

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

**HUGO TELLEZ RODRIGUEZ**

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  
Área de Suelos y Ordenamiento Territorial  
San Lorenzo-Paraguay

2019

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

**HUGO TELLEZ RODRIGUEZ**

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

Co-orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego A. Fatecha Fois

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  
Área de Suelos y Ordenamiento Territorial  
San Lorenzo-Paraguay

2019

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

FERTILIZACIÓN CÚPRICA EN EL CULTIVO DE SOJA EN SUELOS DE  
DIFERENTES TEXTURAS

Este Trabajo final de grado fue aprobado por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de Ingeniero Agrónomo, otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

Autor: Hugo Téllez Rodríguez .....

Miembros del Comité Asesor:

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

Co-orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego A. Fatecha Fois .....

Especialista invitado: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Leguizamon .....

Miembros de la Mesa Examinadora

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

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

Prof. Ing. Agr. (Dr.) Carlos Leguizamon .....

San Lorenzo, 23 de diciembre del 2019

DEDICATORIA

A la memoria de mi madre Mirta Rodríguez (†)

A mis hermanos Tomás, Leticia y Doris

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios en primer lugar por haberme guiado hasta aquí en cada paso para culminar esta hermosa carrera.

A mi madre Mirta que fue la persona que creyó en mi desde el momento que decidí optar por esta carrera, a quien le debo todo lo que soy.

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

A mi Co-Orientador el Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois, por la predisposición y apoyo al trabajo de tesis.

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción y al cuerpo docente por la formación profesional recibida, así como el apoyo mediante la utilización de materiales necesarios para el trabajo de campo y laboratorio.

A mis amigos de la Red Cristiana y Profesionales Cristianos de la Facultad de Ciencias Agrarias por las oraciones y apoyo recibido en toda esta travesía dentro de la carrera.

A todas aquellas personas que colaboraron en mi formación profesional y humana dentro y fuera del campus universitario.

# FERTILIZACIÓN CÚPRICA EN EL CULTIVO DE SOJA EN SUELOS DE DIFERENTES TEXTURAS

Autor: Hugo Téllez Rodríguez

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

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

## RESUMEN

El cobre es un elemento esencial para el crecimiento y reproducción vegetal, su deficiencia repercute negativamente en su producción, tanto en el rendimiento como en su calidad, a pesar de su escaso requerimiento por las plantas. El objetivo general de este experimento fue evaluar el efecto de la aplicación dosis de cobre sobre características agronómicas del cultivo de soja en dos suelos con texturas diferentes. El experimento se realizó en invernadero de la FCA/UNA, San Lorenzo, en el periodo de mayo 2018 a junio 2018. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo bifactorial, los factores evaluados fueron: dos texturas de suelo (Factor 1) y cinco dosis de cobre (0, 2,5; 5; 7,5 y 10 kg de Cu ha<sup>-1</sup>), con 5 repeticiones (Factor 2). Las variables evaluadas fueron materia seca de la parte aérea, contenido de Cu de la parte aérea, contenido de Cu en el suelo posterior a la cosecha. La aplicación del sulfato de cobre responde mejor en la producción de masa seca aérea de la soja cuando es aplicado en un suelo arenoso aplicando 7,5 kg de Cu ha<sup>-1</sup>, mientras que en el contenido de cobre en la parte aérea del cultivo y el contenido de Cu en el suelo post cosecha no presentaron diferencias estadísticas en las dos texturas de suelo en estudio. Se recomienda utilizar dosis más altas a las utilizadas en el presente experimento y realizarlas a campo a las dosis que presentaron respuestas en las variables de estudio.

**Palabras claves:** textura, dosis de cobre, deficiencia.

# FERTILIZAÇÃO CUPRICA NA CULTURA DA SOJA EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS

Autor: Hugo Téllez Rodríguez

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

Co-Orientador: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

## RESUMO

O cobre é um elemento essencial para o crescimento e a reprodução das plantas, sua deficiência tem um impacto negativo na produção, tanto no rendimento quanto na qualidade, apesar de sua baixa exigência pelas plantas. O objetivo geral deste experimento foi avaliar o efeito da aplicação da dose de cobre nas características agronômicas na cultura da soja em dois solos com diferentes texturas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da FCA/UNA, San Lorenzo, no período de maio de 2018 a junho de 2018. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com arranjo bifatorial, e os fatores avaliados foram: duas texturas de solo (Fator 1) e cinco doses de cobre (0, 2,5; 5; 7,5 y 10 kg de Cu ha<sup>-1</sup>), com 5 repetições (fator 2). As variáveis avaliadas foram matéria seca da parte aérea, teor de Cu da parte aérea, teor de Cu no solo pós-colheita. A aplicação de sulfato de cobre responde melhor na produção de massa aérea seca de soja quando aplicada em solo arenoso, aplicando 7,5 kg de Cu ha<sup>-1</sup>, enquanto o teor de cobre na parte aérea da cultura e o teor de Cu no solo pós-colheita não apresentaram diferenças estatísticas nas duas texturas do solo em estudo. Recomenda-se o uso de doses maiores que as utilizadas no presente experimento e realizá-las em campo nas doses que apresentaram respostas nas variáveis do estudo.

**Palavras-chave:** textura, dose de cobre, deficiência.

# CUPRIC FERTILIZATION IN SOY CULTURE IN SOILS OF DIFFERENT TEXTURES

Author: Hugo Téllez Rodríguez

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

Co- Adviser: Prof. Ing. Agr. (Dr.) Diego Augusto Fatecha Fois

## SUMMARY

Copper is an essential element for plant growth and reproduction, its deficiency has a negative impact on its production, both in yield and quality, despite its low requirement by plants. The general objective of this experiment was to evaluate the effect of copper dose application on agronomic characteristics of soybean cultivation in two soils with different textures. The experiment was conducted in the greenhouse of the FCA/UNA, San Lorenzo, in the period from May 2018 to June 2018. A completely randomized design was used with bifactorial arrangement, the factors evaluated were: two soil textures (Factor 1) and five doses of copper (0, 2.5; 5; 7.5 and 10 kg of Cu ha<sup>-1</sup>), with 5 repetitions (Factor 2). The variables evaluated were dry matter of the aerial part, Cu content of the aerial part, Cu content in the post-harvest soil. The application of copper sulfate responds better in the production of aerial dry mass of soybeans when applied in a sandy soil by applying 7.5 kg of Cu ha<sup>-1</sup>, while in the copper content in the aerial part of the crop and The Cu content in the post-harvest soil did not show statistical differences in the two soil textures under study. It is recommended to use higher doses than those used in the present experiment and perform them in the field at the doses that presented responses in the study variables.

