



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Remoción de cobre en un sistema hidropónico "NFT" con aguas  
contaminadas utilizando como Fitorremediador la Brassica  
juncea(yuyo).

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**

Inga Clemente, Wendy Yesmin (ORCID: 0000-0002-8168-1463)

**ASESOR:**

Dr. Lozano Sulca, Yimi Ton (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de investigación a mis padres Yeni Clemente y Rolando Inga, gracias por todo lo que me brindaron, gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas, acompañándome cada día y guiando mi camino, enseñándome a valorar cada cosa que con mucho esfuerzo lograron darme, gracias absolutamente por todo.

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios, a mis padres y a cada una de las personas por el apoyo incondicional que me dieron en estos meses de trabajo, a la universidad por abrirme las puertas de su institución y así lograr titularme, Agradezco a la vida por darme la oportunidad de estudiar una grandiosa carrera como lo es Ingeniería Ambiental y así formar mis conocimientos y buscar mejores soluciones para mejorar la calidad de vida de nuestras futuras generaciones.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
Resumen.....	x
Abstract .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEORICO.....	5
III. METODOLOGÍA .....	20
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	20
3.1.1.Tipo de la investigación .....	20
3.1.2.Diseño de la investigación .....	20
3.2. Variables y Operacionalización .....	21
3.3. Población, muestra y muestreo .....	22
3.3.1. Población.....	22
3.3.2. Muestra .....	22
3.3.3. Muestreo.....	24
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	24
3.4.1.Técnica .....	24
3.4.2.Instrumentos de recolección de datos.....	24
3.5. Procedimiento .....	24
3.6. Método de análisis de datos.....	32
3.6.1. Estadísticos .....	32

3.6.2. Representación.....	32
3.6.3. Técnica de comprobación de la hipótesis .....	32
3.7. Aspectos éticos .....	32
IV. RESULTADOS .....	33
4.1. Presentación de Resultados.....	33
4.1.1. Concentración inicial de Cobre .....	33
4.1.2. Influencia del tipo de solución nutritiva, dosis de soluciones y tiempo de contacto.....	34
4.2. Contratación de Hipótesis.....	39
4.2.1. Prueba de t de student para la concentración inicial de cobre .....	40
V. DISCUSION .....	48
5.1. Influencia de la dosis de la solución nutritiva en la remoción de cobre. ....	48
5.1.1. En el tratamiento con la solución nutritiva A:.....	48
5.1.2. En el tratamiento con la solución nutritiva B:.....	50
5.2. Efecto del tiempo de contacto de la solución nutritiva en la remoción de cobre de las aguas del río Mantaro .....	53
5.2.1. En el tratamiento con la solución nutritiva A.....	53
5.2.2. En el tratamiento con la solución nutritiva B.....	55
VI. CONCLUSIONES.....	60
VII. RECOMENDACIONES .....	62
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS .....	70
Anexo N° 1. Declaratoria de la autenticidad de las autoras .....	70
Anexo N° 2. Declaratoria de autenticidad del asesor .....	71
Anexo N° 3. Matriz de consistencia .....	72
Anexo N° 4. Matriz de operacionalización .....	74

Anexo N° 5. Panel Fotográfico.....	76
Anexo N° 6.Reportes de laboratorio .....	82

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Composición nutricional de la mostaza por 100 g</i> .....	17
<i>Tabla 2. Interacción del tiempo de contacto, tipo y dosis de solución nutritiva en la remoción de cobre (II)</i> .....	20
<i>Tabla 3. Datos de la muestra</i> .....	23
<i>Tabla 4. Esquema experimental según los tiempos de contacto</i> .....	31
<i>Tabla 5. Concentración inicial de cobre en las aguas del río Mantaro-sector Concepción</i> .....	33
<i>Tabla 6. Concentración de cobre en las aguas del río Mantaro después de haberse realizado el tratamiento mediante el sistema hidropónico con la solución A</i> .....	34
<i>Tabla 7. Concentración de cobre en las aguas del río Mantaro después de haberse realizado el tratamiento mediante el sistema hidropónico con la solución B</i> .....	37
<i>Tabla 8. Estadística descriptiva</i> .....	40
<i>Tabla 9. Resumen del diseño</i> .....	41
<i>Tabla 10. Información del factor</i> .....	42
<i>Tabla 11: Análisis de Varianza</i> .....	42
<i>Tabla 12: Resumen del modelo</i> .....	44
<i>Tabla 13: Prueba de Tukey para dosis de solución nutritiva</i> .....	46
<i>Tabla 14: Prueba de Tukey para Tiempo de contacto</i> .....	47
<i>Tabla 15: Porcentaje de adsorción de cobre después del tratamiento con la solución nutritiva A</i> .....	48
<i>Tabla 16: Porcentaje de adsorción de cobre después del tratamiento con la solución nutritiva B</i> .....	51

## Índice de figuras

<i>Figura 1. Sistemas hidropónicos abiertos</i> .....	12
<i>Figura 2. Sistemas hidropónicos cerrados</i> .....	13
<i>Figura 3. Planta de mostaza o yuyo</i> .....	17
<i>Figura 4. Estructura metálica</i> .....	26
<i>Figura 5. Distribución de tuberías por el sistema hidropónico</i> .....	27
<i>Figura 6. Diagrama de flujo del cultivo de Brassica juncea en un sistema hidropónico para la remoción de cobre de las aguas del río Mantaro</i> .....	30
<i>Figura 7. Concentración final de cobre en las aguas del río Mantaro con la solución A - réplica I</i> .....	35
<i>Figura 8. Concentración final de cobre en las aguas del río Mantaro con una solución A réplica II</i> .....	36
<i>Figura 9. Concentración final cobre en las aguas del río Mantaro con la solución B - réplica I</i> .....	38
<i>Figura 10. Concentración final cobre en las aguas del río Mantaro con la solución B - réplica II</i> .....	39
<i>Figura 11: Diagrama de Pareto para los efectos estandarizados en el porcentaje de remoción de cobre</i> .....	45
<i>Figura 12: Gráfica de probabilidad normal para los porcentajes de remoción de cobre</i> .....	46
<i>Figura 13: Influencia de la solución nutritiva A en la remoción de cobre- réplica I.</i> .....	50
<i>Figura 14: Influencia de la solución nutritiva B en la remoción de cobre- réplica I.</i> .....	52
<i>Figura 15: Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cobre con solución nutritiva A- réplica I</i> .....	53
<i>Figura 16: Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cobre con solución nutritiva A- réplica II</i> .....	55
<i>Figura 17: Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cobre con la solución nutritiva B- réplica I</i> .....	56
<i>Figura 18: Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cobre con la solución nutritiva B- réplica II</i> .....	57



*Figura 19: Gráfica de interacción para porcentaje de adsorción de cobre.....58*  
*Figura 20: Gráfica de efectos principales para el porcentaje de remoción de cobre*  
*.....59*

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar la remoción de cobre de las aguas del río Mantaro en un sistema hidropónico NFT (técnica de flujo de nutrientes) tipo piramidal utilizando *Brassica juncea* (yuyo). La investigación es de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. Para la prueba experimental se construyó el sistema hidropónico y cultivó las plantas, finalmente se realizó el análisis mediante espectroscopia de emisión atómica obteniendo que 10L de solución nutritiva del tipo A, removió 33% y 44% de cobre para 7 días y 10 días respectivamente mientras que 20L logro remover 46% y 59% para los periodos de 7 días y 10 días respectivamente, en la solución nutritiva B se lograron porcentajes de remoción del 38% y 56% con la dosis de 10L para 7 días y 10 días respectivamente, en tanto que con 20L obtuvieron 48% y 65% de remoción para 7 días y 10 días respectivamente, concluyendo que 20 L solución nutritiva en 10 días logra una mayor disminución en la concentración de cobre desde 0,277ppm a 0,115ppm para la réplica I en la solución nutritiva A y de 0,277 ppm a 0,098 ppm en la réplica I para la solución nutritiva B.

**Palabras clave:** Cultivo, Sistema hidropónico, Remoción, Cobre.

## **Abstract**

The objective of this investigation is to determine the removal of copper from the waters of the Mantaro River in a pyramidal NFT (nutrient flow technique) hydroponic system using *Brassica juncea* (weed). The research is of an applied type, with a quantitative approach and experimental design. For the experimental test, the hydroponic system was built, the plants were cultivated and finally the analysis was carried out by means of atomic emission spectroscopy, obtaining that 10L of type A nutrient solution eliminated 33% and 44% of copper during 7 days and 10 days respectively. while 20L managed to remove 46% and 59% for the periods of 7 days and 10 days, respectively, in the case of nutrient solution B, removal percentages of 38% and 56% were achieved with the 10L dose for 7 days and 10 days, respectively. , while with 20L obtained 48% and 65% removal for 7 days and 10 days respectively, concluding that 20 L nutrient solution in 10 days achieves a greater decrease in copper concentration from 0.277ppm to 0.115ppm for the replica I in nutrient solution A and from 0.277 ppm to 0.098 ppm in replica I for nutrient solution B.

**Keywords:** cultivation, hydroponic system, removal, copper

## I. INTRODUCCIÓN

En latino América una fuente principal de contaminación a los cuerpos de agua es el vertimiento de efluentes líquidos ácidos y relaves, causados por la industria minera, estos relaves mineros traen consigo concentraciones de metales pesados como zinc, cobre, cromo, arsénico y plomo; el nivel de contaminación de estos metales pesados aumenta debido a que se tratan de elementos bioacumulables y nulamente biodegradables, estos residuos líquidos contaminados se mezclan en la atmosfera en forma de vapor de agua por el ciclo hídrico y caen en forma de lluvia produciendo acidificación en los suelos generando perdida de zonas de cultivos y bosques haciendo que el clima se vuelva más cálido (Reyes et al. 2016).

El cobre se encuentra presente en los efluentes ácidos provenientes de la mayoría de las industrias mineras, la exposición por largos periodos al cobre puede causar irritación a los sentidos (ojos, nariz y boca), náuseas, diarreas, dolores de estómago, dolores de cabeza. Las exposiciones a altas concentraciones de este metal pesado puede comprometer los órganos como el riñón e hígado (Feoktistova, Yulia y Feoktistova 2018).

En nuestra región Junín, de acuerdo a datos del proyecto El Mantaro Revive el río Mantaro de la margen izquierda, recibe anualmente la descarga de 146,7 toneladas de cobre, esta presencia de cobre en el agua supera los niveles establecidos de concentración para aguas de regadío que son de 0,2 mg/L según normativa peruana (MINAM 2017).

En los últimos años se ha venido dando gran importancia al tema de la aplicación de la hidroponía que surge como una alternativa para atender tanto a la demanda de producción como a los requisitos de la producción en áreas agrícolamente limitantes sin la introducción masiva de insumos, especialmente agro tóxicos que afectan a la atmosfera emitiendo gases de efecto invernadero; aparte de ello, esta nueva tecnología está resultando ser eficiente en la remoción de metales (cobre) para dar solución al problema de contaminación de las aguas por metales pesados de ejecución como de mantenimiento y es debido a ello que no son sustentables (Perdomo et al. 2017)

Debido a todo lo mencionado con anterioridad se planteó como **problema general**, ¿Cuánto será la remoción de cobre de las aguas del Rio Mantaro en un sistema hidropónico NFT tipo piramidal utilizando *Brassica juncea* (yuyo)? Asimismo, se formuló otras tres preguntas para los **problemas específicos** que fueron los siguientes:

**PE1:** ¿Qué concentración de cobre inicial presenta las aguas del rio Mantaro?

**PE2:** ¿Cuál será el tipo de solución nutritiva suministrado al cultivo hidropónico de yuyo (*Brassica juncea*) tipo piramidal aplicando la técnica NFT que remueva mayor cantidad de cobre de las aguas del rio Mantaro?

**PE3:** ¿Cómo influirá la dosis de la solución nutritiva aplicada al cultivo hidropónico de yuyo (*Brassica juncea*) tipo piramidal aplicando la técnica NFT en la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro?

**PE4:** ¿Cómo afecta el tiempo de contacto de solución nutritiva en el cultivo hidropónico de yuyo (*Brassica juncea*) tipo piramidal aplicando la técnica NFT para la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro?

De la misma manera se planteó el **objetivo general**, Determinar la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro en un sistema hidropónico NFT tipo piramidal utilizando *Brassica juncea* (yuyo) y como **objetivos específicos:**

**OE1:** Determinar la concentración de cobre inicial presenta en las aguas del rio Mantaro.

**OE2:** Identificar el tipo de solución nutritiva suministrado al cultivo hidropónico de yuyo (*Brassica juncea*) tipo piramidal aplicando la técnica NFT que remueva mayor cantidad de cobre de las aguas del rio Mantaro

**OE3:** Determinar la influencia de la dosis de la solución nutritiva aplicada al cultivo de yuyo (*Brassica juncea*) en la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro usando un sistema hidropónico NFT tipo piramidal

**OE4:** Evaluar como afectara el tiempo de contacto de solución nutritiva en el cultivo de yuyo (*Brassica juncea*) para la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro usando un sistema hidropónico NFT tipo piramidal.

Además, este trabajo de investigación se **justifica de manera social** debido a que la creciente población necesita cada vez más productos industriales para diversos usos, lo que está generando efluentes los cuales son

vertidos a las aguas que son utilizadas mayormente en nuestra región para uso agrícola y ganadero, **de manera ambiental**, ya que el gran impacto negativo a causa de los contaminantes, producto de los efluentes líquidos mineros que se generan en los cuerpos de agua, en el suelo y la atmosfera requieren del estudio de nuevas técnicas para remoción de estos elementos tóxicos y **de manera teórica** debido a la existencia de diversas propuestas, desde los tratamientos químicos usuales, hasta las más sofisticadas tecnologías; sin embargo, la aplicación de estos métodos ocasiona como residuos unos lodos con rangos elevados de toxicidad y peligrosidad por lo cual se crea la necesidad de alternativas en el tratamiento aguas contaminadas.(Carmona et al. 2017)

Debido a las circunstancias presentadas, nuevas investigaciones se están impulsando con la finalidad de encontrar nuevas tecnologías, amigables con el medio ambiente que remuevan los elementos contaminantes de los recursos hídricos. Entre uno de los tratamientos novedosos e innovadores en el que se está incursionando poco a poco es la aplicación de la hidroponía bajo un sistema piramidal aplicando la técnica de película de nutrientes (NFT) como método para la eliminación de estos elementos metálicos contaminantes, para ello se hace uso de productos naturales, oriundos de la zona, de bajo costo y que pueden ser aprovechados para su consumo después del tratamiento, dado que la retención de los metales pesados sólo se estaría presentando en las raíces de estos productos.

Se planteó la siguiente **Hipótesis general**, El cultivo de yuyo (*Brassica juncea*) en un sistema hidropónico NFT tipo piramidal tiene una remoción de cobre del 80 % de las aguas del rio Mantaro y como **Hipótesis específicas**:

**H1:** Las aguas del rio Mantaro presentan altas concentraciones de cobre

**H2:** El tipo de solución nutritiva aplicada al cultivo hidropónico de yuyo (*Brassica juncea*) permitirá una eficiente remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro utilizando un sistema NFT tipo piramidal.

**H3:** La aplicación de dosis elevadas de la solución nutritiva hará factible la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro mediante cultivo hidropónico de yuyo (*Brassica juncea*) utilizando un sistema NFT tipo piramidal.

**H4:** Tiempo de contacto semanal de la solución nutritiva mejora las condiciones de cultivo hidropónico de yuyo (*Brassica juncea*) y por ende permite una eficiente remoción de cobre de las aguas del río Mantaro utilizando un sistema NFT tipo piramidal.

## II. MARCO TEÓRICO

(Rathore et al. 2019) refieren que el aumento de la contaminación de metales pesados es una problemática de preocupación mundial ya que estos metales se vuelven tóxicos para los humanos, animales y las plantas cuando se descomponen en la naturaleza y cuando exceden umbrales específicos. Las actividades humanas como la incineración de desechos, los efluentes de aguas residuales urbanas y la eliminación industrial y agrícola, deja la entrada de metales pesados en la tierra por ello en este proyecto han propuesto como una posible solución la utilización de la mostaza india (*Brassica juncea*) que es una planta acumuladora de metales tóxicos del suelo pero para la extracción rápida de metales pesados con la mostaza india dentro del proceso de fitorremediación existen desafíos como la no compartimentación dentro de las partes de la planta, un crecimiento lento inicial, la biodisponibilidad deficiente de metales pesados en los suelos y la capacidad de extraer solo algún metal en particular pero mediante intervenciones agronómicas como la selección de fertilizantes, cultivos intercalados, adopción de sistemas de cultivo adecuados, enmiendas del suelo, quelatos orgánicos y adición de materia orgánica la capacidad de concentrar y absorber metales pesados de suelos contaminantes mediante el cultivo de mostaza india puede aumentar.

(Gurajala et al. 2019) en su trabajo “Valoración comparativa de la mostaza india (*Brassica juncea* L.) genotipos para fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb” estudiaron la eliminación de metales tóxicos mediante fitorremediación usando la *Brassica juncea*L. (mostaza india). Realizaron experimentos de campo en ochenta cultivos para comparar su eficiencia de extracción de plomo (Pb) y cadmio (Cd) de suelos contaminados con bimetales. Obtuvieron que las concentraciones en las raíces y brotes para Pb y Cd estuvieron en el rango de  $3,78 \pm 0,06$  a  $0,16 \pm 0,08$  mg/kg y  $5,33 \pm 0,76$  a  $0,47 \pm 0,20$  mg/kg y  $2,94 \pm 0,05$  a  $0,44 \pm 0,03$  mg/kg y  $2,43 \pm 0,00$  a  $0,31 \pm 0,02$  mg/kg. En base a las diferencias significativas de los factores de translocación explicaron que la transferencia de raíz a tallo es menor para Cd ( $3,38 \pm 0,05$  a  $0,22 \pm 0,01$ ) y mayor para Pb ( $3,87 \pm 0,12$  a  $0,48 \pm 0,03$ ). También, observaron correlaciones significativas entre las concentraciones de Cd y Pb, la



absorción tanto en los brotes como en las raíces, y los pesos secos sin embargo el factor de translocación reveló una correlación negativa con las raíces, pero no con los brotes. Concluyeron que algunos cultivos de *Brassica juncea* L son convenientes para la eliminación de Pb y Cd en suelos de baja a moderadamente contaminados.

