

**FERTILIZACIÓN CÚPRICA EN EL CULTIVO DE TRIGO EN SUELOS DE  
DIFERENTES TEXTURAS**

**PABLO CÉSAR NÚÑEZ VALLEJOS**

Trabajo Final de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad  
Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero  
Agrónomo

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Carrera de Ingeniería Agronómica  
San Lorenzo, Paraguay  
2019

**FERTILIZACIÓN CÚPRICA EN EL CULTIVO DE TRIGO EN SUELOS DE  
DIFERENTES TEXTURAS**

**PABLO CÉSAR NÚÑEZ VALLEJOS**

Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. JIMMY WALTER RASCHE ALVAREZ

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. Dr. CARLOS ANDRES LEGUIZAMON ROJAS

Trabajo Final de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad  
Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero  
Agrónomo

Universidad Nacional de Asunción  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Carrera de Ingeniería Agronómica  
San Lorenzo, Paraguay  
2019

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

**FERTILIZACIÓN CÚPRICA EN EL CULTIVO DE TRIGO 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:** Pablo César Núñez Vallejos .....

**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 .....

San Lorenzo, 27 de diciembre de 2019

**DEDICATORIA**

A mi familia.

A mi esposa Jessica Zelaya e hija Antonella Nuñez.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios en primer lugar por haberme permitido culminar la carrera que me apasiona.

A mi familia por el apoyo incansable durante mis años de formación académica.

A mi Orientador el Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez, por el asesoramiento y apoyo al trabajo de tesis.

A mi Co-Orientador el Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas, por el asesoramiento y apoyo al trabajo de tesis.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción por la formación académica y los insumos necesarios para realizar el trabajo de investigación.

Al Conacyt por el apoyo del proyecto 14-INV-130 “Manejo sostenible de la fertilidad del suelo para la producción de alimentos”

A mis compañeros de la Facultad de Ciencias Agrarias por la ayuda recibida a lo largo de la carrera.

## **FERTILIZACIÓN CÚPRICA EN EL CULTIVO DE TRIGO EN SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS**

Autor: Pablo César Núñez Vallejos

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

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

### **RESUMEN**

El cobre es un micronutriente necesario en el proceso de la fotosíntesis, esencial para la respiración de las plantas y coadyuvante de éstas en el metabolismo de carbohidratos y proteínas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la fertilización con cobre sobre la producción de trigo en dos suelos de diferentes texturas. El experimento se realizó en el invernadero del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, FCA-UNA, sede San Lorenzo, Central, en el periodo comprendido entre los meses febrero a junio del 2019. Se utilizó un diseño completamente al azar en un esquema bifactorial, donde el Factor 1 fueron dos texturas de suelo (Franco arenoso y Arcilloso) y el Factor 2 consistió en cinco dosis de cobre (0, 2,5, 5, 7,5, 10 kg ha<sup>-1</sup>) con cinco repeticiones. Con la dosis de cobre hasta 10 kg ha<sup>-1</sup> se presentaron diferencias significativas en materia seca que tiende a disminuir por aumento de la dosis, en el caso del nivel de cobre en el tejido y en el suelo, a medida que se aumenta la dosis, aumenta la concentración del elemento, pero no fueron influenciados por el tipo de suelo. Al contrario de la altura que se encontró diferencia significativa en el Factor 1, donde fue superior en suelo arcilloso. En el suelo arcilloso las dosis de 0, 5 y 10 kg ha<sup>-1</sup> de cobre presentan diferencias respecto a las demás dosis y en suelo franco arenoso a medida que se aumenta la dosis de cobre, aumenta la altura del cultivo. Se recomienda no aplicar dosis superiores a 5 kg ha<sup>-1</sup> de cobre en el cultivo de trigo porque se podrían presentar efectos negativos.

Palabras clave: cobre, fertilización, trigo, franco arenoso, arcilloso.

## **FERTILIZAÇÃO CÚPRICA NA CULTURA DO TRIGO EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS**

Autor: Pablo César Núñez Vallejos

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

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

### **RESUMO**

O cobre é um micronutriente necessário no processo de fotossíntese, essencial para a respiração das plantas e seu adjuvante no metabolismo de carboidratos e proteínas. O objetivo deste trabalho de pesquisa foi avaliar o efeito da fertilização com cobre na produção de matéria seca, a altura e o nível de cobre no tecido em dois solos de diferentes texturas. O experimento foi realizado em casa de vegetação da Área de Solos e Ordenamento do Território, FCA-UNA, com base San Lorenzo, Central, no período de fevereiro a junho de 2019. Um delineamento inteiramente casualizado foi usado com esquema bifatorial, onde o fator 1 foram as duas texturas de solo (Franco arenosa e argila) e o fator 2 consistiu em cinco doses de cobre (0, 2,5, 5, 7,5 e 10 kg ha<sup>-1</sup>) com cinco repetições. Com a dose de cobre até 10 kg ha<sup>-1</sup>, houve diferenças significativas na matéria seca, que tendem a diminuir devido ao aumento da dose devido à toxicidade do elemento, no caso do nível de cobre no tecido e nos solos, como a dose é aumentada, a concentração do elemento aumenta, mas eles não foram influenciados pelo tipo de solo. Diferentemente da altura em que foi encontrada diferença significativa no Fator 1, onde foi maior no solo argiloso. No solo argiloso, as doses de 0, 5 e 10 kg ha<sup>-1</sup> de cobre mostram diferenças em relação às demais doses e no solo arenoso à medida que a dose de cobre é aumentada, a altura da cultura aumenta. Recomenda-se não exceder a aplicação de doses de 5 kg ha<sup>-1</sup> de cobre na cultura do trigo, pois há efeitos negativos

Palabras claves: cobre, fertilização, trigo, barro arenoso, argiloso.

## **CUPRIC FERTILIZATION IN WHEAT CULTURE IN SOILS OF DIFFERENT TEXTURES**

Author: Pablo César Núñez Vallejos  
Adviser: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Jimmy Walter Rasche Álvarez  
Co-Adviser: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Andrés Leguizamón Rojas

## SUMMARY

Copper is a micronutrient that is necessary in the process of photosynthesis, essential for the respiration of plants and their adjuvant in the metabolism of carbohydrates and proteins. The objective of this research work was to evaluate the effect of the fertilization with copper on the production of dry matter, the height and the level of copper in the fabric and in two soils of different textures. The experiment was conducted in the greenhouse of the Land and Land Management Area, FCA-UNA, San Lorenzo headquarters, Central, in the period between February and June 2019. A completely randomized design was used in a two-factor scheme, where (Factor 1) were the two soil textures (sandy loam and clay) and (Factor 2) consisted of five doses of copper (0, 2,5, 5, 7,5 and 10 kg ha<sup>-1</sup> of soil) with five repetitions. With the dose of copper up to 10 kg ha<sup>-1</sup> there were significant differences in dry matter that tends to decrease due to an increase in the dose, in the case of the level of copper in the tissue and in the soils, as the dose is increased, the concentration of the element increases, but they were not influenced by the type of soil. Unlike the height that a significant difference was found in Factor 1, where it was higher in clay soil. In the clay soil, the doses of 0, 5 and 10 kg ha<sup>-1</sup> of copper show differences with respect to the other doses and in sandy loam as the copper dose is increased, the height of the crop increases. It is recommended not to exceed the application of 5 kg ha<sup>-1</sup> of copper in the wheat crop because there are negative effects