**Keywords:** texture, copper dose, deficiency.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 El cobre en el suelo y su disponibilidad para la planta .....	3
2.2 Fertilización cúprica .....	6
2.3 El cobre en la planta .....	6
2.4 Niveles críticos y de toxicidad del cobre para las plantas .....	8
2.5 Respuesta de cultivos a fertilización con cobre.....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
3.1.Localización y caracterización del área experimental.....	11
3.2.Diseño experimental y tratamientos .....	12
3.3.Siembra y manejo del cultivo .....	13
3.4.Variables de medición .....	13
3.5.Métodos de control de calidad.....	14
3.6.Método de análisis de datos.....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4.1. Materia seca aérea, contenido de cobre en la parte aérea y contenido de cobre en el suelo post-cosecha del cultivo de soja. ....	15
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	21
5.1.CONCLUSIONES .....	21
5.2.RECOMENDACIONES .....	21
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
7. ANEXOS.....	25

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Características químicas de los suelos utilizados en el experimento con aplicación de dosis de cobre en dos suelos de diferentes texturas. San Lorenzo 2018 .....	12
<b>Tabla 2.</b> Materia seca aérea (MSA), contenido de cobre en la parte aérea y contenido de cobre en el suelo post-cosecha del cultivo de soja con aplicación de dosis de cobre, en suelos arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2019.....	15

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Localización del área experimental de la investigación con dosis de cobre en el cultivo de soja en suelos de diferentes texturas, 2019 .....	11
<b>Figura 2.</b> Masa seca aérea de la planta de soja con la aplicación de dosis de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2019 .....	17
<b>Figura 3.</b> Contenido de Cu en la parte aérea de la planta de soja con la aplicación de dosis de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019.....	18
<b>Figura 4.</b> Contenido de Cu en el suelo post cosecha de la planta de soja con la aplicación de dosis de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019. ....	20

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Página</b>
<b>Anexo 1.</b> Tabla general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de cobre en suelos de diferentes texturas en el cultivo de soja. San Lorenzo, Central, 2019 .....	26
<b>Anexo 2.</b> Análisis de varianza de la variable masa seca de la parte aérea de la planta de soja .....	28
<b>Anexo 3.</b> Análisis de la varianza del contenido de cobre de la parte aérea de la planta de soja .....	28
<b>Anexo 4.</b> Análisis de la Varianza del contenido de cobre en el suelo .....	29

## **1. INTRODUCCIÓN**

El cobre es un elemento esencial para el crecimiento y reproducción vegetal, su deficiencia repercute negativamente en la producción, tanto en el rendimiento como en la calidad, a pesar de las pequeñas cantidades requeridas por las plantas.

La carencia de cobre está relacionada con las propiedades del suelo, donde, el pH elevado ocasiona la retención del elemento, fijándolo en forma no disponible para las plantas. Los suelos arenosos poseen por naturaleza bajos contenidos de cobre y por lo general son los que más frecuentemente resultan en deficiencias en este nutriente. Contrariamente, los suelos arcillosos normalmente presentan una disponibilidad mayor, por el mayor contenido de materia orgánica, arcilla y la actividad microbiana. Estas propiedades del suelo que controlan la disponibilidad del elemento.

La fertilización es realizada con el objetivo de satisfacer los requerimientos del cultivo cuando el suelo no puede proveerlos y así aumentar los rendimientos. En la actualidad la investigación sobre cobre en Paraguay se ha limitado a las aplicaciones foliares, por ello, surge la necesidad de determinar los efectos del Cu sobre el cultivo aplicando el mismo directamente al suelo y ajustar a niveles adecuados, de acuerdo a la respuesta del cultivo de soja.

Por ende, este trabajo tiene por objetivo general evaluar el efecto de la aplicación de dosis de cobre sobre características agronómicas del cultivo de soja en dos suelos de diferentes texturas. Los objetivos específicos son: determinar el efecto de la aplicación de Cu sobre la materia seca de la soja, evaluar el contenido de cobre

de la parte aérea de la soja y determinar la disponibilidad de Cu en el suelo de texturas diferentes en función a las dosis de Cu aplicadas en el suelo.

Como hipótesis se plantea que con la aplicación de dosis de cobre se obtendrá mayor acumulación de materia seca, así como el aumento en el contenido de cobre de la parte aérea de la planta. Además de una mayor disponibilidad del elemento en el suelo, siendo mayor en el suelo de textura franco arenosa que en el suelo arcilloso.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 El cobre en el suelo y su disponibilidad para la planta**

La naturaleza del suelo juega un papel fundamental en la disponibilidad de cobre. Las tres causas de deficiencia de cobre son: la baja concentración del elemento en el suelo, la presencia de una forma química que no puede ser utilizada por la planta, y efecto antagonico entre distintos elementos (Roca et al. 2007).

En suelos carbonatados y salinos la disponibilidad de los microelementos en el suelo no depende únicamente de los contenidos elevados de metales totales sino también de parámetros edáficos que controlan la fuerte adsorción en los coloides (Arévalo 2015).

En suelos de carácter básico, los microelementos metálicos precipitan rápidamente hacia formas insolubles no asimilables por la planta, si se aportan en forma mineral, por lo que habría que recurrir al empleo de quelatos. Un quelato es un compuesto químico constituido por una molécula de naturaleza orgánica que rodea y se enlaza por un ión metálico, protegiéndolo de cualquier acción exterior, de forma que evita su hidrólisis y precipitación (Lucena 2009).

La deficiencia de cobre se registra con menor frecuencia en suelos de regiones tropicales, así como, es común encontrar deficiencia de cobre en regiones áridas y semiáridas. En el caso del cobre, la alta disponibilidad alcanza los 1 m de profundidad, el cobre disponible es el metal biosimilable que se moviliza y se desplaza a lo largo del perfil con mayor facilidad, la movilidad en el caso del cobre es mayor en los horizontes subsuperficiales, indicando que las condiciones más favorables para el

desplazamiento se producen fuera del horizonte A, rico en material orgánico (Roca et al. 2007).

El contenido de materia orgánica, arcilla y la actividad microbiana son propiedades del suelo que controlan la disponibilidad de los metales. El porcentaje de materia orgánica es el factor determinante en la presencia y distribución del cobre en el suelo, siendo el horizonte superficial el de mayor acumulación. La agricultura continua ha disminuido los niveles de materia orgánica de los suelos, lo que junto con la nula reposición de cobre podría generar deficiencia de este nutriente (Arévalo 2015).

La baja disponibilidad del Cu puede deberse en muchos casos en que la mayoría del metal se encuentre atrapado en las estructuras cristalinas, o bien, adsorbido en los coloides del suelo sin posibilidad de disponibilidad para las plantas. El principal factor de la baja concentración de Cu en la solución del suelo es la adsorción (Arévalo 2015).

El Cu es absorbido por la planta, principalmente, en la forma de  $\text{Cu}^{2+}$ , siendo que altas concentraciones de fósforo, molibdeno y zinc puede ocasionar la reducción de la tasa de absorción del referido elemento. Por otro lado, altas concentraciones de cobre en el medio, puede afectar la absorción de hierro, molibdeno y zinc (AACCS 2006).

El pH del suelo también reduce la disponibilidad de cobre; un pH neutro disminuye el cobre disponible en el suelo. Aunque la deficiencia de cobre puede estar presente en un intervalo de pH de 5,5 a 6,8 (Agronomic Research 1996), difiriendo con AACCS (2006) que menciona una faja adecuada de pH entre 5,0 y 6,5. En los suelos neutros y alcalinos el cobre es principalmente retenido por los complejos superficiales (Arévalos 2015). El pH elevado de los suelos ocasiona la retención del elemento, fijándolo en forma no disponible para las plantas (Fancelli, 2006).

