Escudero, DJ; Ojeda, DL; Hernandez, AO; Sanchez, E; Ruiz, T; Sida JP. 2012. Anhidrasa carbónica y zinc en fisiología vegetal. Chilean Journal of Agricultural Research 72(1):1-14.
- Ernani, PR; Bittencourt, J; Valmorbida, J; Cristani, J. 2001. Influência de adições sucessivas de zinco, na forma de esterco suíno ou de óxido, no rendimento de matéria seca de milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo 25: 905-911.
- Fageria, NK. 2000. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 4(1): 390-395.
- Fageria, NK; Baligar, VC. 1997. Response of common bean, upland rice, corn, wheat, and soybean to soil fertility of an Oxisol. Journal of Plant Nutrition 20(10):1279-1289.
- Fageria, NK; Zimmermann, FJP; Baligar, VC. 1995. Interacciones de cal y fósforo sobre el crecimiento y la absorción por el arroz de las tierras altas, el trigo, el frijol común y el maíz en un oxisol. Journal of Plant Nutrition 18(11):2519-2532.
- Fageria, NK; Stone, LF. 2004. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. Pesquisa Agropecuária Brasileira 39(1):73-78.
- Ferraris, GN. 2014. Zinc y boro en cereales de invierno experiencias de la campaña 2013/14. Pergamino, AR, s.e. 8 p.
- Ferraris, GN; Couretot, LA; Ventimiglia, LA; Mouselgne, F. 2010. Respuesta al zinc en maíz utilizando diferentes tecnologías de aplicación en la región centro norte de Buenos Aires. Pergamino, AR, s.e. 4 p.
- Fretes, E; Rasche, JW; Fatecha, DA; Karaillo, JC; Aguayo, S. 2017. Épocas e fontes de aplicação de zinco, e seu efeito na cultura do trigo. Revista Cultivando o Saber 10(1):58-68.



- Galrao, EZ. 1988. Respostas das culturas aos micronutrientes boro e zinco. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo (17, 1988, Londrina, BR). Trabalhos apresentados. Planaltina, BR: Embrapa. p 205-235.
- Gambaudo, S; Sosa, N; Orcellet, J; Meroi, G; Ruffino, P. 2012. Evaluación de zinc en el cultivo de maíz. Buenos Aires, AR, s.e. 3 p.
- Garcia, AR. 2018. Evaluación de sulfato de zinc sobre el rendimiento de grano de maíz. Tesis Ing Agr. Escuintla GT, Universidad Rafael Landivar-Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. 53 p.
- Gonçalves, AC; Nacke, H; Garcia, N; Carvalho, EA; Ferreira, G. 2010. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fosforo, potássio e zinco. *Ciencia e Agrotecnologia* 34(3): 660-666.
- Hamilton, MA; Westermann, DT; James, DW. 1993. Factors affecting zinc uptake in cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* 57:1310-1315.
- Haslett, BS; Reid, RJ; Rengel, Z. 2001. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. *Annals of Botany* 87:379-386.
- Hernandes, A; Prado, R; Pereira, F; Moda, LR; Ichinose, JG; Guimarães, R. 2009. Desenvolvimento e nutrição do capim-tanzânia em função da aplicação de zinco. *Scientia Agraria* 10(5):383-389.
- Katyal, JC; Sharma, BD.1991. DTPA-extractable and total Zn, Cu, Mn, and Fe in Indian soils and their association with some soil properties. Elsevier Science Publishers B.V 49(1): 165-179.
- Larrosa, E; Solera, JM. 2015. Evaluación de la respuesta a la fertilización foliar con zinc en el cultivo de girasol. Tesis Ing Agr. Córdoba, AR, Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 27 p.
- Lima, VI; Macêdo, EN; Pires, J; Cavalcanti, RW; Rodrigues, J. 2010. Crescimento e produção de gergelim Cv. G3 em função de Boro e Zinco. Congresso Brasileiro de Mamona (4, 2010, João Pessoa, BR). Trabalhos apresentados. Campina Grande, BR: Embrapa. p 556-560.
- Lopes, AS. 1988. Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo (17, 1988, Londrina, BR). Trabalhos apresentados. Lavras, BR: Embrapa. p 133-177.
- López, O; Gonzalez, E; Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; Garcia, S; Rios, E. 1995. Estudio de reconocimiento de suelo, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Asunción, PY, s.e. 246 p.