(Raj, Kumar y Maiti 2020) en su investigación titulada “ *Brassica juncea* (L.) Czern. (mostaza india): una especie de planta prometedora para facilitar la fitorremediación de suelos contaminados con mercurio” Realizaron un montaje experimental donde rociaron con diferentes concentraciones de mercurio (Hg) el suelo, los tratamientos fueron T1:10; T2:50; T3:100; T4:500 y T5:1000 mg Hg/kg de suelo. Determinaron la capacidad de eliminación de Hg por la planta de mostaza india después de 90, 60, y 30 días. La forma en que se acumuló el Hg en el primer mes fue en mayor cantidad en raíces, seguido del tallo y en menor cantidad en las hojas durante el segundo y tercer mes fue mayor parte en la raíz, seguido de las hojas y por tercero en el tallo. Obtuvieron que el mayor porcentaje de acumulación de Hg de 81% y una glutación de 14 mg/kg se dio en el tratamiento T4 y T5 respectivamente durante 90 días de tratamiento, la clorofila en las hojas de los cultivos de control sin Hg fue de 4,4 ; 3,6; 2,8 ; 2,4; 1,8 veces mayor que el tratamiento T5, T4, T3, T2, T1, respectivamente. Pero cuando el tiempo de exposición aumentaba el factor de bioconcentración también lo hacía y el factor de translocación disminuía, lo hizo que el Hg se acumulara mayormente en las raíces. Los autores concluyeron que la *Brassica juncea* tolera altas concentraciones de Hg y tiene gran potencial fitorremediador sin algún efecto perjudicial en la planta cuando los suelos tienen concentraciones menores a 100 mg/kg de Hg.

(Khan et al. 2022) investigaron como los mecanismos comunes de desintoxicación de Cd y As influyen en las respuestas fisiológicas y bioquímicas de las plántulas de la *Brassica juncea* bajo estrés por As y Cd. Demostraron que el As y Cd desencadenan distintas respuestas, pero parcialmente superpuestas en *B. juncea*. Para la parte experimental se trabajaron en un sistema hidropónico

con la exposición de la *B. juncea* plántulas a 100  $\mu\text{M}$  Cd durante 12 días, y obtuvieron como resultado que las raíces y brotes junto con el contenido de clorofila mostraron una reducción significativa a diferencia del As que causó solo la disminución en la longitud de la raíz. De acuerdo a los análisis por cromatografía líquida de alta resolución los niveles de cisteína ante el estrés por As aumentó de forma significativa en las raíces y los brotes, comparado con las plantas de control y las tratadas con Cd. El análisis de espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente mostró que, ante estrés de Cd, las raíces acumularon preferentemente zinc (Zn) en comparación con hierro (Fe) y manganeso (Mn). El estrés por Cd y As fueron similares con respecto a la acumulación de Fe pero diferentes en términos de acumulación de Mn y Zn.

(Lakhiar et al. 2020) presentaron información acerca de los sistemas sin el uso de suelo que en la actualidad son accesibles y también analiza el sistema definido como aeropónico, mencionando que en comparación con otros sistemas de cultivo, la hidroponía reduce el uso de agua a través de una recirculación de forma continua del agua con nutrientes pero también entre una de sus desventajas es que no desarrollada entre los agricultores locales y pocos son aquellos que lo adaptan por falta de información técnica.

(Valentin et al. 2017) los autores diseñaron y fabricaron un sistema hidropónico de tipo piramidal en campo abierto y tierras bajas, el cual albergó 100 plantaciones, recircularon una solución nutritiva de 150 litros y un caudal de 33.33 ml/s. utilizaron como solución líquida un biofertilizante comercial con concentración de 1:1000. Con su sistema lograron utilizar un área con 169,49 % de eficiencia, pero la evaluación de su prototipo en plantas de lechugas romanas no tuvo alta significancia.

(Gonçalves et al. 2020) evaluaron un sistema hidropónico tipo banco observando los posibles impactos en el cultivo y basado en su factibilidad técnica, llevaron a cabo cuatro tratamientos (T1, T2, T3, T4), T4, T3, T2- solución furlani al 50, 75 y 100% respectivamente y T1 (solución furlani 100%,

con agua de efluente municipal). Cuando fueron cosechados las plantas de girasol en cada tratamiento cumplieron con las concentraciones de Mg, Ca , K, P y N en tallos y hojas de, Sin embargo T4 preparado con solución nutritiva de Furlani AL 50% mostro una gran diferencia en comparación con los otros tratamientos a muy a pesar de cumplir con la calidad comercial por ello concluyeron que T1, T2,T3 son los más aptos para cultivar girasol ornamental en un sistema hidropónico utilizando.

(Rangian, Pelealu y Baideng 2017) midieron el peso húmedo, peso seco, ancho de hoja, número de hojas, altura de las plantas de las variedades de mostaza Dakota ,Tosakan y Shinta, las cuales fueron cultivadas en un sistema hidropónico. La variedad de mostaza Tosakan tuvo mayor altura igual a 32.58 cm, ancho de hojas de 4.62 y peso seco y húmedo de 1.03 gr y 19.30 gr respectivamente, la mostaza shinta tuvo mayor cantidad de hojas con 12,77 y la mostaza Dakota tuvo los valores más bajos para todos los parámetros estudiados, Concluyeron que la variedad de mostaza Tosakan es la que mejor se adapta al sistema de hidroponía de balsa flotante.

(Perkasa et al. 2017) “Crecimiento de mostaza china(Brassica juncea(L.) checo.) sobre hidroponía-Concentraciones de soluciones nutricionales en el sistema NFT” su objetivo fue determinar la mejor aprobación para el crecimiento de la mostaza china en el sistema NFT, para ello estudiaron tres concentración de soluciones nutritivas (1050 ppm, 1200 pmm y 1400 pmm). En sus resultados obtenidos determinaron que las diferentes concentraciones de solución nutritiva no tienen efecto significativo sobre el peso fresco de la cosecha, el número de raíces, la longitud de la raíz, el número de hojas y la altura de la planta pero que pesar de eso la mejor concentración de solución nutritiva de 1050 ppm es el mejor tratamiento en comparación con las otras dos ya que es más eficiente el uso de vegemix A hydrofarm que vegemix B hydrofarm.

(Ananta,2021) Mencionan que un método para cultivar las hojas mostaza es la tecnología de hidropónica la cual tiene varias ventajas como un trabajo relativamente limpio y practico, temporadas de cosecha ajustables, uso más

eficiente y eficaz de los nutrientes y calidad de cultivo uniforme , utilizaron un sistema hidropónico de técnica NFT (película de nutrientes ) se enfocaron en evaluar la efectividad del sistema hidropónico de acuerdo a los parámetros de altura de la planta, numero de hojas, longitud de raíz, requerimiento de agua, ppm, y fluctuaciones de pH. Concluyendo que todos sus resultados son buenos y por tanto el uso del sistema hidropónico para el cultivo de hojas de mostaza también los es.

(Cao et al. 2018) Mediante un sistema de cultivo hidropónico durante 40 días, evaluaron la capacidad de acumulación, sus respuestas fisiológicas y la tolerancia ante la exposición de diferentes concentraciones de Cu en plantas de sauce (*Salix S.*) durante el proceso se observó que las plantas evidenciaban toxicidad. Los resultados sugirieron que 7 especies de sauce tienen alta tolerancia al cobre con un índice mayor a 0.6 cuando lo expusieron a 120  $\mu\text{m}$  de Cu mientras que esa misma exposición resulto en disminución del proceso de fotosíntesis en todas las especies. También obtuvieron que la mayor cantidad de cobre se acumuló en las raíces en un rango de 19,16 a 26,244 mg/kg DW. Además, el análisis de componentes sugiere que *S. matsudana*<sup>25</sup> y que *S. matsudana*<sup>89</sup> mostraron una biomasa y mayor potencial de acumulación que las otras especies y son candidatos con mayor capacidad para la fitoestabilización de Cu.

Niu et al. (2010) refieren que el suelo contaminado con metales pesados cadmio (Cd) y plomo (Pb) es difícil de remediar, también mencionan que la remediación con plantas puede ser un método viable para eliminar metales tóxicos del suelo, pero hay pocas plantas adecuadas que puedan hiperacumular los metales. Estudiaron entonces, la acumulación de Cd y Pb por cuatro plantas, incluido el girasol (*Helianthus annuus L.*), la mostaza o yuyo en cultivos hidropónicos. Los resultados mostraron que estas plantas podían fitoextractar metales pesados, la capacidad de acumulación difirió según las especies, concentraciones y categorías de metales pesados. Los valores de BCF (factor de bioconcentración) y TF (factor de translocación) indicaron que cuatro especies tenían diferentes capacidades de fitoextracción y transporte de metales pesados. Los cambios en la biomasa de las plantas, el pH y la Eh en diferentes

tratamientos revelaron que estas cuatro plantas tenían distintas respuestas al Cd y Pb en los cultivos. En los tratamientos de Pb, los contenidos de Pb en girasol fueron 589,50 mg/kg, 703,21 mg/kg y 917,82 mg/kg en los tratamientos de Pb-50, Pb-100 y Pb-200, respectivamente. La acumulación de Pb por mostaza fue la más alta (835,54 mg/kg) a una concentración de 200 mg/L ( $P < 0.05$ ). El enriquecimiento de Pb absorbido por ricinus fue el más bajo ( $P < 0.05$ ).

Ahmad y Gupta, (2013) refieren que la contaminación con arsénico (As) en el medio ambiente ha atraído una atención considerable en todo el mundo. En este estudio vieron el efecto comparativo de las especies As (III) y As (V) sobre la acumulación, las respuestas bioquímicas y el análisis de la expresión génica en *Brassica juncea* variedad *Pusa Jaganath* (PJn) Plantas de 14 días cultivadas de forma hidropónica. La acumulación total a medida que aumentó respecto a la concentración de ambas especies y el tiempo de exposición, principalmente en las raíces. La reducción en la germinación de las semillas, la longitud de la raíz y el contenido de clorofila y proteínas se observaron al aumentar la concentración y el tiempo de exposición de ambas especies de As, y se encontró más en las hojas tratadas con As (III). El análisis en hojas mostró cambios significativos en el perfil de proteínas con un efecto más riguroso con el estrés con As (III). *PCS*), metalotionina-2 (*MT-2*), glutatión reductasa (GR) y glutatión sintetasa (*GS*) con genes tanto en estrés As (III) como As (V). Los resultados sugirieron que la acumulación y la inhibición en los parámetros fisiológicos difieren según la especie AsI, mientras que los parámetros moleculares y bioquímicos mostraron un mecanismo de tolerancia de tipo combinatorio contra el estrés de As (III) y As (V). En los resultados la creciente concentración de especies de As mostró inhibición máxima en el contenido de clorofila a 300  $\mu$ M As (III) (63,20 %) y As (V) (56,19 %) después de 96 h. El nivel del contenido total de proteínas también mostró inhibición máxima en mayor concentración (300  $\mu$ M) y tiempo de exposición (96 h), que fue 74,03 % para As (III) y 68,26 % para As (V), respectivamente.

La hidroponía es un método de agricultura desarrollado para cultivar plantas sin suelo. Esto se hace mediante el uso de una solución nutritiva y el

cultivo de plantas ya sea en un sustrato inerte o fuera del suelo, a veces llamado cultivo sin suelo, o sin ningún sustrato, hidroponía verdadera (Jensen 2015). El suelo actúa como un medio para almacenar los diversos nutrientes necesarios para el crecimiento. (Campbell y Reece ,2002).

A pesar de que muchos creen que es una tecnología revolucionaria, la hidroponía aún no ha superado a la agricultura de campo abierto como el método de producción principal para muchos cultivos dentro de la industria agrícola, aunque hay espacio para el optimismo (Jensen,2015).

La mayoría de ventajas de la hidroponía son derivadas de la independencia del suelo. El crecimiento independiente del suelo reduce muchos de los efectos perjudiciales causados por la producción de cultivos en campo abierto. Las plantas en sistemas hidropónicos cuidadosamente controlados pueden cultivarse durante todo el año, colocarse más juntas físicamente, o incluso apilarse verticalmente, lo que conduce a mayores rendimientos de producción. Como la hidroponía utiliza una solución nutritiva en lugar del riego en campo abierto, consume aproximadamente 70 %-95 % menos de agua que la producción tradicional de cultivos en campo abierto (Bradley ,2001).

La solución nutritiva también se puede controlar y mantener, evitando efectivamente que se convierta en escurrimiento. Además, los sistemas hidropónicos se pueden construir en áreas que normalmente no serían compatibles con la producción de cultivos de suelo (por ejemplo, ambientes urbanos áridos). El cambio hacia el cultivo hidropónico de alimentos en entornos urbanos podría limitar la pérdida de hábitats naturales, retener ecosistemas más naturales y crear una progresión natural hacia la restauración del hábitat (Nelkin y Caplow 2008).

Actualmente, dentro del campo de la hidroponía hay muchas técnicas diferentes que se pueden utilizar al construir un sistema. Esto dependerá principalmente del tipo de planta, así como de las limitaciones del espacio de cultivo y/o crecimiento (Jensen 1997). En general, estas técnicas se pueden

dividir en dos tipos de sistemas: abierto y cerrado. Si bien estos tipos de sistemas pueden compartir muchas características, incluido el diseño, difieren fundamentalmente en la forma en que administran la solución nutritiva (Abd Elmoniem et al. 2006).

Los sistemas abiertos, también conocidos como sistemas de desperdicio, son aquellos donde la solución de nutrientes fluye a través del sistema solo una vez. Este tipo de gestión de la solución de nutrientes proporciona dos ventajas principales: 1) elimina la necesidad de mantener la solución de nutrientes y 2) reduce el riesgo de infección. Aparte de estas ventajas, los sistemas abiertos tienen una desventaja principal: desperdician una gran cantidad de agua y nutrientes (Medrano et al. 2005).



*Figura 1. Sistemas hidropónicos abiertos*

*Fuente: (Medrano et al. 2005)*

Los sistemas cerrados reutilizan la solución nutritiva mediante recirculación durante un período de tiempo no especificado. En este tipo de sistema, la solución de nutrientes se monitorea y ajusta regularmente para mantener las proporciones adecuadas de nutrientes. Los ajustes comunes son mantener el volumen de la solución nutritiva, a través de las adiciones de agua, y los niveles de concentración de nutrientes, a través de las adiciones de la solución de nutrientes. En contraste con los sistemas abiertos, los sistemas cerrados conservan el agua y los nutrientes, lo que reduce drásticamente los

desechos (Abd Elmoniem et al. 2006). En general, los sistemas cerrados pueden usar 20 %-40 % menos de agua y nutrientes que los sistemas abiertos, pero son más difíciles de monitorear y mantener (Medrano et al. 2005). Esta dificultad surge de la acumulación de iones a medida que la solución nutritiva recircula. Además, la recirculación requiere una infraestructura de reservorios y sistemas de bombeo que deben ser monitoreados y mantenidos para funcionar de manera óptima (Lykas et al. 2006).



*Figura 2. Sistemas hidropónicos cerrados*  
*Fuente: (Lykas et al. 2006)*

Allen Cooper y sus colegas desarrollaron por primera vez La técnica de película de nutrientes (NTF) revolucionaria en 1966 y continuaron desarrollándola durante la próxima década. Fue el mayor cambio en el crecimiento hidropónico desde la década de 1930 y poco después se creía que era la técnica del futuro. Consiste en un canal ligeramente inclinado que permite que un flujo superficial, o película, de solución nutritiva pase sobre las raíces de la planta que están suspendidas dentro del canal. Idealmente, este flujo superficial no debería tener más de unos pocos centímetros de profundidad, pero un rango de unos pocos centímetros a una o dos pulgadas a menudo se considera aceptable (Resh 2013).

En general, estos sistemas consisten en canales que se apoyan en soportes y se les suministra una solución nutritiva desde un reservorio. Los



canales están moldeados a partir de varios tipos de plásticos que son opacos y permiten la protección UV. Los soportes proporcionan los medios para crear la suave pendiente en el canal. Esta pendiente dependerá de la longitud total del canal y variará con el cultivo en particular. Por lo general, la pendiente deseada es aquella que produce un caudal de efluente entre 1 y 2 litros por minuto. Por diseño los sistemas NFT suelen ser sistemas cerrados. La solución nutritiva puede recuperarse fácilmente al final del canal, devolverse al reservorio y volver a aplicarse a las raíces de la planta. Bajo un enfoque de sistema cerrado, la solución de nutrientes requerirá un monitoreo regular para mantener su composición de nutrientes (Spensley, Winsor y Cooper 1977) .

Los sistemas NFT proporcionan algunas ventajas en comparación con otros sistemas hidropónicos. Esto se relaciona principalmente con un mayor grado de control del entorno raíz. Principalmente, el riego se simplifica en gran medida en este tipo de sistema, ya que se reemplaza esencialmente con un sistema de riego pasivo. La solución nutritiva se puede controlar con facilidad, ya que la misma solución riega todas las plantas, lo que lleva a un sistema que es más eficiente que la mayoría, al conservar agua y nutrientes (Graves 1980).

Los sistemas NFT también tienen desventajas y complicaciones. Al igual que con la mayoría de los sistemas hidropónicos, los costos de capital de NFT son inicialmente altos, debido principalmente a los costos de materiales e instalación. Los sistemas hidropónicos NFT también requieren un alto nivel de habilidad técnica por parte del productor para funcionar correctamente, especialmente a nivel comercial. Además, al igual que con la mayoría de los tipos de sistemas de recirculación, el NFT tiene un mayor riesgo de enfermedad porque todas las plantas comparten la solución nutritiva. Las desventajas más específicas surgen del diseño del sistema en sí mismo y de la dinámica de la solución de nutrientes a medida que fluye a través del canal. La primera complicación surge cuando las soluciones de nutrientes se agotan de oxígenos disueltos y nutrientes por parte de las plantas antes en el sistema. Esto puede dar como resultado un gradiente de nutrientes que se manifestará como

deficiencias en las plantas en el extremo más alejado del sistema (Graves 1980). Para eliminar esta desventaja, la única opción es hacer que los canales tengan una longitud más corta, no más de 30 pies o 50 pies, y/o más anchos; ambos pueden afectar los costos (Resh 2013). En general, estas desventajas se pueden minimizar o eliminar mediante la administración y el diseño adecuados del sistema. Bajo el control de un cultivador experimentado, NFT ha sido una técnica hidropónica extremadamente común y productiva tanto en investigación como en la industria (Spensley, Winsor y Cooper 1977).

Muchas formulaciones de soluciones de nutrientes tempranas todavía se usan hoy en día, tanto de manera experimental como comercial (Economakis 1990). De las muchas formulaciones disponibles, pocas están tan bien documentadas en uso como la solución nutritiva de Hoagland. La solución de Hoagland tiene límites de uso y cualquier derivación de ella, la llamada solución de Hoagland modificada, es en sí misma una solución nutritiva novedosa. Sin embargo, la replicación de cualquier solución nutritiva particular no es tan importante como mantenerla, en sistemas cerrados (Hoagland y Arnon 1950).

El agua es el ingrediente principal en una solución nutritiva y, por lo tanto, el factor más importante para el crecimiento. Hoy en día, la mayoría del agua municipal contiene una variedad de iones y/o se trata químicamente, lo que da como resultado cantidades inusualmente altas de residuos de cloro (Graves 1980). Si bien esto puede no ser inmediatamente perjudicial para el crecimiento de la planta, en combinación con el uso continuo de la solución nutritiva podría contribuir a la acumulación de iones tóxicos a lo largo del tiempo o interferencia al analizar ciertos parámetros dentro de la solución nutritiva. El agua municipal generalmente tiene un pH cercano o superior a 7. Se suele recomendar la utilización de algún tipo de sistema de filtración, como una unidad de ósmosis inversa, ya que elimina la mayoría de las impurezas de la fuente de agua utilizada (Resh 2013).