Según Fatecha (2004) a partir del análisis de pH de los suelos se han identificado en la Región Oriental del Paraguay, 91 distritos con reacción

moderadamente ácida (pH 5,5 – 5,9), constituyendo el 43% del total; 90 distritos (42%) con reacción ácida (pH 5,0 – 4,5), 19 distritos (9%) con reacción ligeramente ácida (pH 6,0 – 6,4); 11 distritos (5%) con reacción fuertemente ácida (pH 4,5 – 5,9), y 3 distritos (1%) con reacción neutra (pH 6,5 – 7,5), encontrándose suelos mayoritariamente ácidos, en rangos donde el cobre se encuentra disponible para la planta.

No existe consenso sobre los valores críticos de Cu, según Eyherabide et al. (2012) en cuanto a la disponibilidad de cobre en lotes bajo agricultura, califica rangos de concentraciones menores a  $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$  de muy baja disponibilidad, de  $0,3$  a  $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$  baja a media y mayores a  $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$  alta concentración.

Raij et al. (1996) clasifican los niveles de cobre como “Alto”, “Medio” y “Bajo” cuando estos valores de Cu se encuentran con  $>0,8$ ;  $0,2$  a  $0,8$  y  $<0,2 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente. Por otro lado, el Manual de Química y Fertilidade de RS/SC clasifica los valores de Cu como “Alto”, “Medio” y “Bajo” cuando estos valores de Cu se encuentran con  $>0,4$ ;  $0,15$  a  $0,4$  y  $<0,15 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente. Mientras que el Manual de Adubacao e Calagem en el 2004 menciona que para el cultivo de soja en el mismo Estado clasifican de 10 a 30 en el tejido foliar

Por otra parte, el Manual de Adubacao e Calagem para o Estado do Paraná clasifica los Valores de Cu como “muy bajo”, “bajo”, “medio”, “alto” y “muy alto” cuando los valores de Cu se encuentran  $<0,2$ ;  $0,2$  a  $0,5$ ;  $0,6$  a  $0,8$ ;  $0,9$  a  $3,0$  y  $>3,0 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente mientras que el valor para evitar es  $>20$ .

Según Rasche et al. (2017) mencionan que el cobre a nivel distrital en el Departamento de Itapúa es clasificado como “alto” con un 95% de resultado de muestras, al igual que (Rasche & Ortiz, 2018) clasifican al cobre en el Departamento de Alto Paraná también como “alto” variando de entre un 68 a 100%, también en un estudio realizado por (Rolon et al. 2019) en el Departamento de Caaguazú el Cu con el mas de 70% de las muestras son clasificados como “altos” a excepción de los distritos de Santa Rosa del Mbutuy, Carayao y José Domingo Ocampos que presentan valores clasificados como bajos en la mayoría de sus muestras.

## **2.2 Fertilización cúprica**

En la actualidad existen numerosos tipos de quelatos autorizados. Entre las principales fuentes se cita: sulfato de cobre 25%, sulfato de cobre monohidratado 35%, Quelato-HEDTA 5%-HEDTA ó HEEDTA: ácido Hidroxi-Etilén-Diamino-Triacético, Quelato-EDTA 13% EDTA: ácido Etilén-Diamino-Tetraacético. La eficacia de dichos quelatos es en función de su capacidad para mantener el ión en disolución, disponible para la planta (Lucena 2009).

El sulfato de cobre pentahidratado es una sustancia química muy versátil y con una amplia gama de usos industriales. Muy valorado por empresas agroquímicas; es un insumo esencial junto a otros aditivos en la fabricación de fungicidas y bactericidas ya que se aplica en el control preventivo de enfermedades fungosas y bacterianas en árboles frutales y vides. También es utilizado en los sistemas de riego en tratamientos de aguas, repelente de babosas y caracoles y como fertilizante de suelos deficientes en cobre. Está disponible en las siguientes formas y/o estados: granulado, polvo seco, polvo mojable, líquido y concentrado (Díaz 2015).

No se recomienda su aplicación en cultivos o variedades sensibles al cobre, en especial con tiempo frío y húmedo. Los tratamientos con estos productos deben cubrir lo mejor posible el sustrato que se trate de proteger; los tratamientos en vegetación cubrirán bien todo el follaje sin que gotee. Este producto puede ser aplicado a todo tipo de cultivo y en cualquier zona climática, en condiciones naturales de invernaderos. Se puede aplicar sulfato de cobre a los cultivos en el suelo o al follaje. La aplicación en el suelo es el más preferido debido a que requiere tratamiento solo una vez, el cual puede durar muchos años. Las aplicaciones foliares son más eficaces cuando se aplican durante la etapa de macollamiento tarde (Tito 2014).

## **2.3 El cobre en la planta**

El cobre tiene la función de estabilizar la clorofila, un 70% del contenido de cobre en la planta se concentra en la clorofila. La carencia de cobre conduce a un

envejecimiento prematuro de la clorofila, afectando de esta forma la eficiencia fotosintética de la planta, participa en el metabolismo de las proteínas y de los carbohidratos, regulador de las reacciones de algunas enzimas (por lo menos 10 enzimas diferentes) y catalizador de las reacciones de oxidación, participa en la fotosíntesis y respiración y en la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico en las fabáceas (Alcívar y Mestanza, 2007).

Tito (2014) añade que el sulfato de cobre es especialmente elaborado para suplir funciones principales del cobre en la planta y en el campo de las enzimas: Oxidazas del ácido ascórbico, polifenol, citocromo, etc. También forma parte de la plastocianina contenida en los cloroplastos y que participa en la cadena de transferencia de electrones de la fotosíntesis. Su absorción se realiza mediante un proceso activo metabólicamente. Actúa en la producción de fenoles y quinonas. El cobre aumenta la resistencia a las enfermedades y disminuye la esterilidad masculina.

Según Sequi (2004), las deficiencias moderadas y agudas de cobre dan síntomas visibles que afectan las partes apicales de la planta, pero no son tan vistosas como en los otros microelementos. En los cereales, el ápice de las hojas asume un aspecto clorótico y presentan enrollamiento y escasa amplitud de la lámina.

El cobre presenta baja movilidad en el floema, siendo considerado un elemento parcialmente móvil, exigiendo aportes significativos vía xilema, o aplicaciones vía foliar, en momentos oportunos de la vida de la planta. El cobre, alcanza la raíz por el mecanismo conocido como difusión, caracterizado por la baja movilidad de los nutrientes en el suelo (AACS 2006).

La deficiencia de cobre se reconoce en las plantas por la coloración azulada que presentan las hojas, las cuales se tornan cloróticas cerca de la punta; se desarrolla una clorosis descendente a ambos lados de la nervadura central que posteriormente se torna café oscura, con necrosis en la punta; las hojas nuevas no se desenrollan y permanecen en forma de aguja y en algunas ocasiones al desenrollarlas solamente está la mitad de la hoja; sin embargo, la base de las hojas se desarrolla normalmente.

Además, presentan hojas con desarrollo asimétrico principalmente en leguminosa (Fancelli 2000).

Molinari et al. (2015), añaden que el cobre es absorbido y retenido en los tejidos de las plantas. En un sistema agrícola, mediante la cosecha de cultivos, se produce una extracción de nutrientes, siendo esta la principal salida de cobre del sistema. La reducción del rendimiento y el debilitamiento de los cultivos son los principales efectos de los suelos contaminados con cobre.