- López, OE; Malavolta, E. 1974. Estudos sobre as relações entre zinco e fósforo na nutrição da planta. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz* 31:467-483.
- Madruça, L; Brião, MF; Torales, JC; Suarez, C; Souza, E. 2015. Resposta de plântulas de trigo (*Triticum aestivum* L.) al zinc aplicado en semillas. *Agrociencia* 49(6):636-623.
- Madruça, L; Cardoso, D; Ciciliano, L; Piccinin, AP; Souza, AC; Brião MF. 2012. Tratamento de sementes de trigo com zinco: armazenabilidade, componentes do rendimento e teor do elemento nas sementes. *Ciência Rural* 42(7):1141-1146.
- Manarin, SA. 2005. Combinações de doses de fósforo e de zinco em solução nutritiva a para o Campim-Tanzania. Tesis Msc. Piracicaba estado de são Paulo, BR. Universidade de são Paulo, Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”. 68p.
- Orioli, JV; Prado, RM; Luarte, CL; Amelio, DC; Martoreli, C; Barbosa, R; Hungaro, C. 2008. Modos de aplicação de zinco na nutrição e na produção de massa seca de plantas de trigo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8(1):28-36.
- Ortega, AE. 2001. Incidencia de la fertilización con cinc y nitrógeno y su relación con la producción de poroto. Tesis Msc. Rosario de la Frontera Salta, AR. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Escuela para Graduados Alberto Soriano. 100 p.
- Perea, E; Ojeda, D; Hernandez, A; Ruiz, T; Martinez, J. 2010a. Utilización de quelatos en la agricultura. *Synthesis*. Chihuahua, MX, s.e. 5p.
- Perea, E; Ojeda, D; Hernandez, A; Escudero, D; Martinez, J; Lopez, G. 2010b. El zinc como promotor de crecimiento y fructificación en el nogal pecanero. *Tecnociencia* 4(2) 64:71.
- Prado, R; Ferreira, E; Rinaldi, E; Gomes, AC; Souza, RS. 2007. Crescimento inicial e estado nutricional do trigo submetido a aplicação de zinco via semente. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 7(2) 22:31.
- Ritchey, KD; Frederick, A; Galrao, E; Russells, Y. 1986. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em latossolo vermelho-escuro argiloso. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 21(3): 215-225.
- Roca, N; Pazos, MS; Bech, J. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del norte de argentina. *Ciencia del Suelo* 25(1):1-12.
- Rodríguez, VA; Cabrera, SC; Martínez, GC; Chabbal, MD; Mazza, SM. 2014. Fertilización foliar con zinc y manganeso en huertos de naranjo “valencia late”. *Cultivos Tropicales* 35(4):1-18.
- Rosolem, CA; Franco, GR. 2000. Translocação de zinco e crescimento radicular em milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 24(1): 807-814.

- Salet, RL; Da silva, MI; Souza, O. 1990. Resposta do trigo ao tratamento de sementes com zinco e boro. *Revista Centro de Ciências Rurais* 20(1-2):89-90.
- 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. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Escuela en Argentina, Oliveros* 47:41-44.
- Strey, L; Nava, IA; Gonçalves, AL; Nacke, H; Schwantes, D. 2009. Produtividade do trigo em função da adubação residual da cultura da soja utilizando diferentes fontes de zinco. *Synergismus scyentifica* 4(1):1-3.
- Tavares, LC; Brunes, AP; Araujo, C; Robe, DA; Gadotti, GI; Amaral, F. 2015. Tratamento de sementes de cevada com zinco: potencial fisiológico e produtividade de sementes. *Ciências Agrarias* 36(2): 585-594.
- Tedesco, MJ; Gianello, C; Bissani, CA; Bohnen, H; Volkweiss, SJ. 1995. Análises de solo, plantas e otros materiais. *Boletin de la Sociedad Argentina de Botanica* 5: 1-170.
- Teixeira, IR; Borem, A; Guerra, A; Kikuti, H. 2008. Fontes e dosis de zinco no feijoeiro cultivado em diferentes épocas de sementeira. *Acta Scientiarum Agronomy* 30(2):255-259.
- Toribio, M; Moriones, F. 2015. La importancia del zinc en nuestros cultivos. *Investigación y Desarrollo. Profertil* 21:1-11.
- Uribe, ML. 2005. Cobre, cinc y boro en la biomasa aérea de *Eucalyptus nitens* (Dean et Maiden) Maiden bajo diferentes tratamientos de fertilización en la décima región. Tesis Ing For. Valdivia, CL, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 46 p.
- Yamada, T. 2000. Boro: aplicación de dosis suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas. *Informaciones Agronómicas* 90(41):8-13.