El mantenimiento de la solución nutritiva es fundamental para garantizar una nutrición óptima de la planta. Las soluciones de nutrientes se deben mezclar

con una variedad de sales de nutrientes para asegurar plantas saludables. Estos nutrientes se agregan según la idea de esencialidad, donde se determina que un nutriente es esencial si su ausencia: 1) impide que la planta crezca o se reproduzca, 2) es específica del elemento en cuestión, y 3) es requerido específicamente por la planta y no crea condiciones ambientales favorables para la planta (Arnon y Stout 1939).

La mostaza (*Brassica juncea*) es un importante cultivo de semillas oleaginosas que pertenece a la familia crucífera (*Syn. Brassicaceae*). La mostaza de la India o la mostaza marrón son los anfidiplóides naturales que tienen el cromosoma  $n^{\circ}$  ( $2n = 36$ ). Es autopolinizada pero cierta cantidad (2 %-15 %) de polinización ocurre debido a insectos y otros factores. El lugar de origen de la mostaza es China, al noreste de la India, desde donde se ha extendido hasta Afganistán a través de Punjab y es cultivada en diversos lugares del planeta (Vaughan 2006).

La mostaza es un cultivo de estación fría, que requiere un rango de temperatura de 6 °C-26 °C. La mostaza sigue la ruta  $C_3$  de la asimilación de carbono, por lo tanto, tiene una respuesta fotosintética eficiente a una temperatura de 15 °C-20 °C. A esta temperatura la planta consigue la máxima asimilación de  $CO_2$ . La mostaza se cultiva generalmente como condición de secano y es moderadamente tolerante a la acidez del suelo, requiere de un suelo bien drenado con un pH cercano al neutro. Tiene un bajo requerimiento de agua (240 mm-400 mm) que se adapta bien al sistema de cultivo alimentado por la lluvia. Casi el 70 % del área (Ram Junjariya 2014).

En la India, la mostaza se cultiva en aproximadamente 6,5 ha con una producción total de alrededor de 7,7 ton. y una productividad promedio de 1179 kg/ha (Anónimo 2011).



Figura 3. Planta de mostaza o yuyo

Fuente: (Ram Junjariya 2014)

Tabla 1. Composición nutricional de la mostaza por 100 g

Composición	Semilla de mostaza
Agua	6,86
Cenizas	4,51
Proteína	24,94
Grasas	28,76
Carbohidratos	34,94
Fibra dietética	1,8

Fuente: (Peter 2001)

Las áreas mineralizadas ricas en sulfuro, especialmente aquellas en las que están presentes minas de roca dura, pueden generar drenaje ácido de la mina (DAM). Además de crear acidez, DAM libera metales al medio ambiente. Debido a que los metales generalmente ocurren en cuerpos minerales, DAM generalmente libera mezclas de metales en lugar de metales individuales (Schemel, Kimball y Bencala 2000).

Aunque la identidad y las proporciones de los metales dependen de la composición de la roca mineralizada, los metales que incluyen Cd, Cu, Ni y Zn son de particular preocupación en muchos sitios de minería de roca dura. El drenaje ácido de minas de minas heredadas es un problema de contaminación

generalizada y persistente, particularmente para los recursos hídricos, que son alterados en composición por la presencia de estos elementos tóxicos (Schemel, Kimball y Bencala 2000).

El cobre se encuentra presente en el grupo IB, tiene un color marrón rojizo brillante opaco, la masa atómica relativa de Cu es 63,546. El cobre es maleable, un buen conductor térmico y un excelente conductor eléctrico. Tiene cuatro estados de oxidación: Cu metálico ( $\text{Cu}^0$ ), ion cuproso (Cu (I) o  $\text{Cu}^+$ ), ion cúprico (Cu (II) o  $\text{Cu}^{2+}$ ) e ion trivalente ( $\text{Cu}^{3+}$ ) (Lide 2017). Las propiedades químicas del Cu dependen del estado electrónico u oxidativo en que reside el Cu. La facilidad con la que el Cu cambia el estado de oxidación da a las propiedades redox del Cu que pueden ser tanto beneficiosas como perjudiciales para los sistemas biológicos (Dameron y Howe 1998).

En lo que respecta al cobre presente en suelos, su textura es de lo que llega a depender la movilidad de los metales y metaloides, ya que pueden ser adsorbidos por las partículas, principalmente con las arcillas. En suelos con clase textural franco arcilloso arenoso, los que se considera como textura fina (tiene mayor proporción de limo y arcilla); cuentan con mayor espacio porosa (38.38 %). materia orgánica (3.9%), baja densidad aparente (1.51 g/cm<sup>3</sup>) y una densidad real de 2.44 g/cm<sup>3</sup>.(Akoto et al. 2016)

El cobre es uno de los elementos esenciales para todos los organismos, ya que se incorpora en un gran número de proteínas con fines catalíticos y estructurales. Sin embargo, el cobre también es tóxico para los organismos que ingieren o están expuestos a niveles excesivos. En altas concentraciones, el cobre inhibe el crecimiento e interfiere con varios procesos celulares, como la fotosíntesis, la respiración y la actividad enzimática. Por lo tanto, el cobre se considera peligroso para el medio ambiente, especialmente el ecosistema acuático (Flemming y Trevors 1989).

El amplio uso del cobre influye en la carga de este metal al medio ambiente y está llevando a un aumento del contenido de cobre en el sistema acuático urbanizado. Cuando la concentración de cobre en el ambiente supera un cierto nivel, la diversidad microbiana, las poblaciones y las actividades se ven afectadas (Boivin 2005).

Dado que los microorganismos desempeñan un papel importante como descomponedores primarios en el ecosistema acuático, el cobre se considera un contaminante en el ecosistema acuático. Por lo tanto, el contenido de cobre en el ambiente, como en el suelo, el agua y los sedimentos, debe considerarse en los programas de monitoreo / manejo ambiental (Brils 2008).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

##### 3.1.1. Tipo de la investigación

El presente trabajo de investigación es del tipo aplicada, ya que esta es caracterizada por el empleo de los conocimientos recabados de los antecedentes que serán posteriormente aplicados en la parte experimental del trabajo de investigación.

##### 3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño que se aplicó fue el  $2^3$  en vista de que el proceso consta de tres factores A (tipo de solución) B (dosis de solución nutritiva) y C (tiempo de contacto) cada uno de estos factores constará de dos niveles, entonces se realizará 8 pruebas experimentales además realizará dos replicas más obteniendo en total 16 corridas experimentales. El cuadro del diseño experimental vendría a ser el siguiente.

Tabla 2. Interacción del tiempo de contacto, tipo y dosis de solución nutritiva en la remoción de cobre (II)

		Tipo de solución (TS)			
		A		B	
Tiempo de contacto ( $\beta$ )	Dosis (D)				
	A = 10 L	B = 20 L	A = 10 L	B = 20 L	
TD <sub>1</sub>	Y <sub>111</sub>	Y <sub>211</sub>	Y <sub>311</sub>	Y <sub>411</sub>	
	Y <sub>112</sub>	Y <sub>212</sub>	Y <sub>312</sub>	Y <sub>412</sub>	
TD <sub>2</sub>	Y <sub>121</sub>	Y <sub>221</sub>	Y <sub>321</sub>	Y <sub>421</sub>	
	Y <sub>122</sub>	Y <sub>222</sub>	Y <sub>322</sub>	Y <sub>422</sub>	

Fuente: Elaboración Propia

#### Donde:

- TD (tiempo de contacto) = TD1 y TD2: (7 días y 10 días)

- D (dosis de solución nutritiva) = D1 y D2 (10 L y 20 L)
- TS (tipo de solución) = A y B
- $Y_{nn}$ = Remoción de (Cu)

El modelo lineal general para este diseño experimental será aplicando el modelo ANOVA (Marin 2014).

$$y_u = \mu_0 + \alpha_1 + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon$$

Se muestra el modelo más detallado:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:  $\tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij}$  son los efectos de los factores de TD, D y la interacción TD-D respectivamente y  $y_{ijk}$ ,  $\mu$  y  $\varepsilon_{ijk}$ , son observación dentro del experimento, media poblacional y el error experimental respectivamente.

### 3.2. Variables y Operacionalización

Dentro de las variables independientes tenemos: “Sistema Hidropónico” (Ver anexo N°4)

- Definición conceptual: La hidroponía es un método de agricultura desarrollado para cultivar plantas sin suelo. Esto se hace mediante el uso de una solución nutritiva y el cultivo de plantas ya sea en un sustrato inerte o fuera del suelo (Jensen 2015)
- Definición operacional: El sistema hidropónico usando la técnica de flujo de nutrientes (NFT), Consiste en canales ligeramente inclinados que permite que un flujo constante superficial de solución nutritiva pase sobre las raíces de la planta que están suspendidas dentro del canal (Resh 2013). La solución nutritiva puede recuperarse fácilmente al final del canal, devolverse al reservorio y volver a aplicarse a las raíces de la planta (Spensley, Winsor y Cooper 1977).

Y como variables dependientes: Eficiencia de Remoción de Cobre

- Definición conceptual: Se refiere a la supresión del cobre (metal pesado tóxico) de la fuente natural donde está causando alteraciones (agua, suelo o aire) (San Marcos 2016).



- Definición operacional: La remoción del Cu de las aguas del río Mantaro fueron analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica

### 3.3. Población, muestra y muestreo

#### 3.3.1. Población

En la presente investigación se considera como población las aguas del río Mantaro.

#### 3.3.2. Muestra

La muestra se halló aplicando la ecuación mostrada a continuación para una población infinita, en donde nuestro tamaño de muestra representará el caudal.

$$n_o = \frac{Z_{\alpha}^2 \times P \times Q}{E^2}$$

Dónde:

$n$ : Tamaño de muestras

$n_o$ : Tamaño aproximado de muestra

$N$ : Tamaño de la población que se está estudiando

$Z_{\sigma}$ : Valores correspondientes al valor de significancia

$E$ : Error de la tolerancia de investigación

$\sigma^2$ : Varianza de la variable

Hallando  $Z$  a partir del valor normal, aplicando la formula con

Se halla el valor normal con la siguiente fórmula, donde  $\alpha =$

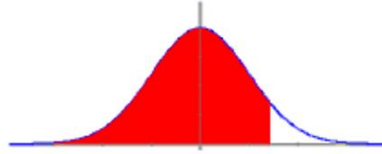
0,06:

$$V_N = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) = \left(1 - \frac{0,06}{2}\right) = 0,97$$

Mediante tablas de distribución e interpolación, hallamos el nivel de significancia  $Z = 1,89$ :

TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL

$$P(Z \leq z) = F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767

Donde

Tabla 3. Datos de la muestra

P=	0,50
Q=	0,50
E=	0,05
Z(α)=	1,89
N=	infinito
n=	357,21

Fuente: Elaboración propia

El caudal de agua del río Mantaro que se usará para el sistema hidropónico NFT será de 357,21 mL/min, generalizando se tendrá un caudal de 400 mL/min.

### **3.3.3. Muestreo**

Se recolectarán muestras significativas de las aguas del río Mantaro (margen Izquierda, centro poblado de la Huaycha, Concepción), para ello se tomará como guía el protocolo propuesto por (Autoridad Nacional del Agua 2016).

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1. Técnica**

Las técnicas que se emplearon son:

- Observaciones de campo, realizadas al momento de la recolección de las muestras.
- Los experimentos realizados en el laboratorio para determinar la remoción de cobre.
- Los análisis tanto inicial como final que determinaron la concentración de cobre.

### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

- Procedimientos para la recolección de muestras.
- El monitoreo de las variables en tiempo real, durante el desarrollo de las pruebas experimentales.
- Los reportes recabados de los laboratorios certificados en donde se analizaron las muestras.

## **3.5. Procedimiento**

### **3.5.1. Recolección de muestras**

Se recolectaron muestras significativas de las aguas del río Mantaro (margen Izquierda, centro poblado de la Huaycha, Concepción), para ello se tomó como guía el protocolo propuesto por (Autoridad Nacional del Agua 2016).

#### **Consideraciones previas al muestreo**

Se alistaron todos los materiales y equipos a utilizar en la toma de muestras, entre ellos las cadenas de custodia, registros de campo, frascos de muestreo, GPS, baldes de recolección y brazo muestreador.

Una vez recibidos los frascos de muestra enviados por el laboratorio donde se realizaron los análisis respectivos, se rellenaron sus rótulos con los datos respectivos según el formato del laboratorio y se cubrió la etiqueta con cinta adhesiva transparente.

Se alistaron los EPPs necesarios para la recolección de muestras, como guardapolvo, mascarilla, lentes, guantes de látex y zapatos de seguridad principalmente.

### **Procedimiento para recolección de muestras**

Se realizó un muestreo puntual y para ello se identificó un punto accesible para recolectar las muestras respectivas de aguas contaminadas del río Mantaro, margen izquierda, en el centro poblado de La Huaycha-Concepción.

Una vez identificado el punto se registraron las coordenadas en el sistema UTM (Universal Transverse Mercator) con la ayuda de un GPS (Sistema de Posición Global).

Seguidamente se colectaron las muestras en los envases respectivos, sumergiéndolos de manera directa y contraria al flujo del río, dejando un ligero espacio para agregar el preservante.

Se agregó el preservante que, para el caso de análisis para cobre, fue ácido nítrico al 1 %.

Por último, los envases se llenaron en un cooler para ser transportados hacia el laboratorio certificado donde fueron analizadas las muestras.

Adicionalmente, para las corridas experimentales se recolectaron 40 L de agua del río Mantaro.

### **Caracterización fisicoquímica de la muestra de agua del río Mantaro**

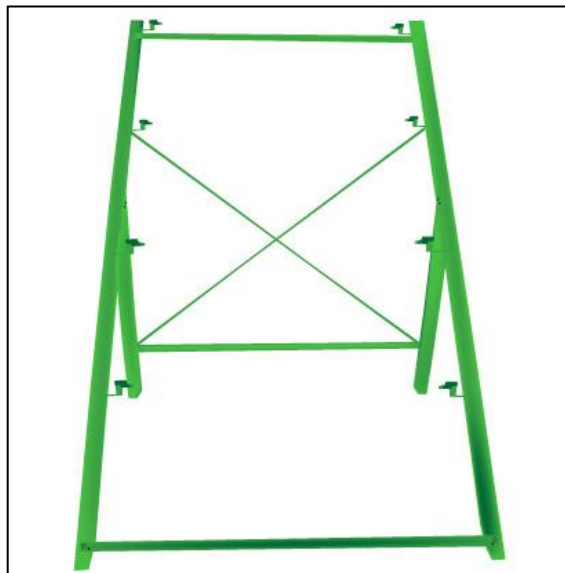
Se enviaron las muestras representativas al laboratorio certificado donde se realizaron los análisis fisicoquímicos respectivos para la determinación inicial de la concentración de cobre presente en las aguas del río Mantaro.

### 3.5.2. Construcción del sistema hidropónico NTF tipo piramidal

La construcción del sistema hidropónico piramidal aplicando la técnica de película de nutrientes (NTF) fue adaptado de (Hydro Environment 2019; Rivera Arreondo 2015).

#### **Estructura del sistema hidropónico:**

Se mandó a construir una estructura metálica para el soporte de los cuatro ductos hidropónicos que se colocaron, esta tuvo una altura de 2 metros, como se muestra en la siguiente imagen. Los soportes para los canales de cultivo estuvieron separados 40 cm uno del otro.



*Figura 4. Estructura metálica*

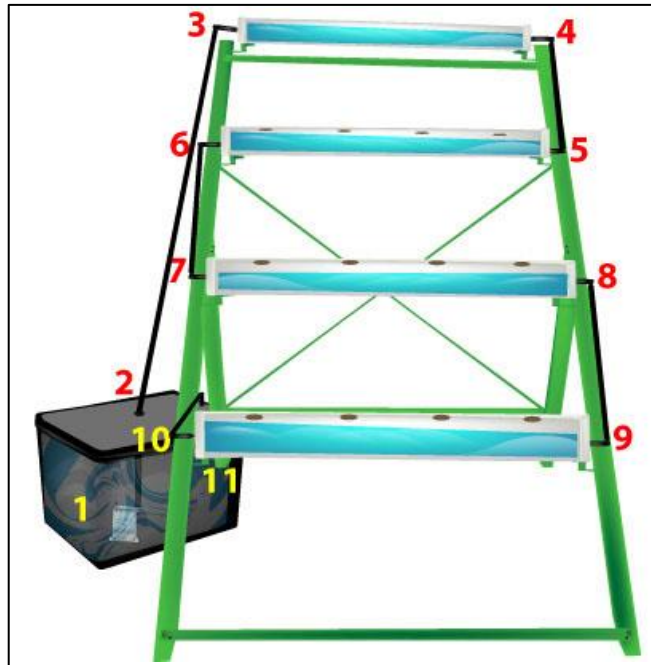
*Fuente: (Hydro Environment 2019)*

#### **Canales de cultivo del sistema hidropónico**

Los canales de cultivo para el sistema fueron construidos con tubos de PVC de 3 pulgadas de diámetro y 1m de largo. Se construyeron 4 canales de cultivo, los cuales fueron sellados por los extremos, dejando un orificio para la conexión de las tuberías por donde circuló el agua. Se abrieron orificios de 6 cm de diámetro dónde se colocaron las plantas, cada orificio estuvo separado 20 cm del otro.

### **Tuberías de conexión del sistema hidropónico**

Para la red de conexión de tuberías para todo el sistema se usaron 4,25 metros de polytubos de ½ pulgada de diámetro, el cual se instaló a la bomba y mediante codos de ½ pulgada, fueron conectados hacia los extremos de los canales de cultivo y recorrió toda la pirámide, como se muestra en la siguiente imagen.



*Figura 5. Distribución de tuberías por el sistema hidropónico*

*Fuente: (Hydro Environment 2019)*

### **Tanque colector**

Se utilizó un tanque de plástico con tapa de 20 L de capacidad, como se muestra en la figura 5, que tuvo en la tapa dos orificios, uno que conectó la bomba con la tubería de salida y otro orificio para la tubería de entrada.

### **Bomba de agua**

Se usó una bomba de 1 HP de potencia, la tubería de entrada al tanque fue conectada con un succionador inoxidable que evitó la entrada de sustancias que dañen la bomba. La bomba fue conectada con la tubería de salida para que impulse el agua hacia todo el sistema.

### **3.5.3. Preparación de solución nutritiva para el sistema hidropónico**

Se prepararon dos soluciones nutritivas para el sistema, tomando como guía las soluciones preparadas por (Murillo Oporto 2010).