Keywords: copper, fertilization, wheat, sandy loam, clayey.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
--------------------------	-----



<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iv</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	<b>xii</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 El cobre en el suelo.....	3
2.2 El cobre en la planta .....	4
2.3 Fertilización cúprica .....	5
2.4 Respuesta de cultivos al cobre.....	6
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>8</b>
3.1 Localización y caracterización del área experimental .....	8
3.2 Diseño experimental y tratamiento .....	8
3.3 Implementación y manejo de la investigación.....	8
3.3.1 Suelos utilizados .....	8
3.3.2 Siembra y manejo de cultivos .....	9
3.4 Variables evaluadas .....	10
3.5 Modelo de análisis de los resultados .....	11
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>12</b>
4.1 Masa seca.....	12
4.2 Altura de la planta.....	14
4.3 Concentración de cobre en el suelo y en el tejido foliar.....	16
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>18</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	18
5.2 RECOMENDACIONES .....	18
<b>6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	<b>19</b>
<b>7 ANEXOS</b> .....	<b>22</b>

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Características químicas de los suelos utilizados en el experimento de dosis de cobre en dos suelos con diferentes texturas. San Lorenzo, 2019. ....	9
Tabla 2. Masa seca de la parte aérea del trigo sembrado en macetas, por efecto de la aplicación de dosis creciente de cobre en dos tipos de suelos. San Lorenzo, 2019. ....	12
Tabla 3. Concentración de cobre en el suelo y en el tejido del cultivo de trigo sembrado en macetas, san Lorenzo, 2019. ....	16
Tabla 4 Análisis de la varianza (SC tipo III).....	27
Tabla 5 Análisis de varianza (SC tipo III) .....	27
Tabla 6 Análisis de varianza (SC tipo III) .....	28
Tabla 7 Análisis de varianza (SC tipo III) .....	28

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Masa seca de la parte aérea del trigo sembrado en macetas, con la aplicación cobre en suelo franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019.....	14
Figura 2. Altura de la planta de trigo de la parte aérea del trigo, sembrado en macetas, por efecto de la aplicación de cobre en suelo franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019. ....	15
Figura 3. Concentración de Cu en el suelo post cosecha con la aplicación de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019. ....	16
Figura 4. Concentración de Cu en tejido foliar de trigo en un experimento realizado en macetas, con la aplicación de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019. ....	17

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Secado, tamizado y preparación de macetas con suelos franco arenoso y arcilloso. ....	22
Anexo 2 Aplicación del sulfato cúprico en las macetas para posterior siembra de las semillas de trigo .....	24
Anexo 3 Estufa que se utilizó para secar las muestras de masa vegetal y el molino eléctrico con el fin de obtener el polvo para el análisis de cobre en el tejido. ....	25
Anexo 4 Análisis en el laboratorio de Suelos y Ordenamiento Territorial con el fin de conocer el nivel de cobre en el suelo y en el tejido.....	25
Anexo 5 Efecto de la aplicación de cobre en el cultivo de trigo en diferentes texturas de suelo. ....	26
Anexo 6 Análisis de varianza de la masa seca del trigo .....	27
Anexo 7 Análisis de varianza de altura de la planta .....	27
Anexo 8. Análisis de varianza de concentración de cobre en el suelo.....	27
Anexo 9 Análisis de varianza de concentración de cobre en el tejido foliar .....	28
Anexo 10. Cuadro general de datos de variables evaluadas con aplicación de dosis creciente de cobre en el cultivo de trigo en diferentes texturas de suelo.....	29

## **1 INTRODUCCIÓN**

El cobre es un elemento que se requiere en cantidades mínimas, ya que en altas concentraciones se vuelve tóxico, es fundamental en la catálisis de las reacciones que conducen a un aumento del estrés oxidativo en las plantas, produciendo daños en las membranas celulares, inhibición del alargamiento de las raíces, respiración celular y lignificación de las plantas, también afecta a la fotosíntesis (León y Sepúlveda 2012).

La disponibilidad del cobre varía de acuerdo a la textura del suelo, en suelos arcillosos existen menores posibilidades de deficiencia de cobre, a diferencia de suelos arenosos, en donde la deficiencia de cobre está relacionada a pérdidas por lixiviación.

Entre los principales factores influyentes en la disponibilidad de micronutrientes para la nutrición de las plantas se encuentran el pH y la materia orgánica, por lo que estos, al ser manejados correctamente permiten el incremento de los niveles del micronutriente en el suelo. Con relación al cobre, su disponibilidad disminuye a elevado valor de pH y alto tenor de materia orgánica.

Los niveles tóxicos del elemento ocurren en algunos suelos de forma natural como resultado de la actividad antropogénica en sistemas de producción no sostenible en el medio biológico lo que consecuentemente genera desórdenes fisiológicos en las plantas debido a que de micronutrientes esenciales pasan a ser tóxicos (Yrueala, 2005).

La investigación tuvo por objetivo general identificar el efecto de la aplicación de dosis de cobre sobre el cultivo de trigo, en suelos con diferentes texturas. Los objetivos específicos fueron: evaluar el efecto de la aplicación de cobre en el trigo y la concentración del elemento en el suelo y en el tejido foliar.

La hipótesis planteada fue que la aplicación de cobre producirá un aumento en la altura y producción de masa seca del cultivo de trigo y una mayor concentración en el suelo y en el tejido foliar.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 El cobre en el suelo**

El cobre no siempre se encuentra totalmente disponible en el suelo para ser absorbido por las plantas. Su disponibilidad disminuye con el aumento del pH, siendo muy bajo cuando este es mayor a siete y aumenta con la disminución del pH, este elemento está enlazado con la materia orgánica, formando quelatos. La cantidad y tipo de arcilla predominante afectan la retención del cobre. En suelos arcillosos la retención de cobre será mayor, mientras que en suelos arenosos éste será menor (Sierra 2016).

Rasche et al. (2017) clasificaron la disponibilidad de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn y B) en el departamento de Itapúa, determinando que el Cu en más del 95% de las muestras poseen valores clasificados como alto, sólo 4 distritos poseen valores inferiores a los clasificados como “medio” o “bajo”, por lo que dicho elemento, en general se encuentra de manera adecuada en la mayor parte de los suelos del departamento de Itapúa.