**ANEXOS**

**Anexo 1.** Análisis de varianza de la variable altura de la planta de trigo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura (cm)	50	0,68	0,60	5,18

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	995,28	9	110,59	9,27	<0,0001
Dosis	676,93	4	169,23	14,18	<0,0001
Textura	253,67	1	253,67	21,26	<0,0001
Dosis*Textura	64,68	4	16,17	1,36	0,2666
Error	477,25	40	11,93		
Total	1472,53	49			

**Anexo 2.** Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de trigo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Materia seca (g)	50	0,67	0,60	10,67

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	89,35	9	9,93	9,09	<0,0001
Dosis	47,77	4	11,94	10,93	<0,0001
Textura	29,65	1	29,65	27,14	<0,0001
Dosis*Textura	11,94	4	2,98	2,73	0,0422
Error	43,70	40	1,09		
Total	133,05	49			

**Anexo 3.** Análisis de varianza de la variable Zinc en el suelo de la planta de trigo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Zinc en el suelo (mg kg <sup>-1</sup> )	50	0,74	0,69	36,07

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1177,08	9	130,79	12,88	<0,0001
Dosis	1154,10	4	288,52	28,41	<0,0001
Textura	2,65	1	2,65	0,26	0,6120
Dosis*Textura	20,33	4	5,08	0,50	0,7354
Error	406,18	40	10,15		
Total	1583,26	49			

**Anexo 4.** Análisis de varianza de la variable Zinc en el tejido de la planta de trigo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Zinc en el tejido (mg kg <sup>-1</sup> )	50	0,90	0,88	25,69

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	22725,68	9	2525,08	41,82	<0,0001
Dosis	22159,20	4	5539,80	91,75	<0,0001
Textura	52,47	1	52,47	0,87	0,3568
Dosis*Textura	514,01	4	128,50	2,13	0,0951
Error	2415,26	40	60,38		
Total	25140,94	49			

**Anexo 5.** Análisis de varianza de la variable altura de la planta de maíz.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura (cm)	50	0,65	0,57	8,05

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2350,52	9	261,17	8,27	<0,0001
Dosis	2057,16	4	514,29	16,29	<0,0001
Textura	16,61	1	16,61	0,53	0,4725
Dosis*Textura	276,76	4	69,19	2,19	0,0874
Error	1263,15	40	31,58		
Total	3613,68	49			

**Anexo 6.** Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de maíz.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Materia seca (g)	50	0,42	0,29	16,13

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	703,23	9	78,19	3,19	0,0053
Dosis	257,29	4	64,32	2,63	0,0485
Textura	105,71	1	105,71	4,32	0,0441
Dosis*Textura	340,23	4	85,06	3,48	0,0158
Error	978,86	40	24,47		
Total	1682,09	49			

**Anexo 7.** Análisis de varianza de la variable Zinc en el suelo de la planta de maíz.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Zinc en el suelo (mg kg <sup>-1</sup> )	50	0,80	0,76	30,61

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1341,13	9	149,01	17,96	<0,0001
Dosis	1305,60	4	326,40	39,34	<0,0001
Textura	10,32	1	10,32	1,24	0,2713
Dosis*Textura	25,20	4	6,30	0,76	0,5579
Error	331,87	40	8,30		
Total	1672,99	49			

**Anexo 8.** Análisis de varianza de la variable Zinc en el tejido de la planta de maíz.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Zinc en el tejido (mg kg <sup>-1</sup> )	50	0,59	0,50	37,62