- La solución A: constó de 0,932 g de nitrato de potasio y 18,526 g de nitrato de calcio disueltas en 20 L de agua del río Mantaro descloradas.
- La solución B: constó de 15,274 g de fertilizante Plant-Prod Canada, 7,876 g de sulfato de magnesio, 0,0842 g de quelato de hierro y 5,024 g de nitrato de amonio disueltas en 20 L de agua del río Mantaro descloradas.

#### **Germinación de las plantas para el sistema hidropónico**

Se germinaron las plantas con la ayuda de un semillero o germinados de 200 cavidades, una charola lisa y las semillas de mostaza china o yuyo.

Se desinfectó la charola lisa para evitar la presencia de microorganismos que afecten a las plantas, seguidamente se esparció 250 g de fibra de coco en la charola con un poco de agua para humedecerla y formar una pasta que sirvió como soporte de las plantas, a continuación, se colocó el sustrato en el semillero y se sembró cada semilla en cada orificio presente.

Terminado el cultivo, se pasó a cubrir el semillero con el sustrato de fibra de coco y se colocó en la charola lisa.

Se colocaron el semillero en un lugar donde lleguen los rayos del sol y estos fueron regados diariamente cuidando que el sistema se mantenga en condiciones óptima de humedad y temperatura.

Una vez cada semana durante un periodo de 15 días de germinación se aplicó el fertilizante Plant-Prod Canada para el correcto crecimiento de las plantas (Ebbs y Kochian 2010).

### **Trasplante de plantas germinadas al sistema hidropónico**

Pasados los 15 días de germinación de las plantas, se realizó el trasplante hacia el sistema hidropónico, para ello se usaron canastillas especiales para NFT y hule de espuma, basándonos en (Hydro Environment 2019).

Se cortaron hules de espuma de 10 cm de largo por 5 cm de ancho para que sujeten las plantas en la canastilla.

Se sacaron cuidadosamente con la ayuda de un baja lenguas, las plantas más desarrolladas, cogiéndolas del tallo y al sacarlas se las introdujo a la orilla de un vaso con agua para no dañar las raíces, inmediatamente se colocó una parte de la raíz en la parte inicial del hule de espuma y se pasó a enrollarlo completamente.

Finalmente se colocaron las plantas enrolladas con el hule de espuma en las canastillas, teniendo cuidado de que la raíz salga por el orificio inferior de la canastilla, y se las colocó en los canales de cultivo del sistema hidropónico.

#### **3.5.4. Desarrollo del cultivo hidropónico usando la técnica de flujo de nutrientes (NFT)**

El desarrollo fue adaptado de(Pokluda 2016) (Rivera 2015)(Ebbs y Kochian 2010).

Se inició colocando el volumen de agua recolectada del río Mantaro en el tanque colector con las dosis de nutrientes que fueron de 10 L y 20 L de soluciones de nutrientes preparadas anteriormente, para el caso del volumen de 10 L se agregó 10 L más de agua recolectada del río Mantaro desclorada para completar el volumen del tanque colector.

Se inició con el cultivo que se cultivaron por un periodo total de 71 días, y se cambió el agua con las soluciones nutritivas cada 7 días y 10 días de acuerdo al diseño experimental.



En todo el tiempo del proceso se midió la temperatura y el pH teniendo cuidado que la temperatura permanezca en un rango de 20 °C y 25 °C y el pH entre 6,5 a 7.

### 3.5.5. Mediciones de reducción de cobre

Cada vez que se cambió la solución nutritiva en el tanque colector, se sacaron muestras representativas de las aguas para sus análisis respectivos para identificar la concentración final de cobre en las aguas del río Mantaro mediante el análisis de espectrofotometría de adsorción atómica.

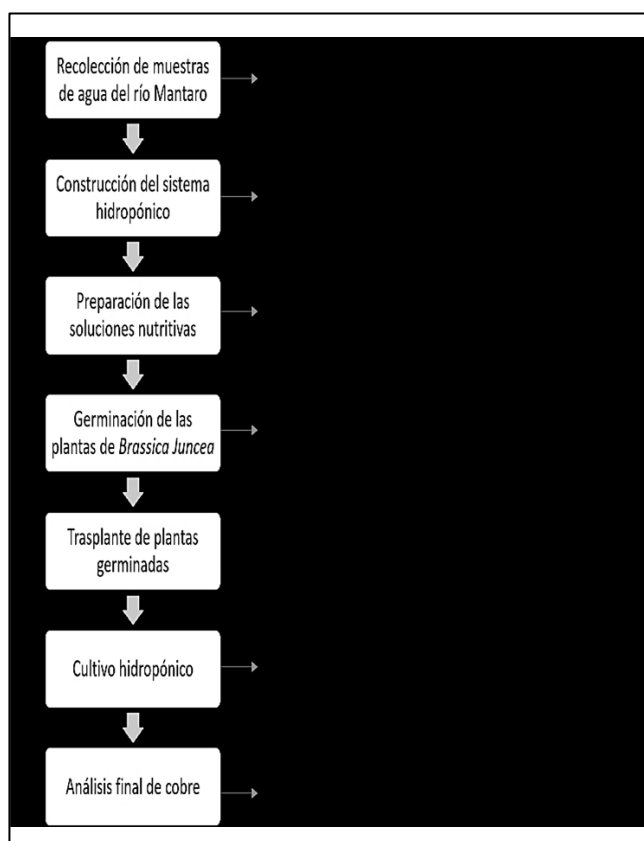


Figura 6. Diagrama de flujo del cultivo de Brassica juncea en un sistema hidropónico para la remoción de cobre de las aguas del río Mantaro

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Esquema experimental según los tiempos de contacto

Caracterización fisicoquímica inicial de las aguas del río Mantaro	Construcción del sistema hidropónico	Preparación de las soluciones nutritivas	Cultivo hidropónico de las plantas germinadas	Tiempo de dosificación de las soluciones nutritivas	Corrida Experimental	Interpretación de resultados
				<p>El diagrama muestra un flujo de agua desde la izquierda hacia la derecha. En la columna 'Preparación de las soluciones nutritivas', el flujo se divide en dos canales superiores e inferiores. En la columna 'Cultivo hidropónico de las plantas germinadas', los canales se vuelven a unirse. En la columna 'Tiempo de dosificación de las soluciones nutritivas', el flujo se divide nuevamente en dos canales superiores e inferiores, etiquetados como D1 y D2. Desde D1, se ramifican dos líneas que indican tiempos de contacto T1 y T2. Desde D2, se ramifican dos líneas que indican tiempos de contacto T1 y T2.</p>	<p>R<sub>1</sub></p> <p>R<sub>2</sub></p> <p>R<sub>3</sub></p>	
					<p>R<sub>4</sub></p> <p>R<sub>5</sub></p> <p>R<sub>6</sub></p>	
					<p>R<sub>7</sub></p> <p>R<sub>8</sub></p> <p>R<sub>9</sub></p>	
					<p>R<sub>10</sub></p> <p>R<sub>11</sub></p> <p>R<sub>12</sub></p>	
Muestreo puntual, para análisis fisicoquímico inicial, especialmente determinación de concentración de cobre presente en las aguas.	Estructura metálica de 2m de alto.  Con 4 canales de cultivo y cada uno presentará 4 contenedores para las plantas (Hydro Environment, 2019).	Preparación de soluciones (Murillo Oporto, 2010).  Solución A: 0,932g KNO <sub>3</sub> + 18,526g de Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .  Solución B: 15,274g Plant-Prod Canada + 7,876g MgSO <sub>4</sub> + 0,0842g quelato de hierro + 5,024 NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Germinación de <i>Brassica juncea</i> periodo de 15 días (Hydro Environment, 2019).  Trasplante de plantas al sistema hidropónico.  Temperatura constante entre 20°C y 25°C.  pH constante entre 6,5 y 7.	Valores de la dosis y tiempo de dosificación para el sistema hidropónico (Ebbs & Kochian, 2010; Pokluda, 2016; Rivera Arreondo, 2015).  T1 (tiempo 1) = 7 días T2 (tiempo 2) = 10 días  D1 (dosis 1) = 10L D2 (dosis 2) = 20L		

Fuente: Elaboración Propia

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

#### **3.6.1. Estadísticos**

Se aplicó la versión N° 18 del programa MINITAB para el desarrollo del diseño propuesto, de tal manera se obtuvo los análisis de dispersión, así como también la linealidad de resultados. Se hizo uso también del Excel para los diagramas de frecuencia.

#### **3.6.2. Representación**

Se hizo uso de tablas, graficas en barra, graficas en superficie, diagramas de torta para las representaciones respectivas.

#### **3.6.3. Técnica de comprobación de la hipótesis**

Se hizo uso de la prueba conocida como t de student con ello se pudo comparar las medias con respecto a la caracterización de las muestras líquidas, para las pruebas de los resultados de cada prueba experimental y sus réplicas se hizo uso de la prueba de Tukey de esta manera se realizó la comparación de la varianza en función de los resultados y así poder precisar la influencia de las variables.

### **3.7. Aspectos éticos**

El presente proyecto de investigación respetó la autenticidad de los autores, citándoles según la norma ISO 690, también respeta los procedimientos establecidos por la Universidad Cesar Vallejo de acuerdo a la resolución del consejo universitario N° 0126-2017/UCV. Asimismo, los instrumentos de validación fueron aprobados por profesionales expertos de la universidad. Finalmente se verificó la no copia de la investigación mediante el programa de TURNITIN

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Presentación de Resultados

#### 4.1.1. Concentración inicial de Cobre

Para hallar la concentración de cobre, expresado en porcentaje, fue necesario hallar la concentración inicial del cobre en las aguas del río Mantaro, (margen Izquierda, centro poblado de la Huaycha, Concepción), para ello se tomó como guía el protocolo propuesto por (Autoridad Nacional del Agua 2016), estas muestras recolectadas, fueron llevadas al laboratorio Certificado LABPERÚ en donde mediante análisis de espectroscopia de emisión atómica por plasma de acoplamiento inductivo (ICP) se realizó la caracterización fisicoquímica de las aguas del río Mantaro, en donde la concentración inicial de cobre que arrojaron los reportes se muestran en la Tabla 5.

*Tabla 5 Concentración inicial de cobre en las aguas del río Mantaro-sector Concepción*

	<b>Concentración de Cu (II)</b> <b>(ppm)</b>
Replica I	0,277
Replica II	0,281
Promedio	0,279

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se presenta en la Tabla 5 la concentración inicial de cobre (Cu(II)) presente en las aguas del río Mantaro, en la provincia de Concepción en los dos reportes de las muestras, tanto I y II fueron de 0,277 ppm y 0,281 ppm respectivamente haciendo un promedio final de 0,279 ppm.

#### 4.1.2. Influencia del tipo de solución nutritiva, dosis de soluciones y tiempo de contacto

Para la determinación de cobre en las aguas del río Mantaro, después de haberse realizado el tratamiento mediante el sistema hidropónico con los dos tipos de soluciones A y B, se sacaron alícuotas de 20 mL que se trasladaron al laboratorio certificado LABPERÚ en donde se realizó el análisis mediante absorción atómica para determinar las concentraciones de cobre, los resultados para el tratamiento con la solución nutritiva A se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Concentración de cobre en las aguas del río Mantaro después de haberse realizado el tratamiento mediante el sistema hidropónico con la solución A

Concentración de Cu (mg/L) – Solución A				
Dosis de sol. Nutritiva (L)	Tiempo (días)	Réplica 1	Réplica 2	
10	0	0,277	0,281	
	7	0,189	0,194	
	10	0,158	0,162	
20	7	0,153	0,158	
	10	0,115	0,119	

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 6 se presentan los resultados que se obtuvieron después de haberse sometido las aguas del río Mantaro a un tratamiento mediante un sistema hidropónico, usando para ello la planta nativa de yuyo *Brassica juncea*, tratada con la solución A: usando 0,932 g de nitrato de potasio y 18,526 g de nitrato de calcio, con diferentes volúmenes de solución nutritiva y a diferentes tiempos de contacto, los datos que se obtuvieron en la primera réplica nos indican una concentración de cobre de 0,189 mg/L, menor a la registrada inicialmente, esto al realizarse el tratamiento con 10 L de solución

nutritiva y a 7 días de contacto de dicha solución nutritiva, la concentración de cobre disminuyó aún más a un valor de 0,115 mg/L cuando se realizó el tratamiento con 20 L de solución nutritiva y a un tiempo de contacto de 10 días, para comprender mejor el comportamiento que presenta la concentración final de cobre respecto a la solución nutritiva y al tiempo de contacto se presenta la figura 7 y 8.

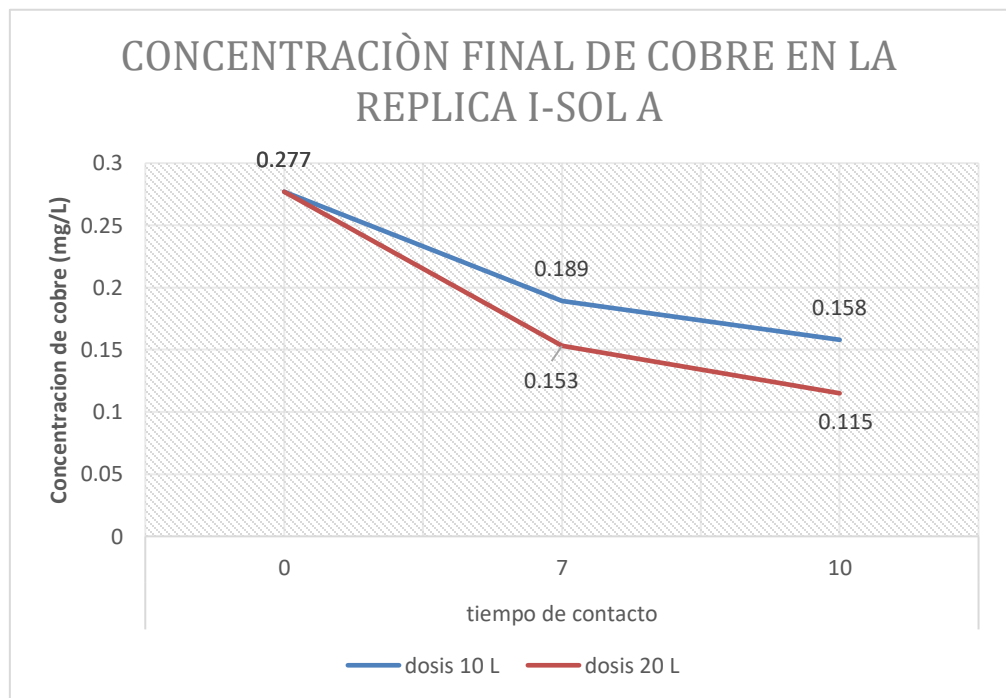


Figura 7. Concentración final de cobre en las aguas del río Mantaro con la solución A - réplica I

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 7 se observa el comportamiento de la concentración de cobre de acuerdo al tiempo de contacto de la solución nutritiva A en la réplica I, se puede notar que la concentración de cobre disminuyó de 0,277 mg/L a 0,153 mg/L al agregar un volumen de solución nutritiva A de 20 L en un tiempo de contacto de 7 días, el valor de la concentración final de cobre disminuye aún más cuando la solución nutritiva se agrega en un periodo de tiempo de contacto de 10 días y a mayores cantidades de volumen de 20 L,

disminuyendo de 0,277 mg/L a 0,115 mg/L siendo este valor aún menor del obtenido en la réplica II, este comportamiento se observa en la figura 8.

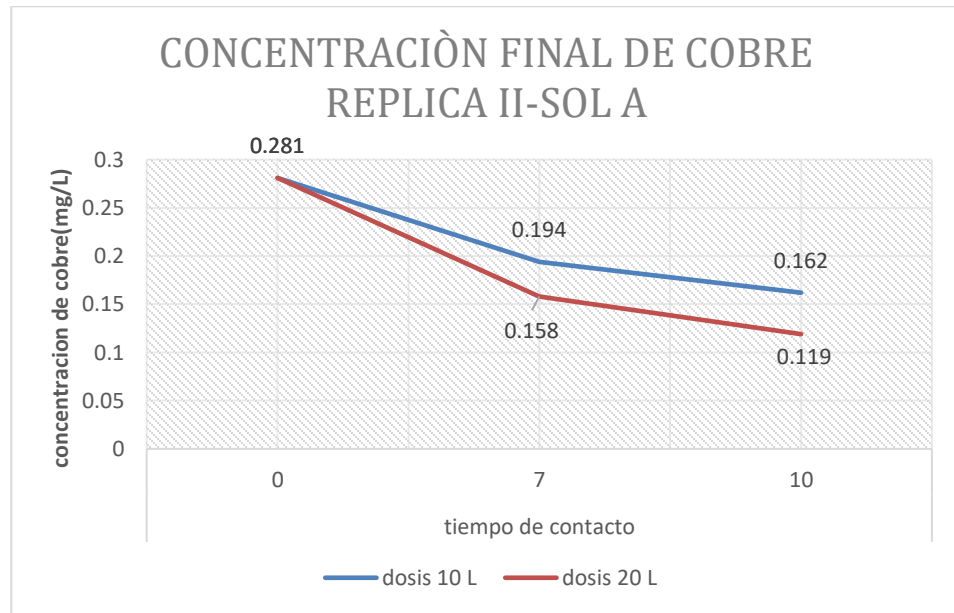


Figura 8. Concentración final de cobre en las aguas del río Mantaro con una solución A réplica II

Fuente: Elaboración Propia

Para la determinación de cobre en las aguas del río Mantaro, después de haberse realizado el tratamiento mediante el sistema hidropónico con el tipo de solución nutritiva B, se siguió el mismo procedimiento descrito para la solución nutritiva A, dando como resultados la concentración final de cobre, los resultados para el tratamiento con la solución nutritiva B se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Concentración de cobre en las aguas del río Mantaro después de haberse realizado el tratamiento mediante el sistema hidropónico con la solución B

<b>Concentración de Cu (mg/L) – Solución B</b>			
<b>dosis de sol. Nutritiva (L)</b>	Tiempo (días)	Réplica 1	Réplica 2
<b>10</b>	0	0,277	0,281
	7	0,175	0,181
	10	0,124	0,128
<b>20</b>	7	0,146	0,152
	10	0,098	0,102

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos de la concentración final de cobre en las aguas del río Mantaro, después de haberse realizado el tratamiento en un sistema hidropónico NFT usando la planta de yuyo *Brassica juncea* y con la solución nutritiva B: 15,274 g de fertilizante Plant-Prod Canada, 7,876 g de sulfato de magnesio, 0,0842 g de quelato de hierro y 5,024 g de nitrato de amonio, con diferentes volúmenes de dicha solución nutritiva y variando el tiempo de contacto, en los resultados mostrados se tiene una concentración final de cobre de 0,098 mg/L al ser tratada con 20 L de solución nutritiva, con un tiempo de contacto de 10 días, que fue la mínima concentración que se obtuvo en la réplica I, en la segunda réplica se observa que a las condiciones de 20 L de volumen y 10 días de tiempo de contacto se obtiene una concentración de cobre de 0,102 mg/L que es ligeramente mayor a la obtenida en la réplica I, para comprender el comportamiento de la concentración de cobre respecto al volumen de la solución nutritiva B y al tiempo de contacto se presenta la figura 9.