Ortiz y Rasche (2018) en una evaluación de los niveles de disponibilidad de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn y B) del departamento de Alto Paraná, a partir de 2.219 muestras, determinaron que la mayoría de los distritos presentan niveles clasificados como “alto” de cobre, variando entre 68% y 100% en Itakyry y Naranjal de las muestras, respectivamente, a excepción de San Cristóbal, que presentó niveles “bajos” en el 56% de sus muestras.

También en el Departamento de Caaguazú, considerando 1.341 resultados de muestras de suelo se observó que los niveles de Cu son clasificados como “alto”



en el 70% de las muestras del Departamento, siendo alto en la mayoría de los distritos. Sin embargo, en los distritos de Santa Rosa del Mbutuy, Carayao y José Domingo Ocampos la mayoría de sus muestras presentaron valores clasificados como “bajo” (Rolón et al. 2019).

## **2.2 El cobre en la planta**

El contenido de cobre en la planta es muy bajo, este elemento es absorbido mediante difusión, las concentraciones varían entre 2 a 75 ppm en base al peso seco. Una planta con cantidades normales contiene 5 a 20 ppm de cobre, por encima de 20 ppm puede ocasionar toxicidad, inhibiendo el crecimiento de la planta (Aparcana et al. 2014).

Según Orcutt y Nilsen, mencionados por León y Sepúlveda (2012) las plantas realizan sus funciones de forma normal con concentraciones de 5-30 mg kg<sup>-1</sup> de cobre en masa seca, siendo el nivel crítico entre 3 a 5 mg kg<sup>-1</sup> de cobre en masa seca.

El Cu desempeña un importante papel en la bioquímica y fisiología de las plantas. Aproximadamente el 70% del Cu contenido en las hojas están situados en los cloroplastos en la forma de proteínas complejas, como la plastocianina, actuando en la fase fotoquímica de la fotosíntesis, y también en la química, como activador enzimático (Malavolta 2006).

Según Aparcana et al. (2014), el cobre cumple una función importante en la respiración y en la lignificación incrementando la resistencia a enfermedades. También participa en el metabolismo de carbohidratos, en el proceso de asimilación de nitrógeno y en la fijación biológica de nitrógeno (FBN).

Los síntomas característicos de la carencia de cobre en los cultivos aparecen primero en las extremidades de las hojas al retoñar. Las hojas nuevas son de color verde pálido, acusan falta de turgencia y se enrollan y amarillean. Las hojas más viejas

se quedan lisas y se pliegan en la lígula. Las hojas se marchitan y se secan, quedando de color gris blanquecino (FAO 2017).

Diversos cultivos que crecen en un mismo suelo reaccionan de manera diferente a la deficiencia de cobre. Entre los cultivos poco sensibles se encuentran a la soja y arroz, entre los cultivos de sensibilidad media se encuentra al maíz y al cultivo muy sensible a la carencia de cobre se encuentra al trigo (FAO 2017).

Silva et al. mencionados por Pereira et al. (2009), afirman que las raíces de plantas de arroz y soja limitan la translocación de Cu para la parte aérea. Las raíces poseen diversos mecanismos de tolerancia al exceso de Cu, como inmovilización del Cu en la pared celular, exclusión o restricción de la absorción, compartimentación en la vacuola con complejos solubles, formación de quelatos en la interfase pared celular-membrana y fitoquelatinas, que quelatan metales pesados en las células, evitando daños intracelulares.

Lavado et al. (2001), investigaron la absorción de metales pesados y micronutrientes de las plantas de maíz, concluyeron que las raíces de las plantas presentan mayor contenido de Cu ( $48,9 \text{ mg kg}^{-1}$ ), comparándolas con las hojas, y esto fue relacionado, principalmente, a la baja translocación del Cu de la raíz a la parte aérea. La raíz actuó como un filtro natural reduciendo la transferencia del metal al resto de la planta.

### **2.3 Fertilización cúprica**

Según Kyrkby y Romhel citados por Tito (2014), se puede aplicar sulfato de cobre a los cultivos en el suelo o al follaje. Se recomienda la aplicación al suelo debido a que este tratamiento se requiere una sola vez, el cual puede durar varios años. Durante la etapa de macollamiento tardío, las aplicaciones foliares son más eficaces.

Lemos et al. (2012) en un experimento del año 2007, lograron demostrar que en un lote el rendimiento promedio del cultivo de trigo de  $4.200 \text{ kg ha}^{-1}$ , la fertilización

con Cu incrementó significativamente el contenido proteico de los granos de trigo en casi 1%, pero el rendimiento promedio del año 2008 fue inferior, con una media de 2.300 kg ha<sup>-1</sup> y no se observaron efectos significativos de la fertilización con Cu sobre el contenido proteico de los granos

Sin embargo, Malhi y Karamanos (2006) mencionan que en suelos orgánicos o arenosos deficientes en Cu de las praderas canadienses, no se han observado efectos de la fertilización tanto foliar como al suelo con este nutriente sobre el contenido proteico de los granos de trigo.

#### **2.4 Respuesta de cultivos al cobre**

Prystupa et al. (2013) afirman que, en diversas regiones del mundo, como Canadá, Australia y el oeste de Europa, se han observado respuestas a la fertilización con Cu en cereales de invierno, y que tanto las aplicaciones al suelo, como las foliares realizadas entre emergencia y espigazón pueden producir incrementos en el rendimiento.

Sainz Rozas et al. (2003) observaron respuestas a la aplicación conjunta de Zn y Cu en cultivos de trigo del sudeste Bonaerense, pero la respuesta a la aplicación conjunto de ambos nutrientes se asoció al contenido de Zn y no al de Cu del suelo.

En un experimento realizado entre los años 2013 y 2015, se constató que con dosis de Cu (0, 1, 2, 4 e 8 kg ha<sup>-1</sup> – fuente CuSO<sub>4</sub>) en un oxisol del municipio de Londrina, Estado de Paraná, en plantas de soja BRS 360RR y trigo BRS, las dosis de cobre dieron resultados significativos en el rendimiento del cultivo de trigo, las mayores producciones se obtuvieron con aplicación de 4,21 y 4,49 kg ha<sup>-1</sup> en los años 2013 y 2014, mientras que en la soja, los valores fueron de 3,97 y 4,23 kg ha<sup>-1</sup> entre 2014 y 2015 (Trovo et al. 2015).

Los mismos autores verificaron que las mayores producciones de granos de soja y trigo en sistema de siembra directa en los dos años agrícolas,

independientemente de la cosecha, se obtienen con la aplicación aproximada de 4 kg ha<sup>-1</sup> de Cu en la forma de CuSO<sub>4</sub>. El alto contenido de materia orgánica, posiblemente, elevó la cantidad de Cu para la obtención de la máxima productividad estimada.

Vaghetti et al. (2004) demostraron que tratando 100 g de semillas de maíz con dosis de 0,0; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0 g kg<sup>-1</sup> de sulfato de cobre, dio como resultado mayor porcentaje de emergencia y que el mismo disminuyó a medida que se aumentó la dosis de sulfato de cobre aplicada. La dosis de 5,09 g kg<sup>-1</sup> de cobre en semillas, limitó al máximo la capacidad de germinación.