## **2.4 Niveles críticos y de toxicidad del cobre para las plantas**

Para efectuar recomendaciones de fertilización se debe contar con un valor crítico que indique cuándo el elemento comienza a ser limitante para el desarrollo vegetal (Ratto, 2006). En el caso del cobre en la planta, Roca et al. (2007) establecen el límite entre  $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $4 \text{ mg kg}^{-1}$ . La concentración de cobre en las plantas varía generalmente entre  $5$  y  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ . Las plántulas jóvenes contienen la mayor concentración de cobre, la cual disminuye continuamente a medida que estas avanzan hacia la madurez. Sin embargo, en general, se cree que cantidades de cobre mayores de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  pueden ser tóxicas en las plantas.

Las concentraciones aproximadas de cobre en hojas maduras de especies de plantas cultivadas son deficientes  $2-5 \text{ mg kg}^{-1}$ , el límite de tenor normal es de  $5-30 \text{ mg kg}^{-1}$ , tenores excesivos a partir de  $20-100 \text{ mg kg}^{-1}$  y límites de tenores críticos de  $3-20 \text{ mg kg}^{-1}$  (Raij 1991).

Un exceso de este elemento resultará tóxico para la planta (Sequi, 2004). El cobre es un elemento persistente, bioacumulativo y tóxico, sin degradación posible en el ambiente y se considera que una vez que entra al sistema permanece indefinidamente en el mismo. Cuando es aplicado tiende a ser retenido en la superficie del suelo, presentando una importante fracción de la forma disponible para las plantas por lo cual, podría representar problemas de fitotoxicidad a largo plazo (Molinari et al. 2015).

Para la corrección de cobre en el suelo cerrado la EMBRAPA (1999) recomienda la siguiente dosis Cu 0,2 a 2,0 kg ha<sup>-1</sup>. Según García 2005, el requerimiento de absorción total durante todo el ciclo del cultivo de soja es de 25 g t<sup>-1</sup> de grano, el índice de cosecha de los nutrientes 0,53 g ha<sup>-1</sup>, para un rendimiento de 4000 kg ha<sup>-1</sup> se necesita 100 g ha<sup>-1</sup> de cobre.

## 2.5 Respuesta de cultivos a fertilización con cobre

La deficiencia de cobre repercute negativamente en la producción, tanto en el rendimiento como en la calidad (Torri et al. 2007). Molinari et al. (2015) determinaron a corto plazo si el cobre aportado tiene efectos adversos sobre los cultivos irrigados y si se concentra en los tejidos de las plantas. En un ensayo en el invernadero, en el cual se cultivaron alfalfa, festuca, cebolla y trigo, se regó con una solución de sulfato de cobre pentahidratado al 1, 2,5, y 5 mg kg<sup>-1</sup> de concentración. Según los resultados obtenidos no observaron disminución en la producción pese al aporte constante de cobre al suelo. La concentración de cobre en el agua de riego fue en todos los tratamientos, mayor a 0,2 mg kg<sup>-1</sup> de cobre, que es la máxima concentración recomendable para el suelo. Sin embargo, en los dos años del ensayo se obtuvieron similares rendimientos entre todos los tratamientos, tanto en la producción de forraje y grano, como en el largo, ancho y peso de los bulbos de cebolla.

Según Tito (2014) los efectos del sulfato de cobre pentahidratado en un vertisol con textura arcillosa, pH neutro, bajo de materia orgánica y nitrógeno, contenido medio de cobre no tuvo efecto sobre las variables medidas en el arroz cano, tales como días a floración, ciclo vegetativo, altura de planta, número de macollos, número de panículas, longitud de panículas, granos por panículas, porcentaje de granos vanos y rendimiento de grano, sin embargo, cuando se elevó la dosis de 1,6 L ha<sup>-1</sup> del CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O el rendimiento del arroz tendió a bajar 408 kg.

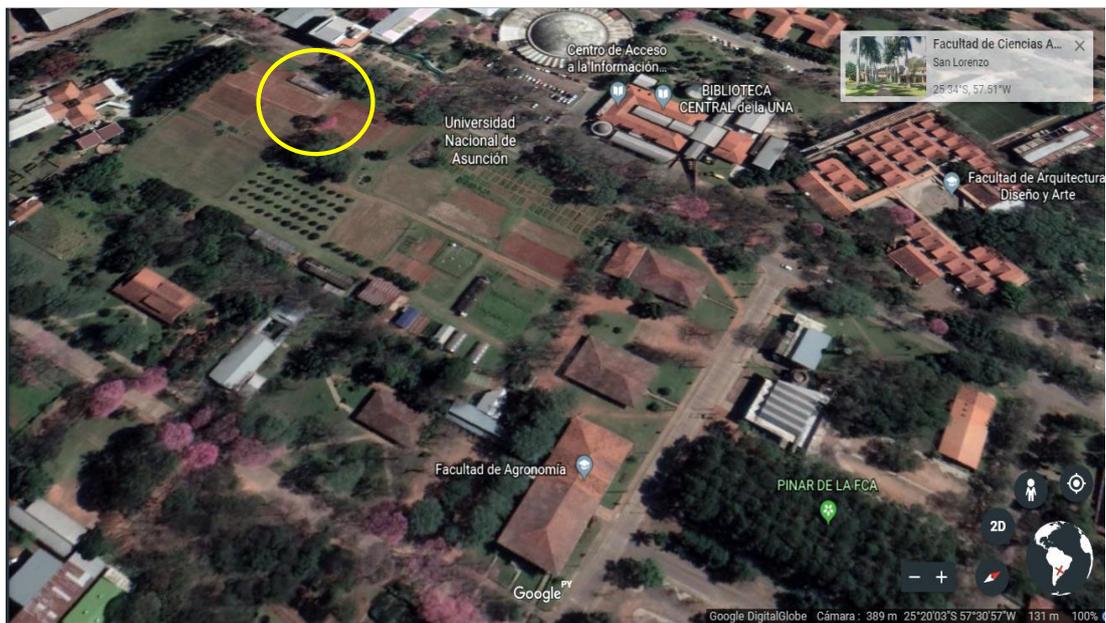
Arévalo (2015), realizó análisis foliares de soja en donde encontró mucha variación en la concentración de cobre (máx. 68 mg kg<sup>-1</sup>, mediana 10 mg kg<sup>-1</sup>, min 4 mg kg<sup>-1</sup>), mostró una distribución asimétrica positiva, lo que manifestó que la mayoría

de las muestras contenían bajas concentraciones de este nutriente (media 15,68 mg kg<sup>-1</sup>). En general en cuanto al estatus nutricional del cultivo de la soja el micronutriente que limitó mayormente el rendimiento fue el cobre.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

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

El experimento se realizó en el invernadero, localizado en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCA/UNA), en la ciudad de San Lorenzo, Departamento Central (Figura 1).