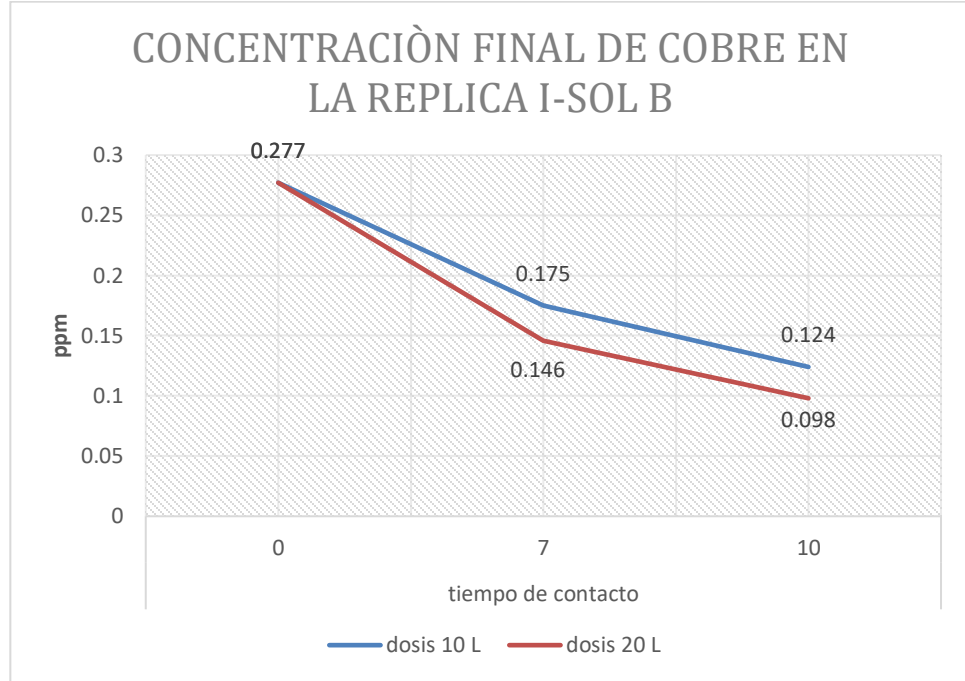


Figura 9. Concentración final cobre en las aguas del rio Mantaro con la solución B - réplica I

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 9 se observa el comportamiento en la réplica I de la concentración final del cobre según el tiempo de contacto y el volumen de la solución nutritiva B, se observa que la concentración de cobre disminuyó de 0,277 mg/L a 0,146 mg/L al ser tratadas con un volumen de solución B de 20 L y a un tiempo de contacto de 7 días, se observa que la concentración de cobre disminuye aún más, de 0,277 mg/L a 0,098 mg/L al realizar el tratamiento con un volumen de solución nutritiva de 20 L en un tiempo de contacto de 10 días, el valor que se obtiene es menor respecto a la réplica II y respecto al valor que se obtuvo en el tratamiento con la solución A.

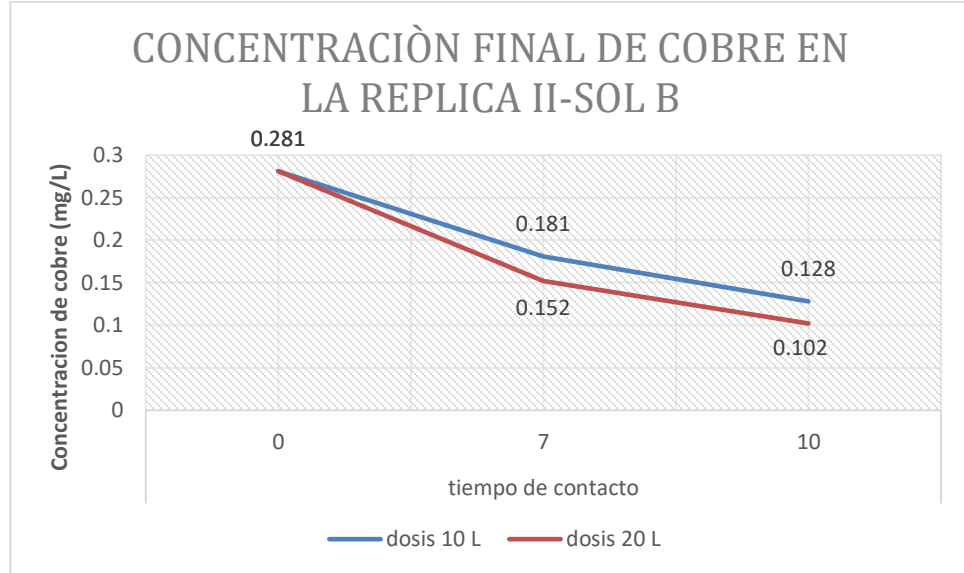


Figura 10. Concentración final cobre en las aguas del río Mantaro con la solución B - réplica II

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 10 se observa el comportamiento en la réplica II de la concentración final del cobre según el tiempo de contacto y el volumen de la solución nutritiva B, se observa que la concentración de cobre disminuyó de 0,281 mg/L a 0,152 mg/L al ser tratadas con un volumen de solución B de 20 L y a un tiempo de contacto de 7 días, se observa que la concentración de cobre disminuye aún más, de 0,281 mg/L a 0,102 mg/L al realizar el tratamiento con un volumen de solución nutritiva de 20 L en un tiempo de contacto de 10 días, el valor que se obtiene es mayor respecto a la réplica I.

#### 4.2. Contrastación de Hipótesis

Para comprobar las hipótesis planteadas en el trabajo de investigación, se usó el software estadístico Minitab la versión 18.0, en donde se alimentaron los resultados que se obtuvieron de las pruebas experimentales y fueron analizadas mediante tablas y gráficos.

#### 4.2.1. Prueba de t de student para la concentración inicial de cobre

Se hizo uso de la Tabla 5 para la realización de la prueba t de student, ya que para esta prueba se necesitan los datos de las concentraciones iniciales de cobre en las dos muestras tomadas del río Mantaro, sector la Huaycha-Concepción para ser contrastadas con las concentraciones de cobre establecida en el D.S. 004-2017-MINAM.

##### T de una muestra

Tabla 8. Estadística descriptiva

Medi a	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite de de para $\mu$	inferior 95% Valor Z	Valor p
0,279	0,00283	0,002	0,26637	39,5	0,008

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

$\mu$ : media de Muestra

$H_0$ :  $\mu = 0,2$

$H_1$ :  $\mu > 0,2$

$H_0$ : La concentración de cobre de las aguas del río Mantaro no sobrepasan los estándares de calidad ambiental de aguas para riego de vegetales (categoría 3) de acuerdo a la normativa.

$H_1$ : La concentración de cobre de las aguas del río Mantaro sobrepasan los estándares de calidad ambiental de aguas para riego de vegetales (categoría 3) de acuerdo a la normativa.

En la Tabla 8, se muestran los resultados de la media y desviación estándar de las concentraciones iniciales de cobre, de la misma manera en la Tabla 8 se muestra y analiza el valor de p el cual es 0,008 que es menor al valor de significancia establecido que es 0,5, por ende se afirma la hipótesis alterna, la cual menciona que la media de las concentraciones

iniciales de cobre es superior al valor establecido por el ECA para aguas de riego que es de 0,2, es debido a ello la importancia de aplicar el tratamiento propuesto para reducir la concentración de cobre de las aguas a valores permitidos por la normativa.

### **Diseño factorial para el proceso de remoción de cobre**

Esto mediante un sistema hidropónico NFT con *Brassica juncea* con la solución nutritiva A

Basándome en los resultados de la Tabla 7, se aplicó el diseño factorial para realizar la contrastación de hipótesis, los datos presentados en la Tabla 7 se alimentaron al software estadístico Minitab versión 18,0 que nos arrojó los siguientes resultados.

### **Diseño factorial de múltiples niveles**

*Tabla 9. Resumen del diseño*

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	4	Total de corridas:	8
Bloques base:	1	Total de bloques:	2

Número de niveles: 2; 2

En la Tabla 9 se muestra que para la investigación se usaron dos factores los cuales fueron dosis de la solución nutritiva y periodo de contacto, obteniendo un total de corridas base igual a 4, además se realizó una réplica más, teniendo en total 2 réplicas con un total de corridas experimentales igual a 8.

**Regresión factorial general: % de remoción de cobre vs. dosis de solución nutritiva, periodo de contacto**

*Tabla 10. Información del factor*

<b>Factor</b>	<b>Niveles</b>	<b>Valores</b>
Dosis de solución nutritiva	2	10; 20
Tiempo de contacto	2	7; 10

*Fuente: Elaboración Propia*

En la Tabla 10 se observan los factores y niveles que se usaron en la investigación, siendo los niveles la dosis de solución nutritiva, cuyos niveles fueron de 10 L y 20 L y para el caso del factor de tiempo de contacto, los niveles fueron de 7 días y 10 días.

*Tabla 11: Análisis de Varianza*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	3	711.375	237.125	9.08	0.029
Lineal	2	711.250	355.625	13.61	0.016
dosis solución nutritiva	1	276.125	276.125	10.57	0.031
tiempo de contacto	1	435.125	435.125	16.66	0.015
Interacciones de 2 términos	1	0.125	0.125	0.00	0.948
dosis solución nutritiva*tiempo de contacto	1	0.125	0.125	0.00	0.948
Error	4	104.500	26.125		
Total	7	815.875			

*Fuente: Elaboración Propia*

De la Tabla 11 en donde se realiza un análisis de varianzas, se rescatan los valores de p tanto para los lineales, como para los factores y las interacciones que se dan entre los factores, se observa que para lineal se tiene un valor de p de 0,016 siendo este inferior al nivel de significancia de 0,05 a partir de ello se concluye si presentaron significativas diferencias.

Analizando el factor de dosis de solución nutritiva, se presenta un valor de p de 0,031 lo que indica que, si hubo diferencias estadísticas relevantes, es decir, que la dosis de la solución nutritiva si afectó el porcentaje de remoción de cobre que de acuerdo a las hipótesis planteadas en la investigación se tiene:

- $H_0$ : La dosis de solución nutritiva no afecta significativamente al porcentaje de adsorción de cobre en las aguas del río Mantaro al ser tratadas mediante un sistema hidropónico NFT con *Brassica juncea*.
- $H_1$ : La dosis de solución nutritiva SI afecta significativamente al porcentaje de adsorción de cobre en las aguas del río Mantaro al ser tratadas mediante un sistema hidropónico NFT con *Brassica juncea*.

Dado que se tiene un valor de p menor a 0,05 se aceptó la hipótesis alterna y por ende se rechazó la hipótesis nula.

Al analizar el segundo factor que es el tiempo de contacto se observa un valor de p de 0,015, el cual también resulta menor que el valor de significancia que es de 0,05, esto indica que el tiempo de contacto afectó en el porcentaje de remoción de cobre, un análisis de hipótesis para el factor en cuestión resultó:

- $H_0$ : El tiempo de contacto no afecta significativamente al porcentaje de adsorción de cobre en las aguas del río Mantaro al ser tratadas mediante un sistema hidropónico NFT con *Brassica juncea*.
- $H_1$ : El tiempo de contacto SI afecta significativamente al porcentaje de adsorción de cobre en las aguas del río Mantaro al ser tratadas mediante un sistema hidropónico NFT con *Brassica juncea*.

Dado que el valor de p es menor que 0,05, entonces se rechazó la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna.

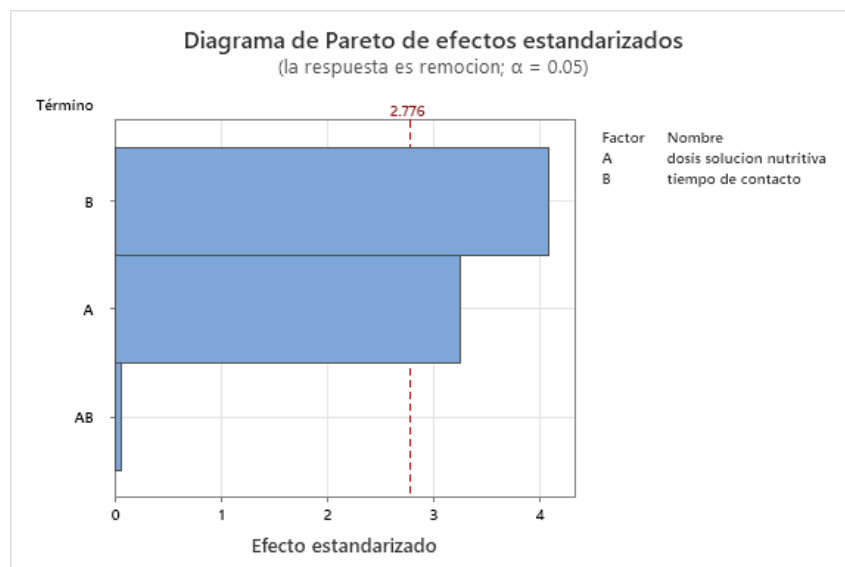
Realizando el mismo análisis para la interacción de los dos factores en estudio se observa un valor de p igual a 0,948, este valor nos indica que la interacción del tiempo de contacto y la dosis de solución nutritiva no afectaron en los porcentajes de remoción de cobre de las aguas del río Mantaro, para un mejor entendimiento de estos resultados se presenta en la figura 11 el diagrama de Pareto en donde se describe el efecto de los factores de forma individual y cuando interactúan.

*Tabla 12: Resumen del modelo*

<b>S</b>	<b>R-cuadrado</b>	<b>R-cuadrado(ajustado)</b>	<b>R-cuadrado (pred)</b>
5,11126	87,19%	77,59%	48,77%

*Fuente: Elaboración Propia*

La tabla 12, muestra un resumen descriptivo basado en los porcentajes de remoción de cobre que se obtuvieron en las dos réplicas, se consideró un valor de R-cuadrado del 87,19 % que indica el ajuste lineal de los resultados obtenidos, se observa un valor de R-cuadrado ajustado de 77,59 % el cual indica un ajuste lineal de resultados sumados a otros factores intervinientes que afecten los porcentajes de remoción de cobre, por último, el valor de R-cuadrado de 48,77 % es la variación de respuesta del modelo, pero eliminando ciertos valores que puedan sobre ajustar el modelo.



*Figura 11: Diagrama de Pareto para los efectos estandarizados en el porcentaje de remoción de cobre*

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 11, se presenta el diagrama de Pareto, en el cual se observa mejor el efecto que tienen los factores independientemente y de manera conjunta sobre el porcentaje de remoción de cobre, para ello se determinó una línea referencial cuyo valor es de 2,776, en base a mencionada línea se puede observar que el factor B o tiempo de contacto tiene mayores efectos significativos sobre el porcentaje de remoción de cobre ya que la barra que representa al factor B se encuentra sobrepasando la línea referencial y al factor A o factor que representa la dosis de solución nutritiva la cual también pasa la línea referencial, es decir, logra tener efectos significativos sobre el porcentaje de remoción de cobre; sin embargo su efecto es menor al que tiene el factor B, por último, se observa que la interacción de los dos factores no alcanza la línea referencial, es por ello que indica que la interacción de ambos factores no tiene efectos significativos sobre el porcentaje de remoción de cobre.



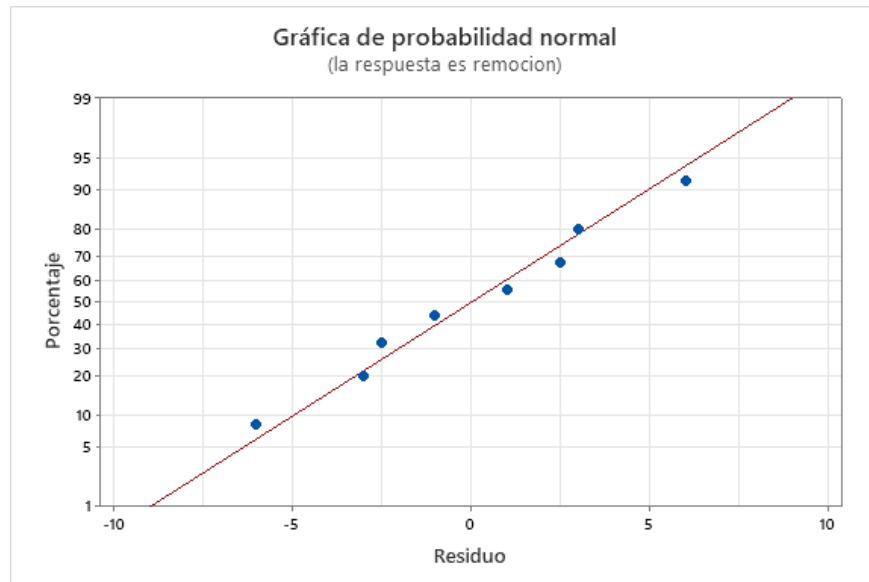


Figura 12: Gráfica de probabilidad normal para los porcentajes de remoción de cobre

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente en la gráfica de probabilidad normal presentada en la figura 12 se observa el ajuste lineal que se realizó al conjunto de porcentajes de adsorción de cobre obtenidos en las tres réplicas, se observa que todos los datos se encuentran distribuidos aleatoriamente alrededor de la diagonal por lo cual se infiere que estos datos provienen de una población normal, dicho en otras palabras no existieron resultados o porcentajes de adsorción de cobre que se alejaran demasiado de los demás resultados y que alterara los resultados ( $p > 0,05$ ).

**Comparaciones por parejas de Tukey: Dosis de solución nutritiva al nivel de confianza del 95 %.**

Tabla 13: Prueba de Tukey para dosis de solución nutritiva

Dosis de solución nutritiva	N	Media	Agrupación
20	4	54,5	A
10	4	42,75	A

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13, se presentan los resultados de la publicación de la prueba de Tukey para el factor de solución nutritiva en donde nos muestra que el valor óptimo para el porcentaje de remoción de cobre es a la dosis de solución nutritiva de 20 L cuya media es de 54,5, superior a la alcanzada por la dosis de solución nutritiva de 10 L la cual es 42,75.

*Tabla 14: Prueba de Tukey para Tiempo de contacto*

<b>Tiempo de contacto</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
<b>10</b>	4	56	A
<b>7</b>	4	41	B

*Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla 14, de la misma manera se presentan los resultados de la prueba de Tukey para el tiempo de contacto, en donde se observa que el valor óptimo para el porcentaje de remoción de cobre es a un tiempo de contacto de 10 días, cuya media es de 56, superior al valor de la media del tiempo de contacto de 7 días, cuya media es de 41.