Por su parte, Pereira et al. (2009) realizaron un experimento con un suelo de la clase oxisol de Marechal Cândido Rondon, región oeste del Estado de Paraná, con dos niveles de materia orgánica en el suelo (34,09 y 8,60 g dm<sup>-3</sup>), cinco dosis de Cu (0, 100, 200, 300 y 400 mg dm<sup>-3</sup>) en forma de sulfato de cobre, y cuatro tratamientos adicionales en cultivo de maíz, dando como resultados rendimientos decrecientes en la masa seca aérea en los tratamientos que recibieron las mayores dosis de Cu (300 y 400 mg dm<sup>-3</sup>), tal vez debido a la fitotoxicidad causada por el elemento.

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

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

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el invernadero del campo experimental y en el Laboratorio de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Ciudad de San Lorenzo. Esta investigación constituye 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), en el periodo comprendido entre febrero a junio del 2019.

#### **3.2 Diseño experimental y tratamiento**

Para el trabajo se utilizó el cultivo de trigo y se implementó un diseño experimental completamente al azar en un esquema bifactorial, donde el factor 1 fueron las dos texturas de suelo (Franco arenoso y Arcilloso) y el factor 2 consistió en cinco dosis de cobre (0, 2,5, 5, 7,5 y 10 kg ha<sup>-1</sup> de suelo) con cinco repeticiones, totalizando 50 unidades experimentales. La fuente de cobre que se utilizó fue el sulfato cúprico, que se aplicó por vez única antes de la implantación del cultivo de trigo.

#### **3.3 Implementación y manejo de la investigación**

##### **3.3.1 Suelos utilizados**

Los suelos utilizados se obtuvieron del distrito de Katueté (Canindeyú) y del distrito de San Lorenzo (Central) suelo Arcilloso y Franco arenoso respectivamente.

El primero es clasificado como Rhodic y se caracteriza por ser intemperizado y de baja fertilidad, con buen nivel de humedad durante el año, con textura más gruesa en la superficie, de color rojo oscuro. El suelo Franco arenoso clasificado como Rhodic Paleudult, según el sistema Soil Taxonomy, el cual se describe como suelo mineral, con horizonte iluvial de arcilla y baja saturación de bases, buena aireación y permeabilidad, con poca plasticidad y pegajosidad, además de una buena retención de agua en las capas más profundas (López et al. 1995).

**Tabla 1.** Características químicas de los suelos utilizados en el experimento de dosis de cobre en dos suelos con diferentes texturas. San Lorenzo, 2019.

Suelo	pH	MO	P	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> +H <sup>+</sup>	Clase Textural
		%	mg.kg <sup>-1</sup>	..... cmolc kg <sup>-1</sup> .....					
Katuete	4,5	2,6	0,19	0,38	0,45	0,04	0,00	1,25	Arcilloso
San Lorenzo	5,2	0,42	6,3	0,43	0,18	0,09	0,01	0,87	Arenoso

### 3.3.2 Siembra y manejo de cultivos

Los suelos fueron secados y tamizados (Anexo 1), luego se agregó urea, super fosfato triple, cloruro de potasio y cal agrícola para corregir la fertilidad, posteriormente fueron cargados en macetas de 5 kg y se aplicó el cobre en dosis creciente en los distintos tratamientos (Anexo 2), se utilizó como fuente el sulfato de cobre pentahidratado.

La siembra se efectuó el 01 de julio de 2019, se depositaron seis semillas de trigo en cada maceta. Luego se procedió al riego diario desde la germinación y emergencia de las plantas hasta la cosecha a principios de octubre.

Se realizaron observaciones diarias en caso de incidencia de plagas o enfermedades y se presentó un ataque de chinche, se procedió a su control respectivo, aplicando Imidacloprid al 70% en una dosis de 1,5 g por cada litro de agua, con aspersor manual.

### 3.4 Variables evaluadas

Para la evaluación de las variables, se utilizaron todas las unidades experimentales, tanto de plantas como de suelo.

**Altura de la planta:** se midió a los 60 días después de la siembra, utilizando una cinta métrica, desde el lugar donde el tallo toca el suelo hasta la punta de la hoja. Los resultados se expresaron en centímetros.

**Masa seca:** se cortaron las plantas de trigo de las unidades experimentales al ras del suelo y se introdujeron en una estufa a 65°C durante 48 horas (Anexo 3), luego se pesaron en una balanza electrónica de precisión de un decimal. Los resultados se expresaron en gramos.

**Concentración de cobre en tejido foliar:** Se molieron las muestras de tejido aéreo en un molino eléctrico hasta conseguir una textura fina para realizar la determinación del contenido de cobre (Anexo 3). El procedimiento fue de la siguiente manera según Tedesco et al (1995).

- a) Se preparó una solución extractora de 0,1M de ácido clorhídrico (se midió 83,3 mL de HCl concentrado y se disolvió en 10 L de agua destilada).
- b) Se agregaron la mezcla de 7 mL de ácido nítrico con 3 mL de ácido perclórico en tubos de ensayo.
- c) Se mantuvo la mezcla en el micro digestor durante 3 horas.
- d) En cada tubo se agregaron 50 mL de ácido clorhídrico.
- e) Mediante la espectroscopia de absorción atómica se realizaron las lecturas y los resultados de concentración de Cu se expresaron en  $\text{mg kg}^{-1}$  de suelo.

**Concentración de cobre en el suelo:** se procedió a la extracción del suelo luego de la cosecha de las plantas a una profundidad de 0-10 cm, para realizar el análisis correspondiente en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias (Anexo 4) siguiendo la metodología descrita por Tedesco et al. (1995).

- a) Se agregó 1g de suelo de cada muestra en tubos de ensayo con 10 mL de solución Mehlich 1.
- b) Los tubos fueron agitados durante 45 minutos.
- c) Las mismas muestras se introdujeron en una centrifugadora por 15 minutos.
- d) Se utilizaron 4 mL de solución extractante para la lectura correspondiente mediante la espectroscopía de absorción atómica y los resultados de concentración de Cu se expresaron en  $\text{mg kg}^{-1}$  de tejido.

### **3.5 Modelo de análisis de los resultados**

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANAVA) según modelo factorial, a fin de determinar diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. En las variables que presentaron diferencias significativas se realizó comparación de medias con el test de Tukey al 5% de probabilidad de error y análisis de regresión. Los valores recolectados y procesados se representaron en figuras y tablas (Anexo 6-9).



## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Masa seca

En la Tabla 2 se presentan los valores de masa seca de la parte aérea de la planta de trigo por efecto de los tipos de suelos y de las dosis aplicadas de cobre, donde se no observaron diferencias significativas entre los tipos de suelos analizados. Estos resultados coinciden con Sainz et al. (2003), en donde el tipo de suelo y la aplicación de Cu no produjeron cambios significativos de la materia seca acumulada en ninguno de los estadios fenológicos evaluados.