**Figura 1.** Localización del área experimental de la investigación con dosis de cobre en el cultivo de soja en suelos de diferentes texturas, San Lorenzo, 2019.  
Fuente: Google eart

Fueron utilizados dos suelos de diferentes texturas de la camada 0-20 cm, un suelo de textura franco arenosa, proveniente del campus de la FCA/UNA de San Lorenzo clasificado como Rhodic Paleudult, según el sistema Soil Taxonomy, cuyas características generales son: suelos minerales con horizontes iluviales de arcillas y

baja saturación de bases, con una estructura gruesa oscilante entre arenosa y franco arcillosa en el horizonte B, buena aireación y permeabilidad, con poca plasticidad y pegajosidad, además de una buena retención en las capas más profundas; y un suelo arcilloso clasificado como Rhodic Kandiudox proveniente de la zona de Katuete que se caracteriza por ser intemperizado y de baja fertilidad, de color rojo oscuro, con buen nivel de humedad durante el año, con textura más gruesa en la superficie.

Se determinaron las características físicas-químicas del suelo utilizado en el experimento mediante un análisis de suelo, en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNA, cuyos resultados se pueden apreciar en la Tabla 1.

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

Análisis de suelo	pH	M.O %	P mg kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup> +H <sup>+</sup>	Clase textural
Katuete	4,5	2,66	0,19	0,38	0,45	0,04	0,00	1,25	Arcillosa
San Lorenzo	5,2	0,42	6,30	0,43	0,18	0,09	0,01	0,87	Franco arenosa

### 3.2. Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en esquema bifactorial, donde el factor 1 correspondió a las dos texturas de suelo; el factor 2 a las cinco dosis de Cobre (0; 2,5; 5; 7,5 y 7,5 kg de Cu ha<sup>-1</sup>) con cinco repeticiones, totalizando 50 unidades experimentales. La fuente de cobre a utilizada fue el Sulfato de Cu (CuSO<sub>4</sub> 5H<sub>2</sub>O) con 23% de Cu.

Cabe mencionar que este experimento es el segundo cultivo después del cultivo de trigo realizado por Núñez (2019), quien utilizó los mismos suelos en el experimento.

### 3.3. Siembra y manejo del cultivo

En cada unidad experimental (maceta) se agregaron 5 kg de suelo tamizado en tamiz de 2 mm, encalado y con corrección de la fertilidad en relación a P y K lo cual lo realizó Nuñez, (2019) en el cultivo anterior a la soja la cual fue el trigo, luego se agregó las dosis de cobre de acuerdo a cada tratamiento antes de la siembra del cultivo.

Las macetas fueron regadas diariamente y se inocularon las semillas de soja con *Bradyrhizobium* sp antes de realizar la siembra del cultivo.

Se esperó una semana de haber agregado las dosis de cobre en las macetas y se sembraron 10 semillas de soja por cada unidad experimental respectivamente, posteriormente se realizó el raleo dejando 5 plantas por maceta y se cosecharon las mismas a los 30 días de la siembra, cuando las mismas estaban iniciando la floración.

### 3.4. Variables de medición

**Materia seca de la parte aérea:** se cortaron todas las plantas de cada unidad experimental al ras del suelo, las cuales fueron procedidas al secado a estufa a 60 °C hasta que estas presentaran peso constante, posteriormente fueron pesadas. Los resultados obtenidos de la materia seca son expresados en g maceta<sup>-1</sup>.

**Contenido de cobre de la parte aérea:** Luego de que fueron llevadas las plantas a estufa y después de haber sido pesadas, fueron trituradas y se determinó el nivel de cobre en el tejido mediante la metodología descrita por Tedesco et al (1995).

**Concentración de Cu en el suelo:** se realizó muestreo de las macetas posterior a la cosecha del experimento a una profundidad de 0-10 cm, luego fue determinada el nivel el cobre en el suelo, el análisis se realizó en el laboratorio del Área de Suelos y Ordenamiento Territorial, 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 dando un seguimiento lógico a lo establecido en cada ítem, para evitar errores que puedan comprometer los resultados del experimento. Y para que el experimento haya sido llevado a cabo con eficiencia se contó con el apoyo del orientador y co- orientador.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Una vez obtenidos los datos, fueron sometidos a análisis de varianza (ANAVA), para determinar si hubo o no diferencia significativa entre los tratamientos aplicados. Y los tratamientos que presentaron diferencias significativas fueron comparados con el test de Tukey al 5% de probabilidad de error. Los resultados obtenidos son presentados e interpretados a través de figuras, tablas y análisis de regresión.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Materia seca aérea, contenido de cobre en la parte aérea y contenido de cobre en el suelo post-cosecha del cultivo de soja.

Se observa en la Tabla 2, los valores obtenidos en las variables de materia seca aérea, el contenido de cobre en la parte aérea y contenido de cobre en el suelo, en dos tipos de suelo (Anexo 1).

**Tabla 2.** Materia seca aérea (MSA), contenido de cobre en la parte aérea y contenido de cobre en el suelo post-cosecha del cultivo de soja por efecto de la aplicación de dosis de cobre, en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo. 2019.

Textura del suelo ( Factor 1)	MSA (g maceta <sup>-1</sup> )	Contenido de Cu en la parte aérea	Contenido de Cu en el suelo
		.....mg kg <sup>-1</sup>	
		1 .....	
Franco arenosa	10,26 a	17,89 <sup>ns</sup>	40,40 <sup>ns</sup>
Arcillosa	8,51 b	16,94	42,60
Media	9,38	17,41	41,50
CV (%)	14,80	39,04	37,74

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.<sup>7</sup>

Se encontró diferencias estadísticas significativas en la materia seca aérea, siendo, el peso por maceta superior en el suelo arenoso 10,26 g comparado con el suelo arcilloso 8,51 g, existiendo una diferencia de 1,75 g (Anexo 2). Esta diferencia podría deberse a que en el suelo arcilloso (katuete) según el análisis de suelo realizado antes del experimento (Tabla 1), ciertos elementos están en un nivel medio como M.O y

$Al^{+3}+H^{+}$ , el resto está en un nivel bajo, pero se debe tener en cuenta que se aplicó cal agrícola para corregir este suelo, todos estos factores pudieron influir en la retención de nutrientes lo que ocasionó la retención de Cu aplicado

Otra probable causa, pudo ser el buffer o poder tampón, donde el suelo se resiste a los cambios bruscos de pH, el suelo arcilloso pudo haber tardado más para reaccionar a las enmiendas aplicadas, ya que su buffer es superior que el arenoso, por lo que, si le daba mayor tiempo o en una segunda repetición en el mismo suelo ya utilizados posiblemente ya no haya una diferencia significativa, incluso capaz cambie el resultado.