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10198,14	9	1133,13	6,47	<0,0001
Dosis	8712,88	4	2178,22	12,43	<0,0001
Textura	155,73	1	155,73	0,89	0,3514
Dosis*Textura	1329,54	4	332,38	1,90	0,1298
Error	7007,15	40	175,18		
Total	17205,30	49			

**Anexo 9.** Análisis de varianza de la variable altura de la planta de sésamo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Altura (cm)	50	0,50	0,39	6,62

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1763,75	9	195,97	4,50	0,0004
Dosis	406,93	4	101,73	2,34	0,0718
Textura	1263,99	1	1263,99	29,04	<0,0001
Dosis*Textura	92,83	4	23,21	0,53	0,7121
Error	1741,27	40	43,53		
Total	3505,02	49			

**Anexo 10.** Análisis de varianza de la variable materia seca de la planta de sésamo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Materia seca (g)	50	0,57	0,47	13,59

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1176,02	9	130,67	5,91	<0,0001
Dosis	194,25	4	48,56	2,20	0,0869
Textura	958,34	1	958,34	43,32	<0,0001
Dosis*Textura	23,43	4	5,86	0,26	0,8989
Error	884,92	40	22,12		
Total	2060,93	49			

**Anexo 11.** Análisis de varianza de la variable Zinc en el suelo de la planta de sésamo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Zinc en el suelo (mg kg <sup>-1</sup> )	50	0,93	0,92	17,97

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2053,67	9	228,19	61,09	<0,0001
Dosis	2043,97	4	510,99	136,81	<0,0001
Textura	1,63	1	1,63	0,44	0,5130
Dosis*Textura	8,07	4	2,02	0,54	0,7070
Error	149,40	40	3,73		
Total	2203,07	49			

**Anexo 12.** Análisis de varianza de la variable Zinc en el tejido de la planta de sésamo.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Zinc en el tejido (mg kg <sup>-1</sup> )	50	0,49	0,38	46,97

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14274,19	9	1586,02	4,29	0,0006
Dosis	12536,08	4	3134,02	8,47	<0,0001
Textura	135,70	1	135,70	0,37	0,5482
Dosis*Textura	1602,41	4	400,60	1,08	0,3781
Error	14802,53	40	370,06		
Total	29076,72	49			



**Anexo 13.** Tabla de los datos obtenidos de las variables evaluadas con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso en el cultivo de trigo. San Lorenzo, 2018.

Suelo	Dosis Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Materia seca (g)	Contenido de Zn en el suelo (mg kg <sup>-1</sup> )	Contenido de Zn en el tejido (mg kg <sup>-1</sup> )
F. arenoso	0	63,18	6,30	2,19	25,60
F. arenoso	0	61,77	8,80	8,75	25,64
F. arenoso	0	65,52	7,80	1,69	25,64
F. arenoso	0	63,68	7,00	1,55	25,64
F. arenoso	0	64,35	5,90	1,2	6,41
Arcilloso	0	49,85	9,30	1,76	6,41
Arcilloso	0	58,18	11,20	2,13	6,41
Arcilloso	0	56,63	8,70	1,69	12,82
Arcilloso	0	57,97	9,60	1,69	12,82
Arcilloso	0	54,25	10,50	1,55	12,82
F. arenoso	10	63,25	10,30	8,18	12,82
F. arenoso	10	73,28	8,50	5,79	12,82
F. arenoso	10	75,32	8,40	4,35	12,82
F. arenoso	10	68,17	10,80	4,37	12,82
F. arenoso	10	73,10	8,70	6,92	25,64
Arcilloso	10	65,82	10,80	4,35	25,64
Arcilloso	10	68,68	10,40	6,18	25,64
Arcilloso	10	65,23	10,30	5,79	25,64
Arcilloso	10	64,22	9,30	3,59	12,82
Arcilloso	10	62,03	9,60	5,79	12,82
F. arenoso	20	64,42	9,30	9,02	12,82
F. arenoso	20	72,53	9,80	9,53	25,64
F. arenoso	20	77,20	8,10	9,28	12,82
F. arenoso	20	69,58	6,00	7,25	32,05
F. arenoso	20	71,03	7,80	8,18	25,64
Arcilloso	20	72,35	11,90	7,57	25,64
Arcilloso	20	74,35	11,30	8,47	25,64
Arcilloso	20	64,80	10,90	7,57	12,82
Arcilloso	20	65,57	9,70	6,92	12,82
Arcilloso	20	63,82	10,70	7,88	6,41
F. arenoso	40	66,02	8,30	11,98	38,45
F. arenoso	40	72,25	8,40	12,37	38,45
F. arenoso	40	72,43	8,80	12,94	25,64
F. arenoso	40	71,82	9,90	21,87	25,64
F. arenoso	40	74,43	10,10	3,59	12,82
Arcilloso	40	66,08	10,40	9,78	25,64
Arcilloso	40	68,22	10,60	11,36	25,64
Arcilloso	40	67,37	9,60	11,36	25,64
Arcilloso	40	70,53	10,40	11,98	25,64
Arcilloso	40	63,73	10,30	11,78	19,23
F. arenoso	80	65,38	12,30	13,48	64,09
F. arenoso	80	69,23	11,50	12,94	51,27
F. arenoso	80	67,92	8,60	13,83	76,91
F. arenoso	80	67,37	12,40	13,48	76,91
F. arenoso	80	69,15	11,90	21,87	76,91
Arcilloso	80	66,98	12,20	20,74	64,09
Arcilloso	80	67,30	12,80	24,93	76,91
Arcilloso	80	69,68	11,80	13,83	76,91
Arcilloso	80	65,77	10,50	13,83	76,91
Arcilloso	80	60,35	11,40	12,56	76,91