Por otra parte, sí se encontraron diferencias significativas entre las dosis de Cu aplicadas, coincidiendo con Pereira et al. (2009) quienes realizaron un experimento con distintas dosis de Cu en forma de sulfato de cobre en cultivo de maíz, dando como resultados una variación en la masa seca aérea de las plantas, posiblemente a la fitotoxicidad causada por el elemento.

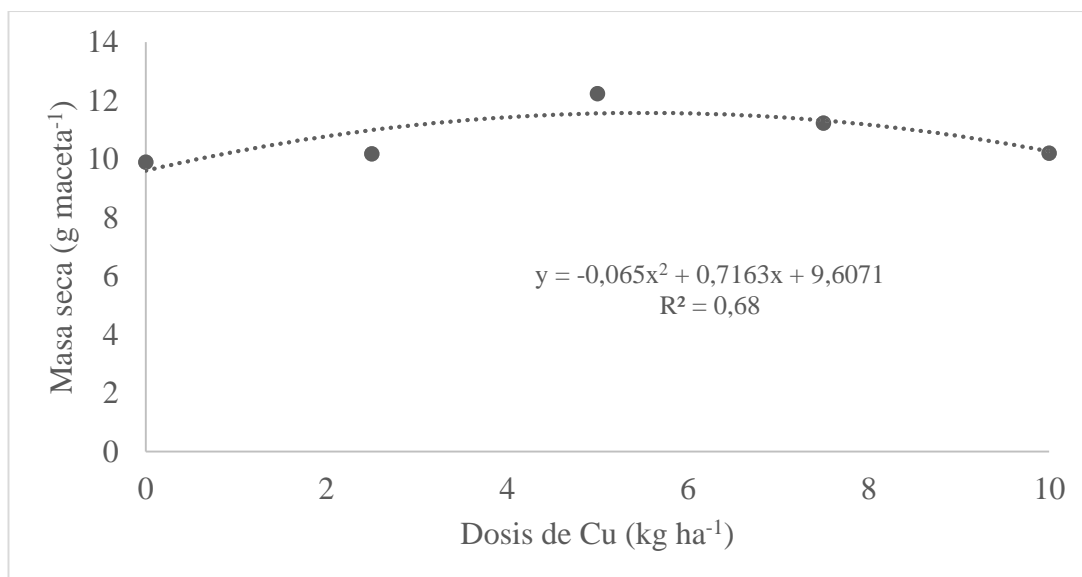
**Tabla 2.** Masa seca de la parte aérea del trigo sembrado en macetas, por efecto de la aplicación de dosis creciente de cobre en dos tipos de suelos. San Lorenzo, 2019.

Dosis de cobre (kg ha <sup>-1</sup> )	Masa seca (g)		
	Franco arenoso	Arcilloso	Promedio
0	9,6	10,2	<b>9,9 b</b>
2,5	10,6	9,7	<b>10,2 ab</b>
5	13,7	10,7	<b>12,2 a</b>
7,5	11,8	10,6	<b>11,2 ab</b>
10	10,2	10,1	<b>10,2 ab</b>
<b>Promedio</b>	<b>11,1 A</b>	<b>10,2 A</b>	

Medias seguidas por diferentes letras minúsculas en las columnas y letras mayúsculas en la línea difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.



En cuanto al efecto de la aplicación de cobre, se observan diferencias significativas en los tratamientos en donde el máximo peso estimado a partir de la ecuación del gráfico se obtuvo con la dosis de cobre de  $5,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de suelo, alcanzando  $11,6 \text{ g}$ , a partir del cual empieza a disminuir por posible toxicidad debido al exceso de cobre (Figura 1).



**Figura 1.** Masa seca de la parte aérea del trigo sembrado en macetas, con la aplicación cobre en suelo franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019.

La Figura 1 representa la dispersión existente entre masa seca de plantas de trigo y las dosis de Cu utilizadas, en la cual la correlación existente entre las mismas dio un valor de  $0,68$ . La materia seca fue en aumento hasta la dosis de  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cu ( $12,2 \text{ g}$ ) y luego fue disminuyendo. Este comportamiento se pudo haber debido a posibles efectos de toxicidad de este micronutriente en concentraciones mayores.

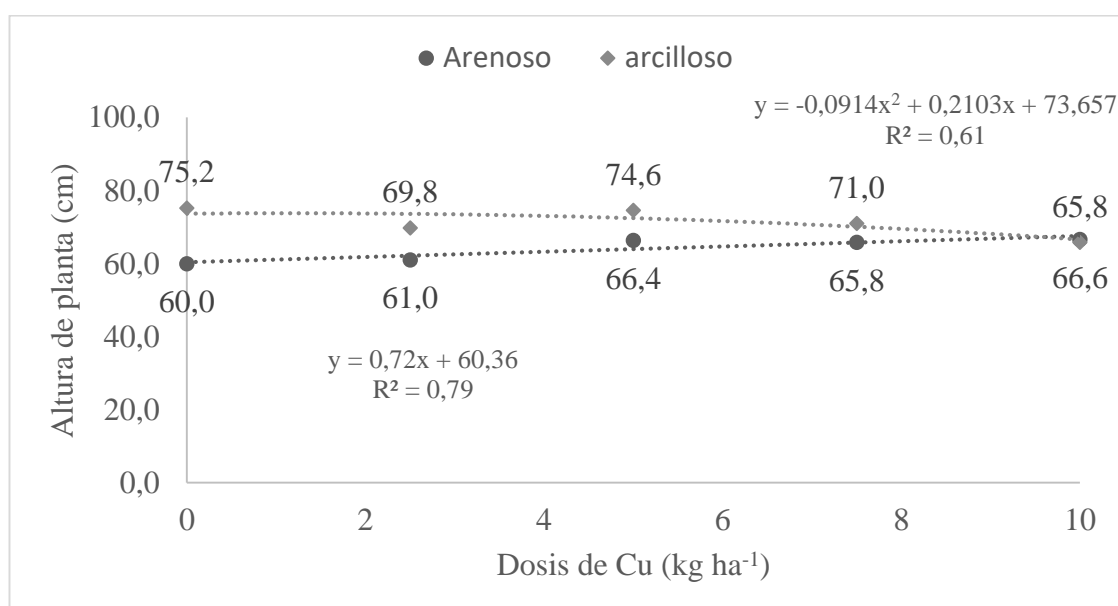
## 4.2 Altura de la planta

En la Figura 2 se muestran los valores de las alturas obtenidas por el tratamiento con cobre, donde se observan interacción entre factores.