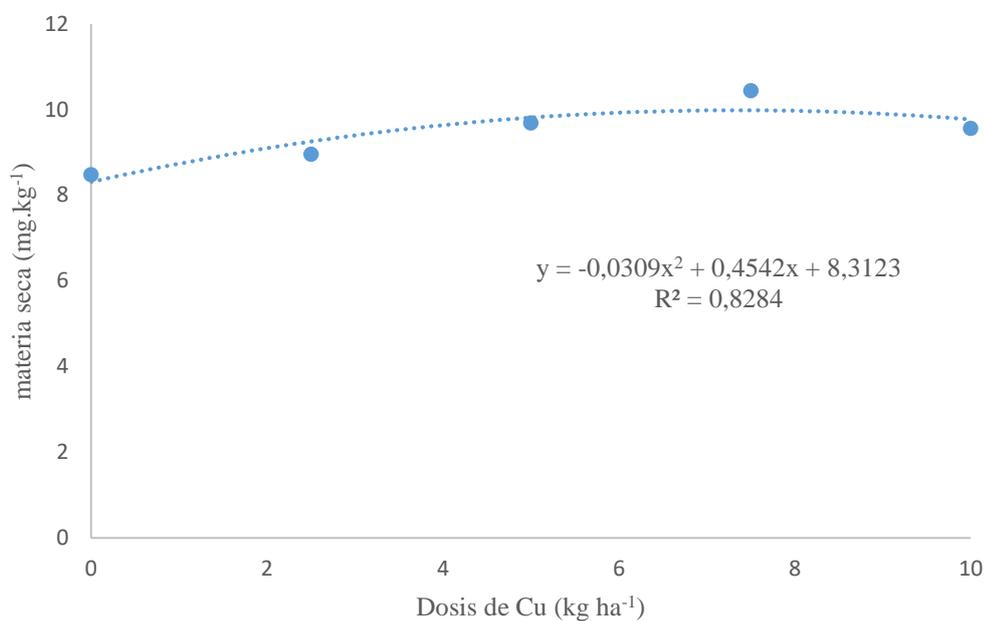
En el contenido de cobre en la parte aérea no hubo diferencia significativa en el factor textura del suelo, obteniéndose una media general de 17,41 ( $mg\ kg^{-1}$ ). No hubo interacción entre las dosis de Cu y la textura del suelo.

El suelo arcilloso presentó mayor contenido de materia orgánica según el análisis químico inicial (Tabla 1), en el caso de las arcillas, la adsorción se incrementa a medida que el pH se eleva. La baja disponibilidad del Cu puede deberse en muchos casos en que la mayoría del metal se encuentre atrapado en las estructuras cristalinas, o bien, adsorbido en los coloides del suelo sin posibilidad de disponibilidad para las plantas. (Arévalo 2015).

En lo que respecta a los valores obtenidos de las variables de masa seca aérea, contenido de cobre en la parte aérea y contenido de cobre en el suelo post cosecha obtenidos con la aplicación de dosis de cobre (Factor 2) se detallan a continuación.

En la figura 2 se presenta la producción de masa seca aérea de la hoja con la aplicación de dosis de Cu.

La masa seca aérea de la planta se de soja se ajustó a la ecuación  $\bar{y} = 8,312 + 2,902 \text{ dosis de Cu} - 1,257 (\text{dosis de Cu})^2$ ; con  $R^2 = 0,83$ . El máximo peso de MSA se obtiene con la aplicación 7,5 kg de Cu por ha, alcanzando 10,44 g, a partir del cual empieza a disminuir, posiblemente por efectos de toxicidad a las concentraciones mayores a la dosis de cobre mencionada.



**Figura 2.** Masa seca aérea de la planta de soja con la aplicación de dosis de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019.

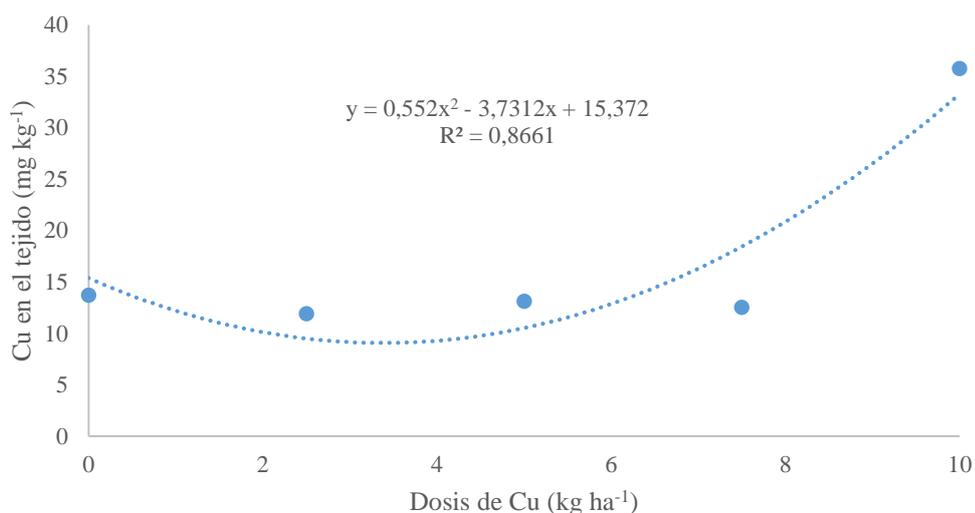
Del mismo modo Molinari et al. (2015) cultivaron alfalfa, se regó con una solución de Sulfato de Cobre Pentahidratado al 1, 2,5, y 5 mg kg<sup>-1</sup> de concentración. Según los resultados obtenidos no observaron disminución en la producción pese al aporte constante de cobre al suelo. Sin embargo, en los dos años del ensayo se obtuvieron similares rendimientos entre todos los tratamientos en la producción de forraje.

Tito (2014) evaluando la aplicación de sulfato de cobre pentahidratado en un vertisol con textura arcillosa, pH neutro, bajos en materia orgánica y nitrógeno, contenido medio de cobre, concluyó que la masa seca del arroz no presentó significancia estadística.

Al contrario de los resultados obtenidos en el presente experimento, Oliveira et al. (2014), obtuvieron diferencias significativas al aplicar Cu en un suelo arcilloso, indicando que a mayor acumulación de Cu y otros micronutrientes ocurre mayor acumulación de materia seca.

Según los estudios realizados para Materia seca aérea, los tratamientos en el suelo arcilloso no hubo diferencias significativas, en cambio en el arenoso si se presentó diferencias, donde la dosis 0 (testigo) hasta la dosis 5 kg ha<sup>-1</sup> de Cu son estadísticamente iguales, lo mismo pasa con las dosis 5 a 10 no hay diferencia.

El efecto de las dosis de cobre en la acumulación del Cu en la parte aérea de la planta de soja, se observó con incremento de la misma, respondiendo de manera cuadrática, ajustándose a la siguiente ecuación: Contenido de Cu en la parte aérea = 15,38-23,75 dosis de Cu + 22,36 (dosis de Cu)<sup>2</sup>; R<sup>2</sup> =0,863. El contenido máximo de Cu en la parte aérea de planta se obtiene con la aplicación de 10 kg de Cu por ha<sup>-1</sup>, alcanzando 35,78 mg kg<sup>-1</sup>, siendo esta la dosis máxima.



**Figura 3.** Contenido de Cu en la parte aérea de la planta de soja por efecto de la aplicación de dosis de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019.