**Anexo 14.** Tabla de los datos obtenidos de las variables evaluadas con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso en el cultivo de maíz. San Lorenzo, 2018.

Suelo	Dosis Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Materia seca (g)	Contenido de Zn en el suelo (mg kg <sup>-1</sup> )	Contenido de Zn en el tejido (mg kg <sup>-1</sup> )
F. arenoso	0	62,53	31,70	2,19	17,65
F. arenoso	0	60,63	30,10	1,96	17,65
F. arenoso	0	58,77	29,10	2,01	47,07
F. arenoso	0	56,43	31,20	2,07	17,65
F. arenoso	0	59,60	21,80	1,62	35,30
Arcilloso	0	57,53	28,10	2,01	23,54
Arcilloso	0	56,33	31,00	2,19	23,54
Arcilloso	0	63,50	28,10	1,83	17,65
Arcilloso	0	67,47	30,70	1,69	17,65
Arcilloso	0	46,03	18,00	1,47	17,65
F. arenoso	10	63,43	24,50	6,92	23,54
F. arenoso	10	73,03	17,80	6,92	23,54
F. arenoso	10	69,33	29,70	8,47	23,54
F. arenoso	10	59,97	21,40	6,74	23,54
F. arenoso	10	70,33	35,60	4,37	17,65
Arcilloso	10	68,37	32,20	7,25	11,77
Arcilloso	10	66,60	32,10	8,18	17,65
Arcilloso	10	69,37	30,00	7,88	11,77
Arcilloso	10	75,67	28,80	10,49	35,30
Arcilloso	10	63,43	27,80	8,47	23,54
F. arenoso	20	67,27	25,10	10,93	47,07
F. arenoso	20	70,73	38,10	6,56	23,54
F. arenoso	20	69,23	39,40	9,53	35,30
F. arenoso	20	65,13	31,00	8,18	35,30
F. arenoso	20	74,13	31,10	8,47	23,54
Arcilloso	20	64,10	41,80	10,71	23,54
Arcilloso	20	70,07	28,90	7,88	35,30
Arcilloso	20	76,80	36,20	10,49	35,30
Arcilloso	20	76,17	31,40	8,47	35,30
Arcilloso	20	65,03	24,50	7,88	35,30
F. arenoso	40	72,37	33,40	6,92	70,61
F. arenoso	40	68,03	39,70	9,78	52,95
F. arenoso	40	76,73	36,10	10,49	70,61
F. arenoso	40	76,00	31,10	10,71	35,30
F. arenoso	40	82,10	31,50	9,02	23,54
Arcilloso	40	85,37	37,30	9,02	23,54
Arcilloso	40	65,20	23,50	11,15	23,54
Arcilloso	40	83,20	29,30	10,02	35,30
Arcilloso	40	78,43	29,10	20,74	23,54
Arcilloso	40	78,77	23,00	12,17	47,07
F. arenoso	80	78,20	37,20	12,94	35,30
F. arenoso	80	81,63	38,70	13,83	82,37
F. arenoso	80	80,73	39,60	20,74	70,61
F. arenoso	80	84,43	38,40	22,93	35,30
F. arenoso	80	79,50	39,70	19,56	35,30
Arcilloso	80	70,23	27,30	19,56	70,61
Arcilloso	80	65,33	30,60	23,95	70,61
Arcilloso	80	82,67	31,20	13,74	35,30
Arcilloso	80	71,40	19,90	9,78	70,61
Arcilloso	80	64,37	29,50	19,56	70,61