En suelo arenoso, la altura de las plantas tuvo un comportamiento directamente proporcional al aumento de las dosis de Cu en el suelo, respondiendo de

manera lineal. En cuanto al suelo arcilloso inicialmente poseía más Cu que el suelo de textura arenosa, respondiendo a una ecuación de segundo grado, pudiéndose observar el crecimiento en altura de las plantas llegando a 73,8 cm de altura con la aplicación de 1,2 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, que posteriormente fueron disminuyendo con el aumento de dosis de Cobre.

La dosis de 10 kg ha<sup>-1</sup> de Cu (máxima dosis utilizada en el experimento), no hubo diferencia entre tipos de suelo con relación a la altura de las plantas.



**Figura 2.** Altura de la planta de trigo de la parte aérea del trigo, sembrado en macetas, por efecto de la aplicación de cobre en suelo franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019.

Se puede sostener entonces que existe una influencia en el crecimiento de altura de las plantas de trigo con la variación de las dosis de Cu dependiendo del tipo de suelo utilizado. Trabajos como los de Sonmez et al. (2006), quienes en su experimento utilizaron una mezcla de distintas texturas de suelo como sustrato para analizar los niveles de Cobre en el crecimiento y productividad del tomate, demostraron que con el aumento de niveles de Cu en la fertilización del suelo hubo una disminución de la altura de las plantas.

### 4.3 Concentración de cobre en el suelo y en el tejido foliar

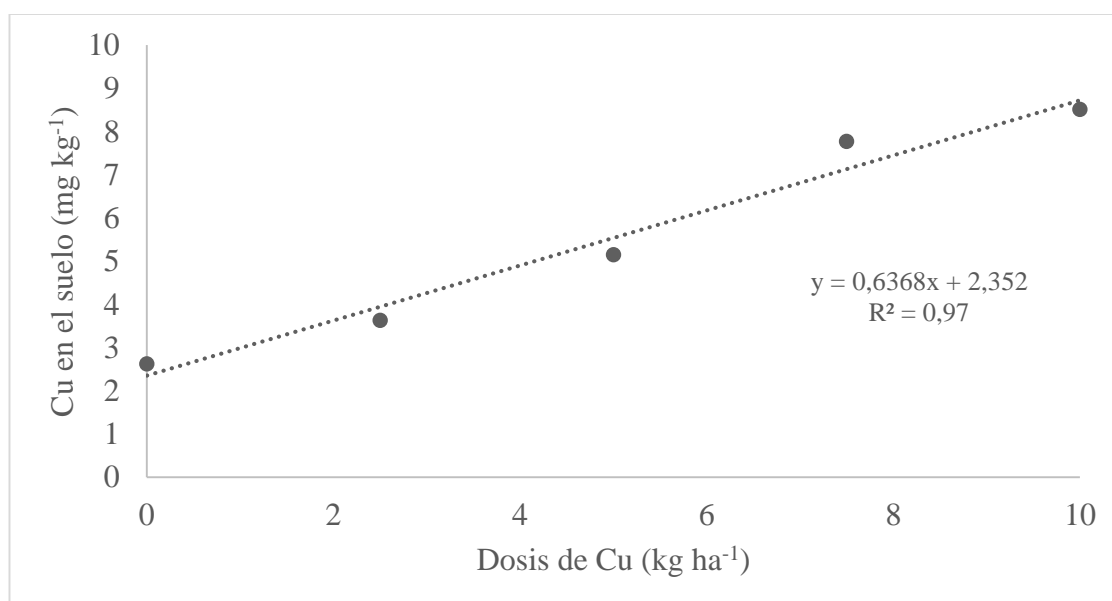
En la Tabla 3 se observan las concentraciones de Cu tanto en el suelo como en el tejido de las plantas de trigo por efectos de la aplicación de distintas dosis de fertilizante cúprico en suelo franco arenoso y arcilloso.

**Tabla 3.** Concentración de cobre en el suelo y en el tejido del cultivo de trigo sembrado en macetas, san Lorenzo, 2019.

Textura del suelo	Concentración de cobre en el suelo	Concentración de cobre en el tejido
	..... mg kg <sup>-1</sup> .....	
Franco Arenoso	5,90 a	14,26 a
Arcilloso	5,18 b	14,03 a
CV (%)	22,5	37,3

CV% Coeficiente de variación. Medias con diferentes letras en la columna difieren estadísticamente entre si por la prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error.

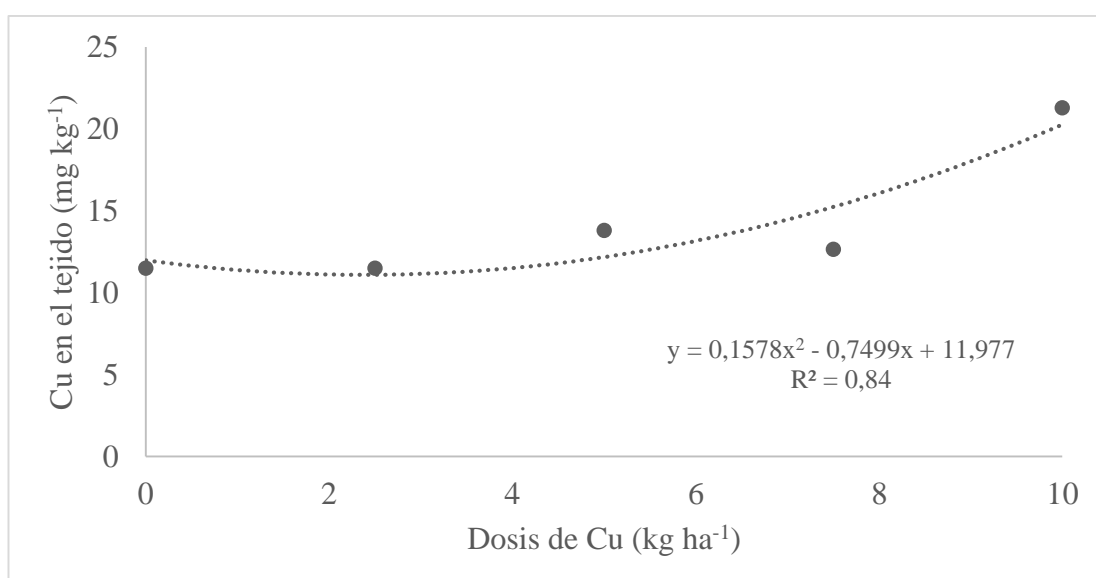
La concentración de cobre en el suelo mostró diferencia estadística significativa entre los tipos de suelo analizados, mostrando mayor valor en el franco arcilloso (5,90 mg kg<sup>-1</sup>) que en el arcilloso (5,18 mg kg<sup>-1</sup>). Por su parte, la concentración de Cu en el tejido vegetal no mostró significancia entre los tipos de suelos utilizados.



**Figura 3.** Concentración de Cu en el suelo post cosecha con la aplicación de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019.

Se observa que a medida que aumenta la dosis de cobre, aumenta la concentración del mismo en el suelo, ajustándose, respondiendo de manera lineal, con una correlación positiva muy elevada como era de esperarse ( $R^2 = 0,97$ ).