## V. DISCUSION

### 5.1. Influencia de la dosis de la solución nutritiva en la remoción de cobre.

#### 5.1.1. En el tratamiento con la solución nutritiva A:

Se realizó el análisis de la influencia que tiene la dosis de la solución nutritiva A en la remoción de cobre de las aguas del río Mantaro al aplicar la técnica hidropónica con la planta *Brassica juncea*, para ello se utilizó dos dosis de solución nutritiva A de 10 L y 20 L, condiciones mediante las cuales se logró la remoción significativa de cobre, para calcular la eficiencia de remoción de cobre se aplicó la siguiente ecuación, en donde se muestra la diferencia de la concentración inicial y final del cobre sobre la concentración inicial del cobre.

$$\% \text{ remoción de Cobre} = \frac{(\text{Conc.inicial de cobre} - \text{Conc.final de cobre})}{\text{Conc.inicial de cobre}}$$

Aplicando la ecuación con los datos recabados en la Tabla 6 se obtienen los resultados en la Tabla 15

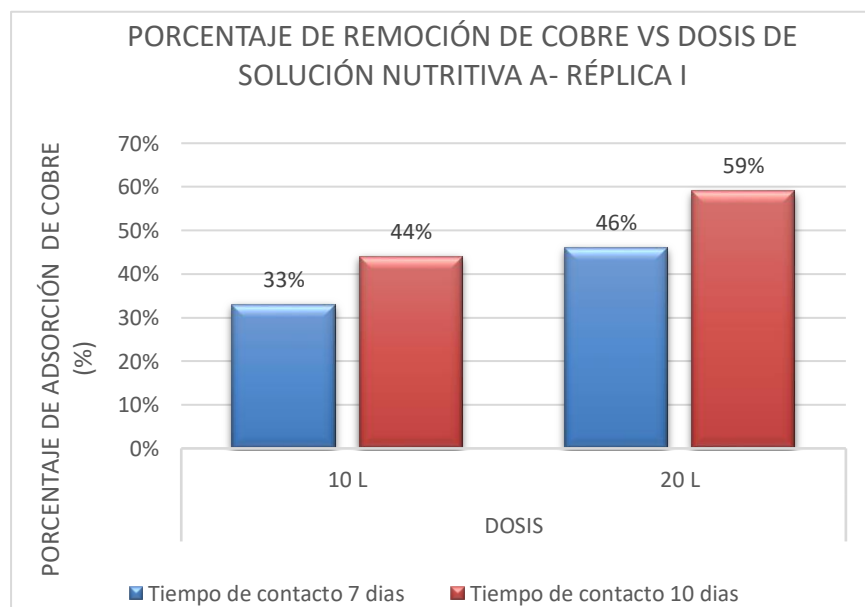
Tabla 15: Porcentaje de adsorción de cobre después del tratamiento con la solución nutritiva A

Dosis de sol. Nutritiva (L)	Tiempo de contacto (días)	Porcentaje de remoción de cobre	
		Replica I	Replica II
10	7	33%	31%
	10	44%	42%
20	7	46%	44%
	10	59%	58%

Fuente: Elaboración Propia

Según se presenta en la Tabla 15, analizando la réplica I se observa un porcentaje de remoción de cobre en esta etapa de 44 % cuando se usó una dosis de solución nutritiva A de 10 L, al incrementarse la dosis de la solución nutritiva a 20 L se nota un incremento en el porcentaje de remoción que llegó a un valor de 59%,

ambos resultados se obtuvieron con un tiempo de contacto de la solución nutritiva A de 10 días, en la réplica II se observa que para el mismo tiempo de contacto de 10 días se alcanzó un porcentaje de remoción de 42 % cuando la dosis de la solución nutritiva fue de 10 L, en tanto que se obtuvo un porcentaje de remoción de cobre de 58 % al aumentar la dosis a 20 L, ante los resultados presentados se advierte que existe una relación directamente proporcional entre la dosis de la solución nutritiva y el porcentaje de remoción de cobre ya que a medida que se aumenta la dosis de la solución nutritiva, los porcentajes de remoción de cobre también aumentan, los resultados presentados fue comprobado con el trabajo de investigación de (Rahman, Azirun y Boyce 2013) quienes obtuvieron una remoción de cobre de hasta un 34 % al evaluar la acumulación del metal en las raíces de *Brassica juncea*, para ello usaron como solución nutritiva el fertilizante N, evaluaron el pH y trabajaron con una dosis de solución nutritiva de 1L para un sistema más pequeño, que realizando el escalamiento respectivo se obtienen resultados similares a los obtenidos por el estudio.



*Figura 13: Influencia de la solución nutritiva A en la remoción de cobre- réplica I.*

*Fuente: Elaboración propia*

En la figura 13 se aprecia el efecto que tuvo la dosis de la solución nutritiva respecto al porcentaje de remoción de cobre, en la figura presentada se observa que al aplicar una dosis de solución nutritiva A de 20 L se logran los más altos porcentajes de remoción de cobre, realizando un análisis referente al tiempo de contacto se hace notorio que cuando el tiempo de contacto es de 7 días se tiene un porcentaje de remoción de cobre de 46 % al aplicar una dosis de solución nutritiva de 20 L, en tanto que cuando se aplicó un tiempo de contacto de 10 días a una dosis de solución nutritiva de 20L el porcentaje de remoción de cobre aumento hasta un valor de 59%, según el análisis de los resultados se reafirmó que los mayores porcentajes de remoción de cobre se logran mientras más dosis de solución nutritiva A se administre al sistema, esto se da debido a que un mayor volumen de solución nutritiva contiene mayor cantidades de minerales, nutrientes que necesita la planta para crecer y tener raíces capaces de adsorber cobre según menciona (Murillo Oporto 2010), los resultados que se obtuvieron coinciden con el trabajo realizado por (Turan y Esringü 2007) quienes evaluaron la remoción de cobre y otros metales usando la planta de *Brassica juncea L.*, teniendo como resultados un porcentaje de adsorción de cobre del 30,97 % al haber realizado el tratamiento con una solución de fortificante de EDTA de 1 L para un sistema pequeño, que llevando a escala de la investigación tiene características similares.

#### **5.1.2. En el tratamiento con la solución nutritiva B:**

Se realizó también el análisis de la influencia que tiene la dosis de la solución nutritiva B en la remoción de cobre de las aguas del río Mantaro al aplicar la técnica hidropónica con la planta *Brassica juncea*,

se aplicó las mismas condiciones de dosis de solución nutritiva de 10 L y 20 L, condiciones mediante las cuales se logró la remoción significativa de cobre, se aplicó la ecuación referida en los cálculos para la solución nutritiva A y de acuerdo a los datos de la Tabla 7 se presentan los resultados de la Tabla 16.

Tabla 16: Porcentaje de adsorción de cobre después del tratamiento con la solución nutritiva B

Dosis de sol. Nutritiva (L)	Tiempo de contacto (días)	Porcentaje de remoción de cobre	
		Replica I	Replica II
10	7	38%	36%
	10	56%	54%
20	7	48%	46%
	10	65%	64%

Fuente: Elaboración Propia

Según se presenta en la Tabla 16, analizando la réplica I se observa un porcentaje de remoción de cobre en esta etapa de 56% cuando se usó una dosis de solución nutritiva A de 10 L, al incrementarse la dosis de la solución nutritiva a 20 L se nota un incremento en el porcentaje de remoción que llegó a un valor de 65%, ambos resultados se obtuvieron con un tiempo de contacto de la solución nutritiva A de 10 días, en la réplica II se observa que para el mismo tiempo de contacto de 10 días se alcanzó un porcentaje de remoción de 54% cuando la dosis de la solución nutritiva fue de 10 L, en tanto que se obtuvo un porcentaje de remoción de cobre de 64% al aumentar la dosis a 20 L, la solución nutritiva A con un tiempo de que a la vez este resultado representa el máximo porcentaje de remoción que se obtuvo para el tratamiento con *Brassica juncea*, al igual que con la solución nutritiva A, en este caso también se observa una relación directamente proporcional entre la dosis de la solución nutritiva y la remoción de cobre, los resultados se comprobaron con la investigación

de (Chanco et al. 2014) quienes obtuvieron una remoción de cobre entre un 35 % al 40 % en una planta de la familia Brassicaceae, valor por debajo de lo obtenido por la investigación ya que la remoción también depende de la especie y algunas condiciones del área de instalación de la investigación.

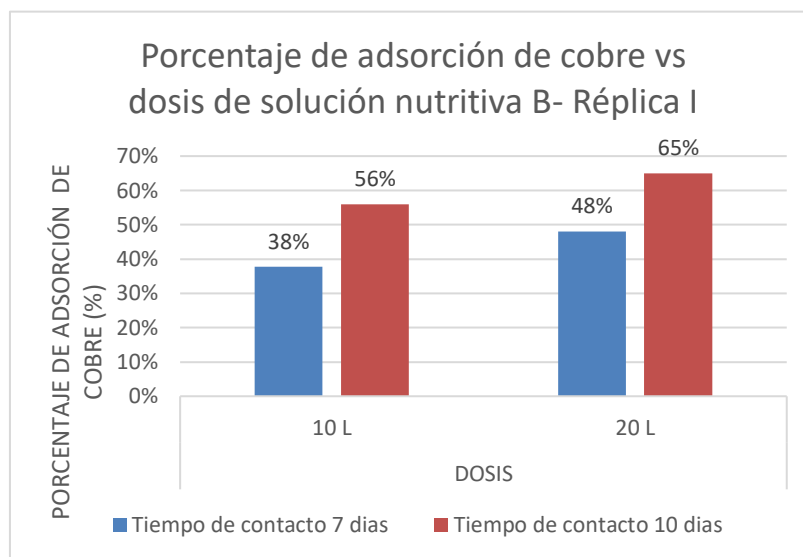


Figura 14: Influencia de la solución nutritiva B en la remoción de cobre- réplica I.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se observa que al aplicar una dosis de solución nutritiva B de 20 L se logran los más altos porcentajes de remoción de cobre, realizando un análisis referente al tiempo de contacto se hace notorio que cuando el tiempo de contacto es de 10 días se tiene un porcentaje de remoción de cobre de 56 % al aplicar una dosis de solución nutritiva de 10 L, en tanto que cuando se aplicó una dosis de solución nutritiva de 20 L el porcentaje de remoción de cobre aumento hasta un valor de 65 %, este mismo patrón se puede observar cuando el tiempo de contacto fue de 10 días, de acuerdo a los resultados se observó que en esta etapa se tuvieron los mayores porcentajes de remoción de cobre, al tratarlos con la solución B, esto debido a que dicha solución estuvo compuesta de más nutrientes respecto a la solución nutritiva A y por ende facilitó una más eficiencia en la remoción

de cobre de acuerdo a la referencia de la investigación de (Murillo Oporto 2010), los resultados que se obtuvieron tienen ciertas diferencias con el trabajo realizado por (Chigbo, Batty y Bartlett 2013) quienes evaluaron la remoción de cobre con *Brassica juncea L.*, teniendo como resultados un porcentaje de adsorción de cobre entre un 34 % al 38 % para un sistema pequeño con una dosis de solución nutritiva de 15 L, mientras tanto la investigación presentada tuvo una escala piloto y con dosis mayores de 20 L y menores de 10L.

## 5.2. Efecto del tiempo de contacto de la solución nutritiva en la remoción de cobre de las aguas del río Mantaro

### 5.2.1. En el tratamiento con la solución nutritiva A

El efecto del tiempo de contacto de la solución nutritiva A en la remoción de cobre fue estudiado empleando dos periodos diferentes de tiempo, de 7 días y 10 días, los resultados que se obtuvieron tanto en las réplicas I y II se muestran en las figuras 15 y 16.

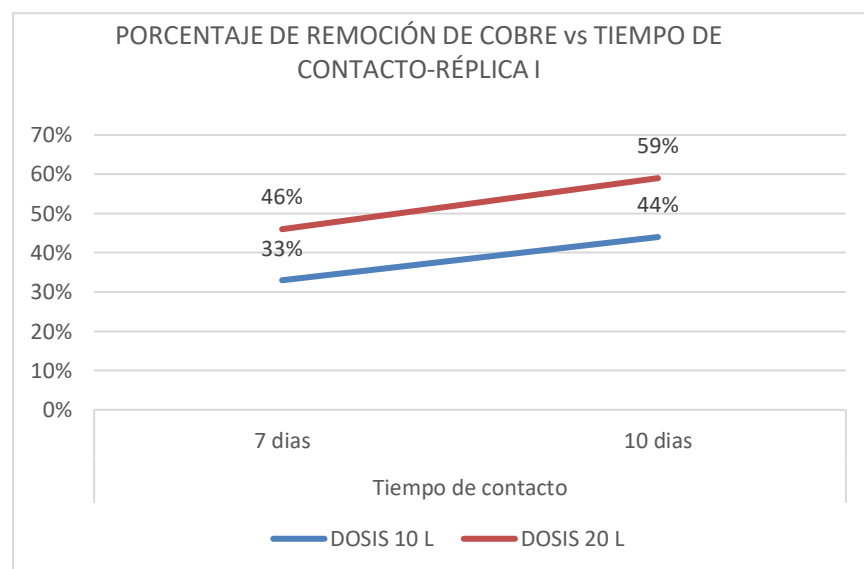


Figura 15: Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cobre con solución nutritiva A- réplica I

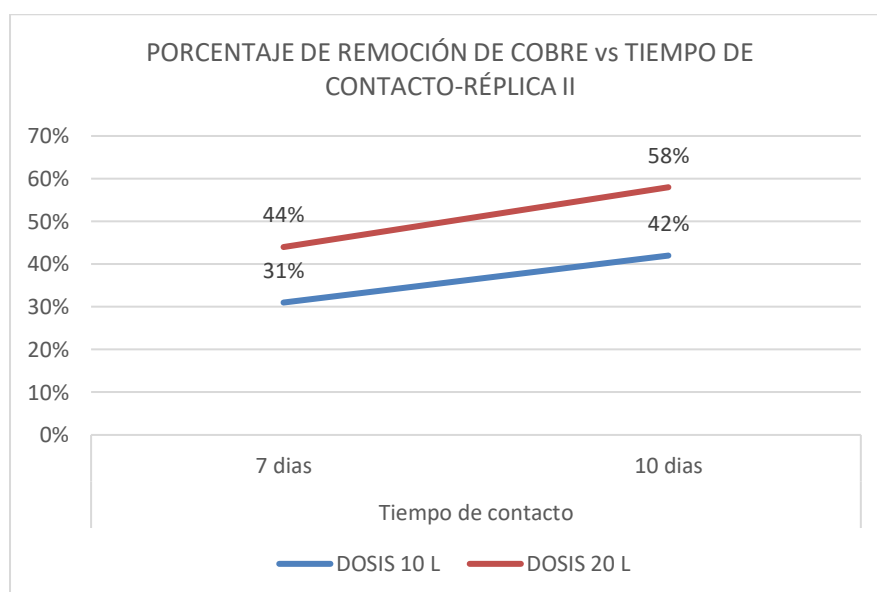
Fuente: Elaboración Propia

Se muestran los resultados en la figura 15, donde indica que el porcentaje de remoción de cobre aumentó de manera significativa al



incrementarse el tiempo de contacto de 7 días a 10 días, se observó que cuando se tuvo una dosis de solución nutritiva A de 10 L el porcentaje de remoción de cobre fue de 44 % a un tiempo de contacto de 10 días, valor que superó al porcentaje de remoción de cobre de 33% que se tuvo cuando el tiempo de contacto fue de 7 días, este mismo patrón se puede observar a una dosis de solución nutritiva de 20 L en donde se observa un porcentaje de remoción de cobre de 46% cuando el tiempo de contacto fue de 7 días en comparación con un porcentaje superior de remoción que se obtuvo de un 59 % al tratar las aguas con un tiempo de contacto de la solución nutritiva de 10 días, el incremento del porcentaje de remoción en función del tiempo de contacto fue observado por (Niu et al. 2010) quien estudio la remoción de cobre, cadmio y plomo con periodos de remoción de 20 minutos, 40 minutos y 60 minutos, encontrando que a mayor tiempo de contacto se tenía mayor porcentaje de remoción, logrando un 40 % de remoción de cobre a un periodo de 60 minutos al ser las aguas tratadas con *Brassica juncea*.

Para tener la confirmación de los resultados se realizó una réplica más a las mismas condiciones que las presentadas en la réplica I y los resultados obtenidos se muestran en la figura 16.



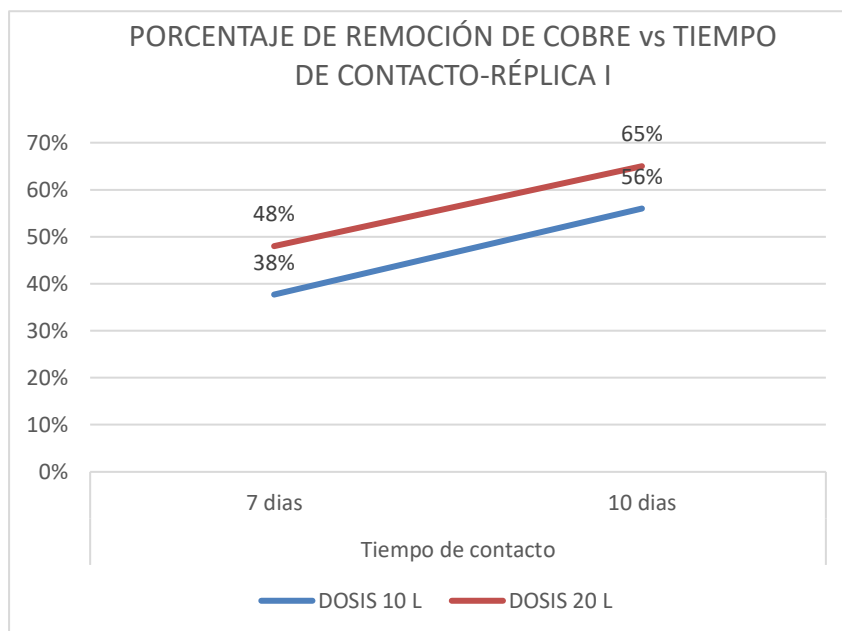
*Figura 16: Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cobre con solución nutritiva A- réplica II*

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se presenta en la figura 16, se logra elevados porcentajes de remoción de cobre al tener un tiempo de contacto de 10 días resultando valores de 42% y 58% a ser tratados con dosis de solución nutritiva de 10 L y 20 L respectivamente, estos valores son superiores a los obtenidos cuando se trata por un tiempo de contacto de 7 días teniendo como resultados porcentajes de remoción de cobre de 31 % para una dosis de solución nutritiva de 10 L y un 44 % cuando se trata con una dosis de solución de 20 L, los resultados obtenidos evidencian la relación directamente proporcional entre el tiempo de contacto y el porcentaje de remoción de cobre, tal como se muestran en los resultados obtenidos por (Ahmad y Gupta 2013) quienes usaron la *Brassica juncea* para remover arsénico de las aguas contaminadas y lograron una máxima remoción del 60 % en un periodo de remoción de 14 días en comparación con un menor periodo de tratamiento de 7 días el cual presentó menores porcentajes de remoción de arsénico.