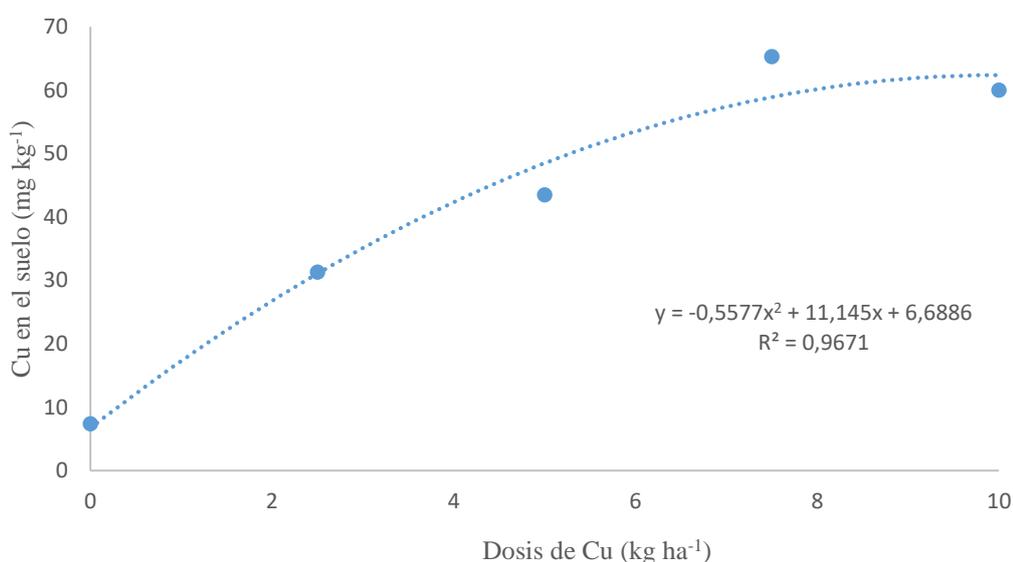
El contenido de cobre en la parte aérea presentó diferencias significativas en el arenoso desde las dosis 0 hasta los 7,5 iguales, pero diferente con la dosis 10 kg ha<sup>-1</sup> de Cu (Anexo 3). Estas características se mantuvieron para el suelo arcilloso donde tuvo el mismo comportamiento.

En el caso del cobre en la planta, Roca et al. (2007) mencionan generalmente la concentración de cobre en el cultivo de soja varía generalmente entre 5 y 20 mg kg<sup>-1</sup>.

Las plántulas contienen la mayor concentración de cobre, la cual disminuye continuamente a medida que estas avanzan hacia la madurez. Sin embargo, en general, se cree que cantidades de cobre mayores de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  pueden ser tóxicas en las plantas. Un exceso de este elemento resultará tóxico para la planta (Sequi, 2004).

Arévalo (2015), realizó análisis foliares de soja en donde la concentración de cobre máximo de  $68 \text{ mg kg}^{-1}$ , la mediana  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ , mínimo  $4 \text{ mg kg}^{-1}$ , mostró una distribución asimétrica positiva, lo que manifestó que la mayoría de las muestras contenían bajas concentraciones de este nutriente (media  $15,68 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Con respecto al contenido de Cu en el suelo post cosecha, se observa un incremento de la misma con la aplicación de dosis de cobre, ajustándose a la siguiente ecuación: Contenido de Cu en el suelo post-cosecha =  $6,705 + 71,23 \text{ dosis de Cu} - 22,79 (\text{Dosis de Cu})^2$ ; con  $R^2 = 0,968$ . La máxima acumulación de Cu en el suelo post-cosecha se obtendría con la aplicación de  $7,5 \text{ kg de Cu por ha}^{-1}$ , alcanzando  $65,3 \text{ mg kg}^{-1}$  a partir del cual empieza a disminuir la acumulación de la misma (Anexo 4).



**Figura 4.** Contenido de Cu en el suelo post cosecha de la planta de soja con la aplicación de dosis de cobre en suelos franco arenoso y arcilloso. San Lorenzo, 2019.

En cuanto a la disponibilidad de cobre en lotes bajo agricultura, Eyherabide et al. (2012), califican los rangos de concentraciones menores a  $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$  de muy baja disponibilidad, de  $0,3$  a  $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$  baja a media y mayores a  $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$  alta concentración.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

En las condiciones que se llevó a cabo la investigación se puede concluir que:

La producción de masa seca aérea de la soja responde mejor a la aplicación de cobre cuando este es aplicado en un suelo arenoso, el contenido de cobre en la parte aérea del cultivo y el contenido de cobre en el suelo no presentan diferencias entre las dos texturas de suelo.

La aplicación de las dosis de cobre en el suelo en las diferentes texturas utilizadas influye para el contenido de cobre en la parte aérea de la soja con la mayor dosis aplicada en ambas texturas, sin embargo, para el peso de materia seca la aplicación de las dosis responde solo en el suelo de textura arenosa, no así, en el suelo de textura arcillosa.

### **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda utilizar dosis más altas a las utilizadas en el experimento, debido a no encontrarse toxicidad del mismo. Realizar pruebas a campo de las dosis que presentaron respuestas en las variables en estudio. Realizar estudios tanto en variedades del mismo cultivo, además de comparar el efecto del elemento en distintos cultivos y evaluar variables de rendimiento.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACS (Asociación Argentina de Ciencias del Suelo). 2006. Micronutrientes en la agricultura. Buenos Aires, AR. 207 p.
- Alcívar, S; Mestanza, S. 2007. Nutrición mineral del cultivo de arroz, *In* Boliche, EE. Manual del cultivo de arroz. INIAP. Manual n. 66, 46 p.
- Arévalo, E. 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>
- Díaz L, JA. 2015. Construcción y diseño de un dispositivo que mida porcentaje de humedad de sulfato de cobre pentahidratado por medios ópticos. Tesis. Título de Físico. Santiago, CH. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ciencias, Departamento de Física. 149 p.
- EMBRAPA. 1995. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. El cultivo de la soja en los trópicos mejoramiento y producción. Londrina, PR. 241 p.
- Eyherabide, M; Sainz Rozas, H; Echeverría, H; Velasco, J, Barraco, M; Ferraris, G; Angelini H. 2012. Niveles de cobre disponibles en suelos de la región pampeana argentina. *In* Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (23,2012, Mar del Plata, AR). Mar del Plata, Argentina. 6 p.
- Fancelli, A.L. 2000. Produção de milho. Guaíba, BR, Agropecuaria. 360 p.
- Fancelli, A. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. 11-27. *In* Vázquez, M (ed). Micronutrientes en la agricultura. Buenos Aires, AR, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 207p.
- Fatecha, D. 2004. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay. Tesis. Ingeniero Agrónomo. San Lorenzo, PY, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. 82 p.
- Lucena, JJ. 2009 El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Revista Ceres* 56 (4): 527 – 535.
- Molinari, M; Dorronsor, P; Bentivegna, DJ; Tucac, G; Daddario F. 2015. Efecto y concentración del cobre en cultivos regados con sulfato de cobre pentahidratado (en línea). Congreso de la ALAM (12), Congreso de la ASACIM (1), (12, 2015, Bahía Blanca, AR). Consultado 12 abr. 2019. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/282086115>