Un comportamiento similar obtuvo Moreira et al. (2015) donde encontraron respuestas en un suelo manejado con rotación de cultivo entre soja y trigo, con elevado contenido de materia orgánica, aplicando  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  de cobre, incluso cuando los residuos orgánicos actúan como quelantes lo que permite la capacidad de disminuir la disponibilidad de cobre para las plantas.



**Figura 4.** Concentración de Cu en tejido foliar de trigo en un experimento realizado en macetas, con la aplicación de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019.

Así mismo, en el caso de las concentraciones de cobre en el tejido, también se pudo observar un aumento del contenido de cobre a medida que se aplica el sulfato cúprico, pero este aumento se dio hasta cierto punto, donde ocurrió una disminución hasta cierto punto, y luego nuevamente aumentó con el incremento de dosis de cobre, por lo que responde a una ecuación cuadrática, mostrando una correlación de 0,84. Arévalo (2015), realizó análisis foliares de soja en donde encontró distintas concentraciones de cobre en la parte foliar, mostrando una distribución asimétrica positiva en sus resultados.

## **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

En las condiciones controladas bajo invernadero donde se llevó a cabo el trabajo de investigación se puede concluir que:

La aplicación de cobre en dosis creciente tiene efecto positivo en el cultivo de trigo hasta  $5 \text{ kg ha}^{-1}$ , superando la dosis mencionada, el cultivo se ve afectado por posible toxicidad debido al exceso del elemento.

La producción de masa seca es mayor en el suelo franco arenoso que en el arcilloso, en tanto a la altura de la planta sucede lo contrario, presentándose interacción entre los factores.

La concentración de cobre en el suelo y en el tejido foliar aumentan en función a las dosis de cobre aplicadas.

En cuanto a los efectos de las texturas franco arenosa y arcillosa, hay diferencias significativas para todas las variables medidas.

### **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda realizar más trabajos de investigación con variedades del mismo cultivo y comparar con otros cultivos bajos los efectos del mismo elemento y evaluar los resultados de rendimientos.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arévalo, ES. 2015. Evaluación del estado nutricional del cultivo de soja en Argentina utilizando análisis foliares. (en línea). Tesis doctoral. Universidade da Coruña. Coruña: BR. Consultado 12 mar 2019. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/61915632.pdf>
- Aparcana, A; Almeida, R; Navarro; H. 2014. Microelemento: el cobre. Fertilidad de suelos (en línea). Lima, PE. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <https://es.slideshare.net/Arturinho27/el-cobre-planta>
- Flaten, PR; Karamanos, RE; Walley, FL. 2004. Mobility of copper from sulphate and chelate fertilizers in soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 283-290.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. Situación alimentaria mundial (en línea). España, FAO. Consultado 12 oct. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Kirkby, E; Romheld V. 2007. Micronutrientes en la fisiología de las plantas, funciones, absorción y movilidad. *Informaciones agronómicas*. 1-5p.
- Lavado, RS; Porcelli, CA; Alvarez, R. 2001. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. *Soil Tillage Research* 62:55-60.
- Lemos, EA; Tellería, MG; Vergara, MA; Prystupa, P. 2012. Fertilización foliar con cobre: ¿Aumenta el contenido proteico de los granos en cebada cervecera? XIX Congreso latinoamericano de la ciencia del suelo, XXIII congreso argentino de la ciencia del suelo Mar del Plata, ARG. 6 p.
- León, JM; Sepúlveda, G. 2012. El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas (en línea). Caracas, VE. Consultado 11 jun 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/339/33925550003.pdf>
- López, O; González, E; Llamas, P; Molinas, A; Franco, E; García, S; Ríos, E. 1995. Estudio de reconocimiento de los suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial de la Región Oriental del Paraguay. Asunción, Banco Mundial. v. 1, 246p.



- Malhi, SS; Karamanos, RE. 2006. A review of copper fertilizer management for optimum yield and quality of crops in the Canadian Prairie provinces (en línea). Alberta, CA. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/P05-148>
- Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, BR, Agronômica Ceres. 638p.
- Moreira, A; Canizella, BT; Moraes, LAC. 2015. Disponibilidade de cobre na rotação soja-trigo em sistema de plantio direto. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Centro de Convenções, Natal, RN. P 1-3.
- Ortiz, CEA; Rasche, JW. 2018. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del departamento de Alto Paraná (1, 2018, Congreso de suelos del departamento de Alto Paraná, Minga Guazú, PY). Minga guazú, PY. v. 1, n° 1. 100p.
- Pereira, E; Saraiva, AC; Lana, MC. 2009. Fitodisponibilidade de cobre e produção de materia seca por plantas de milho em resposta a aplicação de dejetos de suínos (en línea). Maringá, BR. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n6/a36v33n6.pdf>
- Prystupa, P; Lemos, EA; Tellería, MG; Vergara, MA. 2013. Fertilización foliar con cobre: ¿aumenta el contenido proteico de los granos de cebada cervecera? (en línea). Buenos Aires, AR. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S185020672013000100011](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185020672013000100011)
- Rasche, JW; Ortiz, C; Cabral, ND; Fatecha, DA; González, AN; Quiñónez, LR. 2017. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del Departamento de Itapúa. (2, 2017, Congreso Paraguayo de Ciencias del Suelo y 4 Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos, Encarnación, PY). Encarnación, PY. 254p.
- Rolón, MP; Rasche, JW; Cabral, ND; Fatecha, DA. 2019. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del Departamento de Caaguazú. (3, 2019, Congreso Paraguayo de Ciencias del Suelo y 6 Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos, Caaguazú, PY) Caaguazú, PY. 509p.
- Sainz Rozas, H; Echeverría, HE; Calviño, PA; Barbieri, P; Redolatti, M. 2003. Respuesta del cultivo de trigo al agregado de zinc y cobre en el sudeste bonaerense. Balcarce, AR. Ciencias del Suelo 21: 52-58.
- Sierra, C. 2016. Una mirada a la relación del cobre, el suelo y las plantas (en línea). Santiago, CL. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <http://www.elmercurio.com/campo/noticias/analisis/2016/03/29/una-mirada-a-la-relacion-entre-el-cobre-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- Sonmez, S; Kaplan, M; Sonmez, N; Kaya, H; Uz, I. 2006. High leve lof copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants. Sci. Agric. 63 (3). 213-218.