#### **5.2.1. En el tratamiento con la solución nutritiva B**

El efecto del tiempo de contacto de la solución nutritiva B en la remoción de cobre fue estudiado empleando dos tiempos de contacto diferentes de, 7 días y 10 días, los resultados que se obtuvieron tanto en las réplicas I y II se muestran en las figuras 17 y 18.



*Figura 17: Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cobre con la solución nutritiva B- réplica I*

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 17, semejante a los resultados obtenidos con la solución nutritiva A, se observa que el porcentaje de remoción del cobre se vio favorecido al aumentar el tiempo de contacto a 10 días desde un tiempo de contacto de 7 días, se observa que para una dosis de solución nutritiva B de 10 L se tienen porcentajes de remoción de 38 % y de 56%, estos resultados se obtienen en función al incremento del tiempo de contacto de 7 días y 10 días respectivamente, así mismo se observa que cuando se trabajó con una dosis de solución nutritiva de 20 L se obtuvieron porcentajes de remoción superiores tanto a los tratados con la dosis de 10 L como a los tratados con la solución nutritiva A en la réplica I, lográndose porcentajes de remoción de cobre 65% al tratarse por un tiempo de contacto de 7 días y el máximo porcentaje de adsorción de la investigación de 48% al tratarse con un tiempo de contacto de 10 días, y 65% para un tiempo de contacto de 10 días, el incremento del porcentaje de remoción en función del tiempo de contacto también coincide con el trabajo de investigación de (Niu et al. 2010) quien estudio la remoción de cobre, cadmio y plomo con periodos de remoción de 20 minutos, 40 minutos y 60 minutos,

encontrando que a mayor tiempo de contacto se tenía mayor porcentaje de remoción, logrando un 40 % de remoción de cobre a un periodo de 60 minutos al ser las aguas tratadas con *Brassica juncea*.

Para confirmar los resultados obtenidos se realizó una segunda réplica cuyos resultados se muestran en la figura 18.

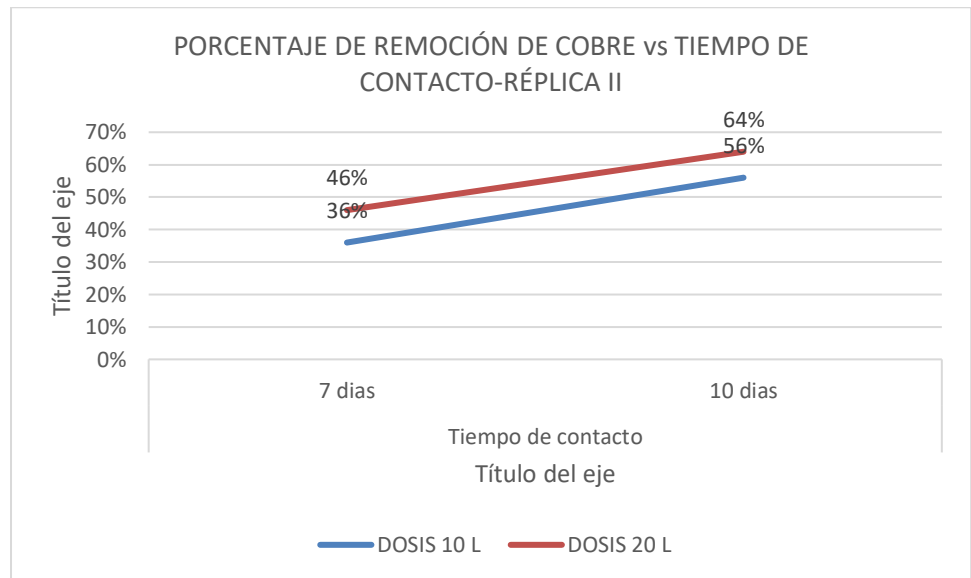


Figura 18: Efecto del tiempo de contacto en la remoción de cobre con la solución nutritiva B- réplica II  
Fuente: Elaboración Propia

Tal como se muestra en la figura 18, se observa que se logran elevados porcentajes de remoción de cobre cuando el tiempo de contacto es de 10 días, resultando valores de 56 % y 64 % cuando se realiza el tratamiento con dosis de solución nutritiva de 7 días y 10 días respectivamente, los valores obtenidos superan en un 20 % y en un 18% respecto al tratamiento que se realizó con un tiempo de contacto de 7 días al tratar las aguas con una dosis de solución nutritiva B de 10 L y de 20 L respectivamente, en esta segunda réplica que se encuentran los mayores porcentajes de remoción encontrados del total de corridas experimentales, que respecto al tiempo de contacto muestran una relación directa a una favorable remoción de cobre de las aguas del río Mantaro, los resultados obtenidos con las solución nutritiva B se contrastan con los resultados obtenidos por (Ahmad y

Gupta 2013) quienes usaron la *Brassica juncea* para remover arsénico de las aguas contaminadas y lograron una máxima remoción del 60 % en un periodo de remoción de 14 días en comparación con un menor periodo de tratamiento de 7 días el cual presentó menores porcentajes de remoción de arsénico, al igual que se muestra en la réplica I.

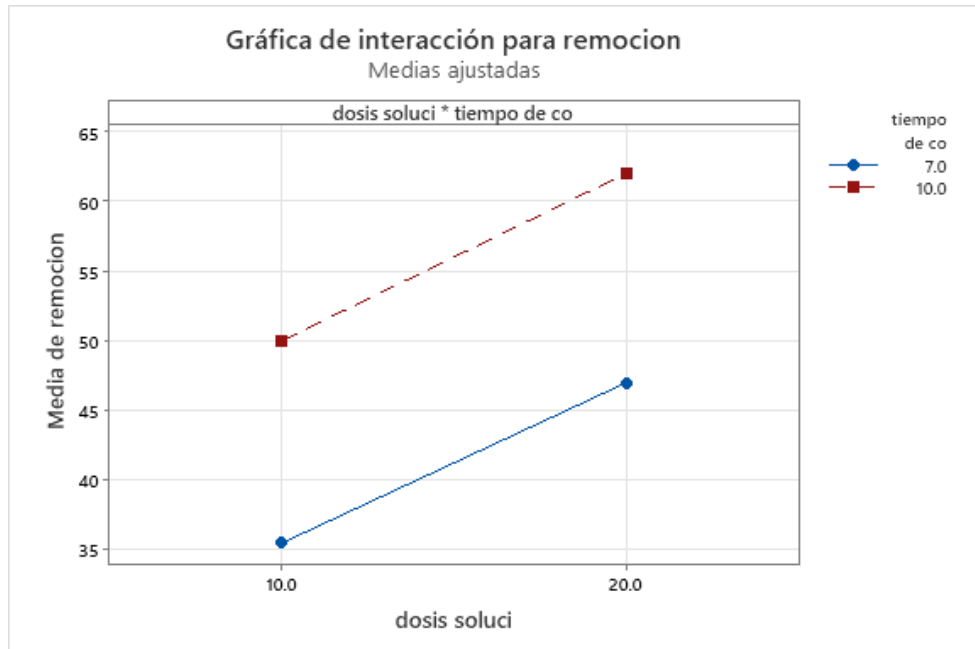
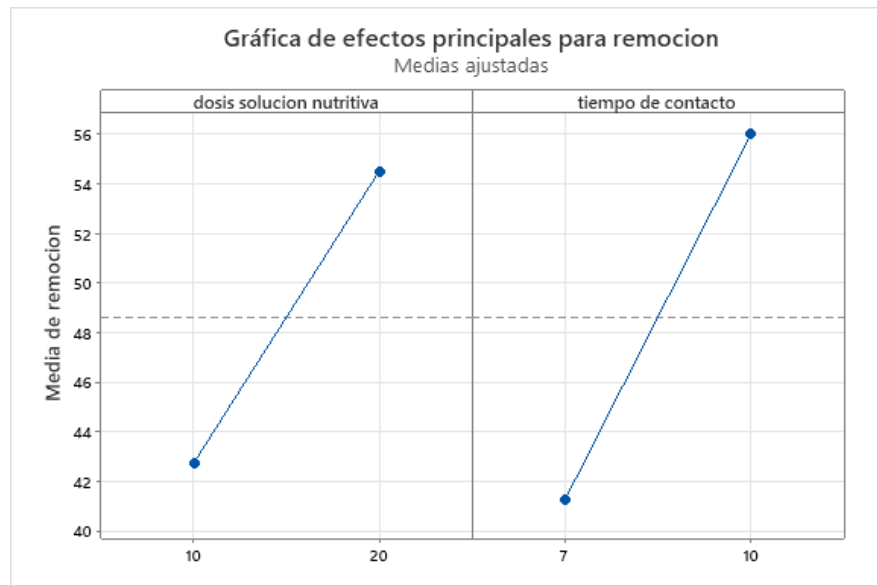


Figura 19: Gráfica de interacción para porcentaje de adsorción de cobre

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 19 se presenta la interacción de los factores que intervienen en el estudio con las medias de los porcentajes de remoción de cobre, los factores intervinientes son el tiempo de contacto y la dosis de solución nutritiva, se observa que el menor porcentaje de adsorción de cobre se obtuvo con una dosis de solución nutritiva de 10 L y un tiempo de contacto de 7 días, obteniéndose resultados que oscilan de entre un 35% de remoción de cobre, estos resultados mejoran cuando el tratamiento se realiza con un tiempo de contacto de 10 días y una dosis de solución nutritiva de 10 L obteniendo resultados que varían entre un 50% al 51%, también se observa que se logra una máxima remoción de cobre que oscila entre

un 60% al 65 % cuando se incrementa la dosis de solución nutritiva a 20 L y se trabaja a un tiempo de contacto de 10 días.



*Figura 20: Gráfica de efectos principales para el porcentaje de remoción de cobre*

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 20 se presenta gráficamente el efecto tanto de la dosis de la solución nutritiva como del tiempo de contacto en el porcentaje de remoción de cobre, se observa que para ambos factores se tiene una relación directamente proporcional a la remoción de cobre, se observa que para el caso de la dosis de la solución nutritiva se obtiene una remoción máxima del 42% al usar una dosis de solución nutritiva de 10 L, mientras que al usar una dosis de solución nutritiva de 20 L se logra un mayor porcentaje de remoción de aproximadamente 54%, en relación al tiempo de contacto se observan valores de remoción de cobre de aproximadamente 41% y 56 % al tratarse las aguas con un tiempo de contacto de 7 días y 10 días respectivamente, en vista de los resultados se infiere que el tiempo de contacto óptimo para la remoción de cobre fue de 10 días y la dosis de solución nutritiva óptima fue de 20 L.

## VI. CONCLUSIONES

- Se determinó la eficiencia del cultivo hidropónico de yuyo *Brassica juncea* en un sistema NFT tipo piramidal para la remoción de cobre de las aguas del río Mantaro, para ello se evaluó el efecto de los dos factores: tiempo de contacto y dosis de solución nutritiva, obteniendo como resultados un porcentaje de remoción de cobre del 59 % cuando el tiempo de contacto fue de 10 días y la dosis de la solución nutritiva A fue de 20 L, así mismo se obtuvo un porcentaje de remoción del 65 % a las mismas condiciones de 20 L de dosis de solución nutritiva B y un tiempo de contacto de 10 días.
- Se evaluó el efecto del tipo de solución nutritiva suministrado al cultivo de yuyo *Brassica juncea* en la remoción de cobre usando un sistema hidropónico NFT tipo piramidal, resultando un elevado porcentaje de remoción de cobre de 65 % al usar la solución nutritiva B, mientras que se obtuvo un porcentaje de remoción de cobre menor al usar la solución nutritiva A, siendo tal valor del 59 %.
- Se determinó la influencia de la dosis de solución nutritiva aplicada al cultivo de yuyo *Brassica juncea* en la remoción de cobre usando un sistema hidropónico NFT tipo piramidal, para ello se usó dos dosis de solución nutritiva de 10 L y 20 L, para el caso de la solución nutritiva A, con la dosis de solución nutritiva de 10 L y un tiempo de contacto de 10 días se obtuvo un porcentaje de remoción de cobre del 29,96 % en la réplica I, este valor se incrementó a un 33,81 % al usar una dosis de solución nutritiva de 20 L con un tiempo de contacto de 10 días en la réplica II, así mismo al aplicar la dosis de solución nutritiva B, se obtuvieron porcentajes de remoción de 32,13 % al aplicar una dosis de solución nutritiva de 10 L y tiempo de contacto de 10 días en la réplica I, siendo este valor superado por un porcentaje de remoción de 35,94 % que se obtuvo con una dosis de solución nutritiva de 20 L al mismo tiempo de contacto de 10 días, ante ello se establece que se obtienen mayores porcentajes de remoción de cobre con una dosis de solución nutritiva de 20 L.
- Se estableció el tiempo de contacto de solución nutritiva óptima en el cultivo de yuyo *Brassica juncea* para la remoción de cobre usando un sistema hidropónico NFT tipo piramidal, en una dosis de solución nutritiva de 10 L se

obtuvo un porcentaje de remoción de cobre del 33 % con un tiempo de contacto de 7 días, este porcentaje se incrementó al 29,96 % al aumentar el tiempo de contacto a 10 días, ambos en la réplica I, para el caso de la dosis de solución nutritiva de 20 L, se obtuvieron porcentajes del 46 % cuando el tiempo de contacto fue de 7 días en la réplica I, superado por un porcentaje del 59 % en un tiempo de contacto de 10 días, similares resultados se muestran en el caso de la solución nutritiva B, en donde los máximos porcentajes de remoción que se encontraron fueron de 56 % para una dosis de solución nutritiva de 10 L y el tiempo de contacto de 10 días en la réplica I y un porcentaje de 65 % para una dosis de solución nutritiva de 20 L y el mismo tiempo de contacto y en la misma réplica I, se concluyó que el mejor tiempo de contacto para la remoción de cobre fue de 10 días.



## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis completo, tanto físico y químico de las aguas del río Mantaro.
- Evaluar los efectos de variables intervinientes como el pH y temperatura del sistema, para determinar su efecto sobre la remoción de cobre.
- Comparar la eficiencia de remoción de cobre aplicando dos tipos de plantas diferentes en el sistema hidropónico, los cuales pueden ser *Brassica juncea* y *Zantedeschia aethiopica*.
- Determinar la eficiencia del sistema hidropónico NFT usando *Brassica juncea* en la remoción de diversos metales pesados, así como también de otras sustancias orgánicas e inorgánicas.

## REFERENCIAS

- ABD ELMONIEM, E.M., ABDRABBO, M.A., FARAG, A.A. y MEDANY, M.A., 2006. Hydroponics for Food Production : Comparison of Open and Closed Systems on Yield and Consumption of Water and Nutrient. *Water*, no. January, pp. 1-9.
- AHMAD, M.A. y GUPTA, M., 2013. Exposure of Brassica juncea (L) to arsenic species in hydroponic medium: Comparative analysis in accumulation and biochemical and transcriptional alterations. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 20, no. 11, pp. 8141-8150. ISSN 09441344. DOI 10.1007/s11356-013-1632-y.
- AKOTO, O., NIMAKO, C., ASANTE, J. y BAILEY, D., 2016. Heavy Metals Enrichment in Surface Soil from Abandoned Waste Disposal Sites in a Hot and Wet Tropical Area. *Environmental Processes*, vol. 3, no. 4, pp. 747-761. ISSN 21987505. DOI 10.1007/s40710-016-0183-x.
- ANANTA, H.P., 2021. PENEPARAN SISTEM HIDROPONIK NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) PADA TANAMAN SAWI HIJAU. *Departemen teknologi pertanian*, vol. 1, no. 69, pp. 5-24.
- ANÓNIMO, 2011. *Economic Survey 2011-12 Statistical Appendix*. 2011. S.l.: s.n.
- ARNON, D.I. y STOUT, P.R., 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to cooper. *Plant Physiology*, vol. 14, pp. 371-375.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2016. *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídrico-Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA*. 2016. S.l.: s.n.
- BOIVIN, M.E., 2005. Diversity of microbial communities in metal-polluted heterogeneous environments. *Dep of Animal Ecology*, pp. 192.
- BRADLEY, P., 2001. Simplified Hydroponics to reduce global hunger. *Acta Hort.*, vol. 554, pp. 289-296.
- BRILS, J., 2008. Sediment monitoring and the European Water Framework

Directive. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, vol. 44, no. 3, pp. 218-223. ISSN 00212571.

CAMPBELL, N.A. y REECE, J.B., 2002. *Biology*. 6th ed. San Francisco: CA: Benjamin Cummings.

CAO, Y., ZHANG, Y., MA, C., LI, H., ZHANG, J. y CHEN, G., 2018. Growth, physiological responses, and copper accumulation in seven willow species exposed to Cu—a hydroponic experiment. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 20, pp. 19875-19886. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-018-2106-z.

CARMONA, M.L., MENESES, J.M., MAYA, R., CIRUELOS, A. y PACHECO, M.C., 2017. Estudio de eliminación de metales pesados en lodos de depuradora mediante cenizas de biomasa. *Proceedings of the 3rd International Congress on Sustainable Construction and Eco-Efficient Solutions* [en línea], pp. 1060-1083. Disponible en: [https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/59472/Carmona%2C maria luisa %28espa%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/59472/Carmona%2C%20maria%20luisa%28espa%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

CHANCO, M., MARIANO, M., CANO, N., GÓMEZ, J., JARA PEÑA, E. y MONTOYA, H., 2014. Capacidad Fitorremediadora De 5 Sp Altoandinas En Suelos Contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, vol. 21, no. October, pp. 145-154.

CHIGBO, C., BATTY, L. y BARTLETT, R., 2013. Interactions of copper and pyrene on phytoremediation potential of *Brassica juncea* in copper-pyrene co-contaminated soil. *Chemosphere*, vol. 90, no. 10, pp. 2542-2548. ISSN 00456535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2012.11.007.

DAMERON, C. y HOWE, P.D., 1998. *Environmental health criteria 200*. Geneva: World Health Organization.

EBBS, S.D. y KOCHIAN, L. V., 2010. Toxicity of Zinc and Copper to Brassica Species: Implications for Phytoremediation. *Journal of Environment Quality*, vol. 26, no. 3, pp. 776. DOI 10.2134/jeq1997.00472425002600030026x.