- Núñez, P. 2019. Fertilización cúprica en el cultivo de trigo en suelos de diferentes texturas. Tesis. San Lorenzo, PY, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. 41 p
- Oliveira, A; Castro, C; Oliveira, F; Foloni, J. 2014. Marcha de absorção e acúmulo de zinco, manganês, ferro, cobre e boro em soja com tipo de crescimento indeterminado Comissão de Nutrição vegetal, Fertilidade e Biologia dos Solos 7(2): 137-140.
- Raij B. 1991. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, BR, Agronômica Ceres. 343 p.
- Rasche, J; Ortiz, C. 2018. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del departamento de Alto Paraná. *In* de Suelos del Departamento de Alto Paraná. (1, 2018, Minga Guazu, Py). Trabajos presentados. Asunción, PY. 51 p.
- Rasche, J; Ortiz C; Cabral, N; Fatecha, D; González A; Quiñónez, L. 2017. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del Departamento de Itapúa. *In* Congreso Paraguayo de Ciencias del Suelo (2), Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos(5) (2, 2017, Encarnación, PY). Trabajos presentados. Asunción, PY. p 98 – 101.
- Ratto, S. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. *In* Vázquez, M. Micronutrientes en la agricultura. Buenos Aires, AR, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 207p.
- Roca, N; Pazos, M; Bech, J. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del no argentino (en línea). Buenos Aires, AR. Consultado 12 mar. 2019. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/237745724\\_Disponibilidad\\_de\\_cobre\\_hierro\\_manganeso\\_zinc\\_en\\_suelos\\_del\\_NO\\_argentino](https://www.researchgate.net/publication/237745724_Disponibilidad_de_cobre_hierro_manganeso_zinc_en_suelos_del_NO_argentino)
- Rolon, M; Rasche, J; Cabral, N; Factecha, D. 2019. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del Departamento de Caaguazu. *In* Congreso Paraguayo de Ciencias del Suelo (3), Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos (6), (3, 2019, Caaguazu, PY). Trabajos presentados. Asunción, PY. p 113 – 117.
- Sequi V. 2004. Los microelementos en la nutrición vegetal. Valagro SpA. Impreso por Meta srl – Trento e Trieste. Lanciano, IT. 72 p.
- Tedesco, M J; Gianello, C; Bissani, CA; Bohnen, H; Volkweiss, SJ. 1995. Análisis de solo, plantas e outros materiais. 2 ed. Porto Alegre, BR, s.e. 170 p.
- Tito Z, LE. 2014. Efecto del sulfato de cobre pentahidratado sobre patógenos foliares en tres densidades poblacionales en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis. Ingeniero Agrónomo. Guayaquil, EC. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil, 44 p.

Torri, SL; Urricariet, S; Lavado, RS. 2007. Micronutrientes y otros elementos traza.  
(9) Echeverria, HE; Garcia, F. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos.  
Buenos Aires, AR. Editorial INTA. v. 1, 525 p.

## **7. ANEXOS**

**Anexo 1.** Cuadro general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de cobre en suelos de diferentes texturas en el cultivo de soja. San Lorenzo, Central, 2019.

Suelo	Dosis de Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Masa seca de la Parte Aérea (g)	Cobre en la parte Aérea	Cobre en el suelo
Franco arenoso	0	9,5	11,93	8
Franco arenoso	0	9,6	11,93	8
Franco arenoso	0	10,1	11,93	9
Franco arenoso	0	9,5	11,93	9
Franco arenoso	0	7,4	17,89	9
Arcilloso	0	6,8	11,93	5
Arcilloso	0	9,3	17,89	7
Arcilloso	0	7,6	17,89	5
Arcilloso	0	8,0	11,93	8
Arcilloso	0	7,0	11,93	6
Franco arenoso	2,5	9,9	11,93	31
Franco arenoso	2,5	9,5	11,93	18
Franco arenoso	2,5	9,3	11,93	20
Franco arenoso	2,5	7,8	11,93	32
Franco arenoso	2,5	7,5	11,93	40
Arcilloso	2,5	8,0	11,93	50
Arcilloso	2,5	7,8	11,93	30
Arcilloso	2,5	11,6	11,93	30
Arcilloso	2,5	8,4	11,93	32
Arcilloso	2,5	7,8	11,93	30
Franco arenoso	5	9,0	11,93	33
Franco arenoso	5	10,8	11,93	48
Franco arenoso	5	11,4	11,93	40
Franco arenoso	5	9,6	11,93	42
Franco arenoso	5	10,8	11,93	80

**Anexo 1.** (Continuación) Cuadro general de datos de las variables evaluadas con aplicación de dosis de cobre en suelos de diferentes texturas en el cultivo de soja. San Lorenzo, Central, 2019.

Suelo	Dosis de Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Masa seca de la Parte Aérea (g)	Cobre en la parte Aérea	Cobre en el suelo
Arcilloso	5	8,5	11,93	40
Arcilloso	5	7,5	17,89	40
Arcilloso	5	8,8	17,89	20
Arcilloso	5	13,0	11,93	54
Arcilloso	5	7,5	11,93	38
Franco arenoso	7,5	11,6	11,93	70
Franco arenoso	7,5	11,2	11,93	70
Franco arenoso	7,5	11,0	11,93	82
Franco arenoso	7,5	11,7	11,93	70
Arcilloso	5	8,5	11,93	40
Arcilloso	7,5	7,5	11,93	40
Arcilloso	7,5	9,7	11,93	80
Arcilloso	7,5	8,6	11,93	79
Arcilloso	7,5	10,6	11,93	40
Arcilloso	7,5	10,6	17,89	40
Franco arenoso	10	10,8	47,7	80
Franco arenoso	10	14,3	47,7	68
Franco arenoso	10	11,0	35,78	80
Franco arenoso	10	9,2	23,85	18
Franco arenoso	10	12,0	23,85	18
Arcilloso	10	8,1	23,85	75
Arcilloso	10	5,8	23,85	79
Arcilloso	10	7,0	23,85	60
Arcilloso	10	9,8	59,63	80
Arcilloso	10	7,6	47,7	42

**Anexo 2.** Análisis de varianza de la variable masa seca de la parte aérea de la planta de soja.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Materia seca p.a. (g)	50	0,51	0,39	14,80

**Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V	SC	Gl	Cm	F	p-valor
Modelo	79,64	9	8,85	4,55	0,0004
Dosis Cu	22,28	4	5,57	2,86	0,0355
Textura	41,77	1	41,77	21,46	<0,0001
Dosis	15,59	4	3,90	2,00	0,1127
Cu*Textura					
Error	77,86	40	1,95		
Total	157,50	49			

**Anexo 3.** Análisis de la varianza del contenido de cobre de la parte aérea de la planta de soja

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Análisis de tejido	50	0,70	0,63	39,04

**Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V	SC	Gl	Cm	F	p-valor
Modelo	4253,43	9	472,60	10,23	<0,0001
Dosis Cu	4232,12	4	1058,03	22,89	<0,0001
Textura	11,37	1	11,37	0,25	0,6227
Dosis	9,95	4	2,49	0,05	0,9944
Cu*Textura					
Error	1848,79	40	46,22		
Total	157,50	49			

**Anexo 4.** Análisis de la Varianza del contenido de cobre en el suelo

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Cobre en el suelo	50	0,71	0,64	37,74

**Tabla de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V	SC	Gl	Cm	F	p-valor
Modelo	23586,90	9	2620,77	10,68	<0,0001
Dosis Cu	21795,4'	4	5448,85	22,21	<0,0001
Textura	60,50	1	60,50	0,25	0,6222
Dosis	1731,00	4	432,75	1,76	0,1551
Cu*Textura					
Error	9811,60	40	245,29		
Total	33398,50	49			