- Tedesco, MJ; Gianello, C; Bissani, CA; Bohnen, H; Volkweiss, SJ. 1995. Análisis de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, BR. 172 p.
- Tito, LE. 2014. Efecto del sulfato de cobre pentahidratado sobre patógenos foliares en tres densidades poblacionales en el cultivo de arroz (en línea). Guayaquil, EC. Consultado 11 jul 2019. Disponible en <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/4188/1/Tesis%20%20en%20arroz%20Luis%20Edwin%20Tito%20Zea.pdf>
- Trovo, B; Moreira, A; Cardoso, LA. 2015. Disponibilidade de cobre na rotação soja-trigo em sistema de plantio direto (en línea). Londrina, BR. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142749/1/Disponibilidade-de-cobre.pdf>
- Vaghetti, A; Gonçalves, AC; Bernardi, E; Lana, MC. 2004. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre (en línea). Santa María, BR. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n6/a44v34n6.pdf>
- Yruela, I. 2005. Copper in plants. BR. J. Consultado 7 jun 2019. Disponible en [https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias\\_Naturales\\_y\\_Agropecuarias/vol2num2/Ciencias%20Naturales%20y%20Agropecuarias%20Vol%202%20Num%202%20Final\\_22.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol2num2/Ciencias%20Naturales%20y%20Agropecuarias%20Vol%202%20Num%202%20Final_22.pdf)

## 7 ANEXOS

**Anexo 1.** Secado, tamizado y preparación de macetas con suelos franco arenoso y arcilloso.





**Anexo 2.** Aplicación del sulfato cúprico en las macetas para posterior siembra de las semillas de trigo



**Anexo 3.** Estufa que se utilizó para secar las muestras de masa vegetal y el molino eléctrico con el fin de obtener el polvo para el análisis de cobre en el tejido.



**Anexo 4.** Análisis en el laboratorio de Suelos y Ordenamiento Territorial con el fin de conocer el nivel de cobre en el suelo y en el tejido



**Anexo 5.** Efecto de la aplicación de cobre en el cultivo de trigo en diferentes texturas de suelo.



**Anexo 6.** Análisis de varianza de la masa seca del trigo

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Masa seca	50	0,36	0,21	16,35

**Tabla 4** Análisis de la varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	68,49	9	7,61		0,0243
Factor 1	38,00	4	9,50		0,0267
Factor 2	11,23	1	11,23		0,0637
Factor 1*	19,26	4	4,81		0,2039
Factor 2					
Error	123,51	40	3,09		
Total	192,01	49			

**Anexo 7.** Análisis de varianza de altura de la planta

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Masa seca	50	0,56	0,47	7,02

**Tabla 5** Análisis de varianza (SC tipo III)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1166,98	9	129,66	5,76	<0,0001
Factor 1	158,48	4	39,62	1,76	0,1562
Factor 2	669,78	1	669,78	29,74	<0,0001
Factor 1*	338,72	4	84,68	3,76	0,0109
Factor 2					
Error	900,80	40	22,52		
Total	2067,78	49			

**Anexo 8.** Análisis de varianza de concentración de cobre en el suelo



Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Masa seca	50	0,82	0,77	22,48

**Tabla 6 Análisis de varianza (SC tipo III)**

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	274,41	9	30,49	19,66	<0,0001
Factor 1	261,10	4	65,27	42,10	<0,0001
Factor 2	6,44	1	6,44	4,15	0,0483
Factor 1*	6,87	4	1,72	1,11	0,3661
Factor 2					
Error	62,02	40	1,55		
Total	336,43	49			

**Anexo 9.** Análisis de varianza de concentración de cobre en el tejido foliar

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Masa seca	50	0,42	0,30	37,26

**Tabla 7 Análisis de varianza (SC tipo III)**

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	820,81	9	91,20	3,28	0,0044
Factor 1	671,97	4	167,99	6,05	0,0007
Factor 2	0,66	1	0,66	0,02	0,8784
Factor 1*	148,18	4	37,04	1,33	0,2743
Factor 2					
Error	1111,34	40	27,78		
Total	1932,15	49			

**Anexo 10.** Cuadro general de datos de variables evaluadas con aplicación de dosis creciente de cobre en el cultivo de trigo en diferentes texturas de suelo.

Dosis Cu	Textura	Rep	MS	Alt	Cu_suelo mg kg <sup>-1</sup>	Cu_tejido foliar mg kg <sup>-1</sup>
0	Arenoso	1	9,2	57	2,76	11,50
0	Arenoso	2	12,4	66	2,99	11,50
0	Arenoso	3	11,5	60	2,07	11,50
0	Arenoso	4	7,5	58	2,76	11,50
0	Arenoso	5	7,4	59	1,84	11,50
0	Arcilloso	1	11,5	76	2,76	11,50
0	Arcilloso	2	9,7	79	1,84	11,50
0	Arcilloso	3	10,6	75	1,84	11,50
0	Arcilloso	4	9,8	72	2,76	11,50
0	Arcilloso	5	9,4	74	4,60	11,50
5	Arenoso	1	9,4	58	4,60	11,50
5	Arenoso	2	10	64	2,30	11,50
5	Arenoso	3	12,7	65	3,22	11,50
5	Arenoso	4	11,3	62	1,84	11,50
5	Arenoso	5	9,8	56	2,76	11,50
5	Arcilloso	1	9,4	70	4,14	11,50
5	Arcilloso	2	10,5	68	4,60	11,50
5	Arcilloso	3	9,5	76	4,14	11,50
5	Arcilloso	4	10,2	68	4,37	11,50
5	Arcilloso	5	9	67	4,37	11,50
10	Arenoso	1	8,9	64	4,83	11,50
10	Arenoso	2	17	70	4,60	11,50
10	Arenoso	3	14,9	74	5,52	23,00
10	Arenoso	4	13,4	62	4,83	23,00
10	Arenoso	5	14,7	62	4,83	11,50
10	Arcilloso	1	13,3	72	5,52	11,50
10	Arcilloso	2	9,9	81	4,60	11,50
10	Arcilloso	3	10,7	67	4,60	11,50
10	Arcilloso	4	10,2	79	5,75	11,50
10	Arcilloso	5	9,4	74	6,44	11,50
20	Arenoso	1	10,6	65	8,28	11,50
20	Arenoso	2	11,5	63	6,44	11,50
20	Arenoso	3	10,7	65	8,28	11,50

20	Arenoso	4	11,7	66	5,52	23,00
20	Arenoso	5	14,7	70	5,98	11,50
20	Arcilloso	1	11,9	71	8,74	11,50
20	Arcilloso	2	12,3	81	8,28	11,50
20	Arcilloso	3	11,6	77	9,20	11,50
20	Arcilloso	4	9,3	66	8,74	11,50
20	Arcilloso	5	8	60	8,28	11,50
40	Arenoso	1	10,1	57	5,52	23,00
40	Arenoso	2	9,5	70	12,88	11,50
40	Arenoso	3	11,4	71	9,20	11,50
40	Arenoso	4	11	70	5,52	23,00
40	Arenoso	5	9,3	65	10,12	23,00
40	Arcilloso	1	7,2	62	8,28	46,01
40	Arcilloso	2	11,3	65	8,28	23,00
40	Arcilloso	3	12,6	68	8,28	23,00
40	Arcilloso	4	10,2	66	9,20	11,50
40	Arcilloso	5	9,4	68	7,82	17,25