**Anexo 15.** Tabla de los datos obtenidos de las variables evaluadas con la aplicación de dosis de zinc en suelos franco arenoso y arcilloso en el cultivo de sésamo. San Lorenzo, 2018.

Suelo	Dosis Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Materia seca (g)	Contenido de Zn en el suelo (mg kg <sup>-1</sup> )	Contenido de Zn en el tejido (mg kg <sup>-1</sup> )
F. arenoso	0	82,03	23,7	1,69	17,65
F. arenoso	0	96,48	31,4	3,59	47,07
F. arenoso	0	91,5	26,5	1,76	23,54
F. arenoso	0	94,30	30,7	2,19	23,54
F. arenoso	0	84,83	16,2	2,07	23,54
Arcilloso	0	97,50	26,8	2,07	5,88
Arcilloso	0	103,70	37,5	2,19	5,88
Arcilloso	0	98,95	35	1,55	11,77
Arcilloso	0	100,45	43,1	3,72	35,30
Arcilloso	0	97,70	37,4	2,07	35,30
F. arenoso	10	93,25	35,8	6,92	35,30
F. arenoso	10	86,28	27,1	6,92	58,84
F. arenoso	10	101	34,1	10,93	23,54
F. arenoso	10	94,45	28,8	8,33	35,30
F. arenoso	10	91,375	33,9	6,18	35,30
Arcilloso	10	109,25	38,5	6,56	58,84
Arcilloso	10	105,10	37	6,56	47,07
Arcilloso	10	106,70	43,3	8,47	35,30
Arcilloso	10	97,90	37,3	6,92	47,07
Arcilloso	10	97,65	43,3	5,36	35,30
F. arenoso	20	79,18	27,5	9,53	35,30
F. arenoso	20	97,15	37,5	10,02	11,77
F. arenoso	20	99,75	26,1	9,02	47,07
F. arenoso	20	87,35	21	9,53	29,42
F. arenoso	20	106,08	36,3	8,47	11,77
Arcilloso	20	112,68	46,4	10,71	23,54
Arcilloso	20	114,50	40,4	10,93	23,54
Arcilloso	20	114,18	35,5	9,78	23,54
Arcilloso	20	97,15	32,5	9,78	35,30
Arcilloso	20	105,98	43	10,6	23,54
F. arenoso	40	83,88	32	13,66	35,30
F. arenoso	40	95,75	28,4	12,94	64,72
F. arenoso	40	101,58	31,7	11,78	70,61
F. arenoso	40	104,63	35,9	11,98	23,54
F. arenoso	40	104,73	33,1	11,78	52,95
Arcilloso	40	104,35	40,5	12,08	35,30
Arcilloso	40	113,55	40,1	11,98	23,54
Arcilloso	40	109,73	35,8	11,98	47,07
Arcilloso	40	107,60	36,1	13,03	29,42
Arcilloso	40	98,30	41,2	16,94	88,26
F. arenoso	80	92,40	27	27,22	105,91
F. arenoso	80	97,60	37	21,87	47,07
F. arenoso	80	100,5	28	20,74	47,07
F. arenoso	80	91,98	36,2	18,3	23,54
F. arenoso	80	108,90	30,1	16,94	52,95
Arcilloso	80	106,23	40	24,93	41,19
Arcilloso	80	106,20	40,5	23,95	82,37
Arcilloso	80	102,00	42,6	21,87	105,91
Arcilloso	80	108,70	44,1	22,41	58,84
Arcilloso	80	102,30	37	16,94	105,91

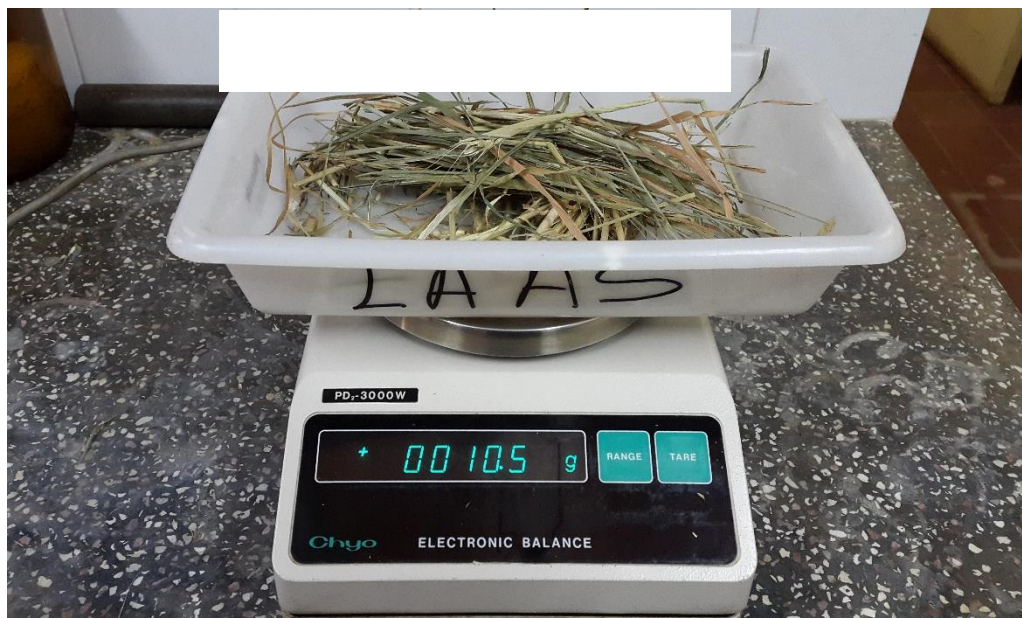
**Anexo 16.** Suelos de textura franco arenosa y arcillosa



**Anexo 17.** Tamizado y pesaje de suelos, 5 kg de suelo por maceta



**Anexo 18.** Pesaje de las dosis y aplicación de las mismas por tratamientos en macetas**Anexo 19.** Siembra de los cultivos

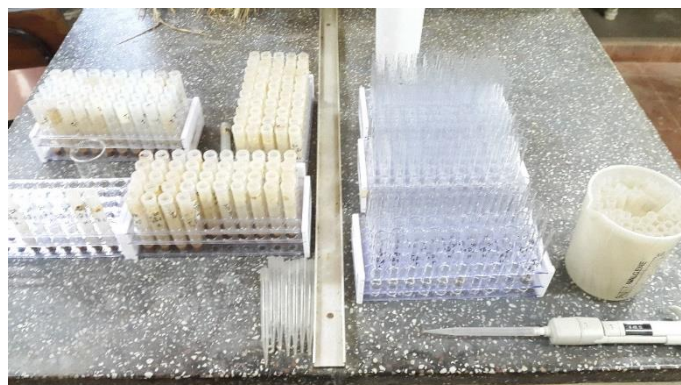
**Anexo 20.** Cosecha del cultivo de trigo**Anexo 21.** Pesaje de la materia seca de la parte aérea de la planta

**Anexo 22.** Evaluación de la altura de la planta**Anexo 23.** Proceso de evaluación de análisis de tejido de la planta en el laboratorio

**Anexo 24.** Equipo utilizado para la lectura de los análisis de suelo y tejido



**Anexo 25.** Proceso de evaluación del análisis de suelo en el laboratorio





**Anexo 26. Cultivo de trigo****Anexo 27. Cultivo de maíz**

**Anexo 28.** Cultivo de sésamo