ECONOMAKIS, C.D., 1990. Effect of Solution Conductivity on Growth and Yield

- of *Origanum Dictamnus* L. in Nutrient Film Culture. *Acta Horticulturae*, vol. 287, no. 306, pp. 309-316. ISSN 0567-7572. DOI 10.17660/actahortic.1992.306.22.
- FEOKTISTOVA, L., YULIA, V. y FEOKTISTOVA, C., 2018. Metabolism of copper . Its consequences for human health. *Medisur*, vol. 16, no. 4, pp. 6-9.
- FLEMMING, C.A. y TREVORS, J.T., 1989. Copper toxicity and chemistry in the environment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 44, pp. 143-158.
- GONÇALVES, K.S., DE SOUZA, R.N., GHEYI, H.R., PAZ, V.P. da S., DE AZEVEDO NETO, A.D. y SOARES, T.M., 2020. Treated domestic effluent as a source of water and nutrients in the hydroponic cultivation of ornamental sunflower. *Dyna*, vol. 87, no. 212, pp. 112-119. ISSN 0012-7353. DOI 10.15446/dyna.v87n212.80839.
- GRAVES, C.J., 1980. Nutrient Film Technique. *Horticultural Reviews*, vol. 5, pp. 1-44.
- GURAJALA, H.K., CAO, X., TANG, L., RAMESH, T.M., LU, M. y YANG, X., 2019. Comparative assessment of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) genotypes for phytoremediation of Cd and Pb contaminated soils. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 254, pp. 113085. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2019.113085. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113085>.
- HOAGLAND, D.C. y ARNON, D.I., 1950. The water culture method for growing plant without soil. *The College of Agriculture University of California. Berkeley.*, pp. 32.
- HYDRO ENVIRONMENT, 2019. N.F.T. ( Nutrient Film Technique ) y su Instalación. *Hydro Environment*.
- JENSEN, M.H., 2015. Hydroponic culture for the tropics: Oportunities and alternatives. *University of Arizona*, no. JULY 2013, pp. 14.
- KHAN, A.D., KHAN, M.S., BANGASH, S.A.K., NAEEM, K., JALAL, A. y TAYYAB, M., 2022. Cadmium and arsenic provoke mostly distinct but partly

- overlapping responses in *Brassica juncea*. *Crop and Pasture Science* [en línea], vol. 73, no. 2, pp. 160-169. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/CP21157>.
- LAKHIAR, I.A., GAO, J., SYED, T.N., ALI CHANDIO, F., TUNIO, M.H., AHMAD, F. y ALI SOLANGI, K., 2020. Overview of the aeroponic agriculture – An emerging technology for global food security. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 1-10. ISSN 19346352. DOI 10.25165/j.ijabe.20201301.5156.
- LIDE, D.R., 2017. *CRC Handbook of Chemistry and Physics* [en línea]. Nueva York: Advisory Board. ISBN 9781482208689. Disponible en: <http://www.hbcnetbase.com>.
- LYKAS, C., KATSOULAS, N., GIAGLARAS, P. y KITTAS, C., 2006. Electrical conductivity and pH prediction in a recirculated nutrient solution of a greenhouse soilless rose crop. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 29, no. 9, pp. 1585-1599. ISSN 01904167. DOI 10.1080/01904160600848904.
- MARIN, J.M., 2014. *Modelo de diseños factoriales y diseños 2k* [en línea]. 2014. S.l.: s.n. Disponible en: <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/Disenno/tema3DE.pdf>.
- MEDRANO, E., LORENZO, P., SÁNCHEZ GUERRERO, M.C., GARCÍA, M.L., CAPARRÓS, I., COELHO, G. y GIMÉNEZ, M., 2005. Water and nutrient use efficiency of a tomato crop as affected by two refrigeration methods: External mobile shading and fog system. *Acta Horticulturae*, vol. 697, no. 1997, pp. 463-467. ISSN 05677572. DOI 10.17660/ActaHortic.2005.697.58.
- MINAM, 2017. Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. *El Peruano* [en línea]. 2017. pp. 10-19. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>.
- MURILLO OPORTO, W.A., 2010. *Optimización de la producción de tres especies de hortalizas bajo producción hidropónica en el sistema NFT en los*

*invernaderos “La Huerta” en la localidad de Chicani (La Paz)* [en línea]. S.I.: Universidad Mayor de San Andrés. Disponible en: [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3137/EDUARDO DARINEL HERNANDEZ SERRANO.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3137/EDUARDO%20DARINEL%20HERNANDEZ%20SERRANO.pdf?sequence=1).

NELKIN, J. y CAPLOW, T., 2008. Sustainable controlled environment agriculture for urban areas. *Acta Horticulturae*, vol. 801, pp. 449-455. ISSN 05677572.

NIU, Z. xin, SUN, L. na, SUN, T. heng, LI, Y. shuang y WANG, H., 2010. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *Journal of Environmental Sciences*, vol. 19, no. 8, pp. 961-967. ISSN 10010742. DOI 10.1016/S1001-0742(07)60158-2.

PERDOMO, A., RODRÍGUEZ, D., CAVIEDES, D.I., MUÑOZ, R.A. y SANDOVAL, I.J., 2017. Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región*, vol. 13, no. 1, pp. 73. ISSN 1657-6985. DOI 10.25054/22161325.710.

PERKASA, A.Y., SISWANTO, T., SHINTARIKA, F. y SJI, T.G., 2017. Pertumbuhan Caisim (*Brassica juncea* (L.) Czern.) pada Beberapa Konsentrasi Larutan Hidroponik Sistem NFT Gr. *Jurnal Pertanian Presisi*, vol. 01, no. 01, pp. 59-72.

PETER, K.V., 2001. *Handbook of herbs and spices*. New York: Boca Raton, FL, CRC Press.

POKLUDA, R., 2016. Morphological and nutritional parameters of Chinese mustard (*Brassica juncea*) in hydroponic culture. *Horticultural Science*, pp. 7. DOI 10.17221/1891-HORTSCI.

RAHMAN, M.M., AZIRUN, S.M. y BOYCE, A.N., 2013. Enhanced Accumulation of Copper and Lead in Amaranth (*Amaranthus paniculatus*), Indian Mustard (*Brassica juncea*) and Sunflower (*Helianthus annuus*). *PLOS ONE*, vol. 8, no. 5. ISSN 19326203. DOI 10.1371/journal.pone.0062941.

RAJ, D., KUMAR, A. y MAITI, S.K., 2020. *Brassica juncea* (L.) Czern. (Indian

mustard): a putative plant species to facilitate the phytoremediation of mercury contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation* [en línea], vol. 22, no. 7, pp. 733-744. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2019.1708861. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1708861>.

RAM JUNJARIYA, K., 2014. *Physiological studies on Indian mustard (Brassica Juncea) CZERN & COSS under high temperature stress*. S.l.: Swami Keshwanand Rajasthan Agricultural University.

RANGIAN, S.D., PELEALU, J.J. y BAIDENG, E.L., 2017. Respon Pertumbuhan Vegetatif Tiga Varietas Tanaman Sawi (*Brassica Juncea* L.) pada Kultur Teknik Hidroponik Rakit Apung. *Jurnal MIPA*, vol. 6, no. 1, pp. 26. DOI 10.35799/jm.6.1.2017.15984.

RATHORE, S.S., SHEKHAWAT, K., DASS, A., KANDPAL, B.K. y SINGH, V.K., 2019. Phytoremediation Mechanism in Indian Mustard (*Brassica juncea*) and Its Enhancement Through Agronomic Interventions. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences*, vol. 89, no. 2, pp. 419-427. ISSN 03698211. DOI 10.1007/s40011-017-0885-5.

RESH, H.M., 2013. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. 7th ed. Boca Raton: FL: CRC Press.

REYES, Y., VERGARA, I., TORRES, O., DÍAZ, M. y GONZÁLEZ, E., 2016. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 16, pp. 66-77. ISSN 00195456. DOI 10.1007/BF02796157.

RIVERA ARREONDO, N.M., 2015. *Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con la técnica hidrónica de flujo laminar de nutrientes (NFT) en el centro experimental de cota cota-la paz*. S.l.: Universidad Mayor de San Andrés.

RIVERA, N.M., 2015. *EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE LECHUGA*

(*Lactuca sativa* L.) CULTIVADAS CON LA TECNICA HIDROPONICA DE FLUJO LAMINAR DE NUTRIENTES (NFT) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA - LA PAZ [en línea]. S.I.: Universidad Mayor de San Andrés. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5992/T-2118.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SAN MARCOS, 2016. *EL COBRE (cu)*. Primera. Lima: s.n.

SCHEMEL, L.E., KIMBALL, B.A. y BENCALA, K.E., 2000. Colloid formation and metal transport through two mixing zones affected by acid mine drainage near Silverton, Colorado. *Applied Geochemistry*, vol. 15, no. 7, pp. 1003-1018. ISSN 08832927. DOI 10.1016/S0883-2927(99)00104-3.

SPENSLEY, K., WINSOR, G.. y COOPER, A.J., 1977. Nutrient film technique - crop culture in flowing nutrient solution. *Outlook on Agriculture*, vol. 6, pp. 299-305.

TURAN, M. y ESRINGÜ, A., 2007. Phytoremediation based on canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) planted on spiked soil by aliquot amount of Cd, Cu, Pb, and Zn. *Plant, Soil and Environment*, vol. 53, no. 1, pp. 7-15. ISSN 12141178. DOI 10.17221/3188-pse.

VALENTIN, M., CASNOR, R., FANWA, J. y DANGAN, V., 2017. Design and Fabrication of a Pyramid-Type Plant Bed Hydroponics of Romaine Lettuce Production under Lowland Condition. *CLSU International Journal of Science & Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 1-7. DOI 10.22137/ijst.2017.v2n2.01.

VAUGHAN, J.G., 2006. A Multidisciplinary Study of the Taxonomy and Origin of «Brassica» Crops. *BioScience*, vol. 27, no. 1, pp. 35-40. ISSN 00063568. DOI 10.2307/1297791.



## ANEXOS

### Anexo N° 1. Declaratoria de la autenticidad de las autoras

Yo, INGA CLEMENTE, Wendy Yesmin, egresada de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura, y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo - Lima, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis titulado:

“Remoción de cobre en un sistema hidropónico “NFT” con aguas contaminadas utilizando como Fitorremediador la *Brassica juncea* (yuyo)”, es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que el Trabajo de Investigación / Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 8 de abril del 2022,

INGA CLEMENTE, Wendy Yesmin	
DNI:	Firma
ORCID:	

Anexo N° 2. Declaratoria de autenticidad del asesor

Yo, ....., docente de la Facultad / Escuela de posgrado..... y Escuela Profesional / Programa académico ..... de la Universidad César Vallejo - Lima, asesor (a) de la Tesis titulada:

“Remoción de cobre en un sistema hidropónico “NFT” con aguas contaminadas utilizando como Fitorremediador la Brassica juncea (yuyo)” de la autora INGA CLEMENTE, Wendy Yesmin, constato que la investigación tiene un índice de similitud de .....% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 8 de abril del 2022

DNI	Firma
ORCID	

Anexo N° 3. Matriz de consistencia

**TITULO: “Remoción de cobre en un sistema hidropónico “NFT” con aguas contaminadas utilizando como Fitorremediador la Brassica juncea (yuyo)”.**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿Cuánto será la remoción de cobre de las aguas del Rio Mantaro en un sistema hidropónico NFT tipo piramidal utilizando Brassica juncea (yuyo)?</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>- Determinar la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro en un sistema hidropónico NFT tipo piramidal utilizando Brassica juncea (yuyo)</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>El cultivo de yuyo (Brassica juncea) en un sistema hidropónico NFT tipo piramidal tiene una remoción de cobre del 80 % de las aguas del rio Mantaro.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE</b></p> <p>Sistema Hidropónico</p>	<p>Litros</p> <p>Días</p>
<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>- ¿Qué concentración de cobre inicial presenta las aguas del rio Mantaro?</p> <p>- ¿Cuál será el tipo de solución nutritiva suministrado al cultivo hidropónico de yuyo (<i>Brassica juncea</i>) tipo piramidal aplicando la técnica NFT que remueva mayor cantidad de cobre de las aguas del rio Mantaro?</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>-Determinar la concentración de cobre inicial presenta en las aguas del rio Mantaro</p> <p>-Identificar el tipo de solución nutritiva suministrado al cultivo hidropónico de yuyo (<i>Brassica juncea</i>) tipo piramidal aplicando la técnica NFT que remueva mayor cantidad de cobre de las aguas del rio Mantaro</p> <p>-Determinar la influencia de la dosis de la</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>- Las aguas del rio Mantaro presentan altas concentraciones de cobre</p> <p>-El tipo de solución nutritiva aplicada al cultivo hidropónico de yuyo (<i>Brassica juncea</i>) permitirá una eficiente remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro utilizando un sistema NFT tipo piramidal.</p>	<p><b>DEPENDIENTE</b></p> <p>Cu</p>	<p>ppm (mg/L)</p>

<p><b>¿Cómo influirá la dosis de la solución nutritiva aplicada al cultivo hidropónico de yuyo (<i>Brassica juncea</i>) tipo piramidal aplicando la técnica NFT en la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro?</b></p> <p><b>¿Cómo afecta el tiempo de contacto de solución nutritiva en el cultivo hidropónico de yuyo (<i>Brassica juncea</i>) tipo piramidal aplicando la técnica NFT para la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro?</b></p>	<p>solución nutritiva aplicada al cultivo de yuyo (<i>Brassica juncea</i>) en la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro usando un sistema hidropónico NFT tipo piramidal.</p> <p>- Evaluar como afectara el tiempo de contacto de solución nutritiva en el cultivo de yuyo (<i>Brassica juncea</i>) para la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro usando un sistema hidropónico NFT tipo piramidal.</p>	<p>-La aplicación de dosis elevadas de la solución nutritiva hará factible la remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro mediante cultivo hidropónico de yuyo (<i>Brassica juncea</i>) utilizando un sistema NFT tipo piramidal.</p> <p>-Tiempo de contacto semanal de la solución nutritiva mejora las condiciones de cultivo hidropónico de yuyo (<i>Brassica juncea</i>) y por ende permite una eficiente remoción de cobre de las aguas del rio Mantaro utilizando un sistema NFT tipo piramidal.</p>		
---	--	---	--	--

Anexo N° 4. Matriz de operacionalización

TITULO: "Remoción de cobre en un sistema hidropónico "NFT" con aguas contaminadas utilizando como Fitorremediador la <i>Brassica juncea</i> (yuyo)".					
VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENCIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
<b>VARIABLES INDEPENDIENTE</b>					
SISTEMA HIDROPÓNICO	La hidroponía es un método de agricultura desarrollado para cultivar plantas sin suelo. Esto se hace mediante el uso de una solución nutritiva y el cultivo de plantas ya sea en un sustrato inerte o fuera del suelo (Jensen 2015)	El sistema hidropónico usando la técnica de flujo de nutrientes (NFT), Consiste en canales ligeramente inclinados que permite que un flujo constante superficial de solución nutritiva pase sobre las raíces de la planta que están suspendidas dentro del canal (Resh 2013). La solución nutritiva puede recuperarse fácilmente al final del canal, devolverse al reservorio y volver a aplicarse a las raíces de la planta (Spensley, Winsor y Cooper 1977).	Dosis de solución nutritiva	Volumen 1 = 10	Litros
				Volumen 2 = 20	
			Tipo de solución nutritiva	Solución A	
				Solución B	
			Tiempo de contacto	Tiempo 1 = 7	Días
				Tiempo 2 = 10	
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>					

<p>EFICIENCIA DE LA REMOCIÓN DE COBRE</p>	<p>Se refiere a la supresión del cobre (metal pesado tóxico) de la fuente natural donde está causando alteraciones (agua, suelo o aire) (San Marcos 2016).</p>	<p>La remoción del Cu de las aguas del rio Mantaro fueron analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica</p>	<p>Remoción de Cu</p>	<p>Concentración de Cu</p>	<p>ppm</p>
---	--	---	-----------------------	----------------------------	------------

## Anexo N° 5. Panel Fotográfico

Muestreo puntual de las aguas del río Mantaro margen izquierda, en el centro poblado de La Huaycha-Concepción.



Recolección de muestras de las aguas del río Mantaro para su respectiva caracterización fisicoquímica inicial.



Recolección de muestras para las corridas experimentales de las aguas del río Mantaro.





Construcción del sistema hidropónico piramidal





Sistema hidropónico piramidal usado en la investigación.



Preparación de la solución nutritiva para el sistema hidropónico.



## Preparación de sustrato para el semillero



## Acondicionamiento y regado del semillero





Mezcla de la solución en el tanque colector



Control operativo del sistema hidropónico piramidal.



Muestra representativa de agua para su respectivo análisis.



## Anexo N°6.Reportes de laboratorio



### INFORME DE ENSAYO N° 1-0047/22

Pág. 1/1

Solicitante : Wendy Yesmin Inga Clemente  
 Domicilio legal : Calle Las Orquídeas S/N - Chupaca  
 Proyecto : Remoción de cobre en un sistema hidropónico "NFT" con aguas contaminadas utilizando como Fitorremediador la Brassica juncea (yuyo).  
 Muestra(s) Declarada(s) : Agua superficial tratada  
 Lugar de Muestreo : -----  
 Cantidad de muestras para el Ensayo : 09 muestras x 250 mL  
 Forma de Presentación : 09 botellas de plástico  
 Fecha de Recepción : 28/03/22  
 Fecha de Inicio del Ensayo : 29/03/22  
 Fecha de Término del Ensayo : 29/03/23  
 Fecha de Emisión de Informe : 30/03/22  
 N° de Cotización de Servicio : -----

Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Limite de detección
Cu	W0	0.281	0.01

Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Limite de detección
Cu	W111R1	0.189	0.01
	W112R1	0.158	
	W121R1	0.153	
	W122R1	0.115	
	W111R2	0.194	
	W112R2	0.162	
	W121R2	0.158	
	W122R2	0.119	

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

**Método de Análisis:**

Cobre: SMENWW-APHA-AWWA-WEF 3500 B, 23rd Ed.2017, Cooper. (Neocuproine Method)

Huancayo, 30 de Marzo de 2022

**GRUPO JHACC S.A.C**  
 Ing. Henry R. Ochoa León  
 CIP N° 124232  
 JEFE DE LABORATORIO



"El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe"

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC"

"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce"

LAA-GJ

Rev: 01

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



**INFORME DE ENSAYO N° 1-0060/22**

Pág. 1/1

Solicitante : Wendy Yesmin Inga Clemente  
 Domicilio legal : Calle Las Orquídeas S/N - Chupaca  
 Proyecto : Remoción de cobre en un sistema hidropónico "NFT" con aguas contaminadas utilizando como Fitorremediador la Brassica juncea (yuyo).  
 Muestra(s) Declarada(s) : Agua superficial tratada  
 Lugar de Muestreo : -----  
 Cantidad de muestras para el Ensayo : 08 muestras x 250 mL  
 Forma de Presentación : 08 botellas de plástico  
 Fecha de Recepción : 25/04/22  
 Fecha de Inicio del Ensayo : 26/04/22  
 Fecha de Término del Ensayo : 26/04/22  
 Fecha de Emisión de Informe : 27/04/22  
 N° de Cotización de Servicio : -----

Ensayo	Codigo del cliente	Resultados (mg/L)	Límite de detección
Cu	W211R1	0.175	0.01
	W212R1	0.124	
	W221R1	0.146	
	W222R1	0.098	
	W211R2	0.181	
	W212R2	0.128	
	W221R2	0.152	
	W222R2	0.102	

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

**Método de Análisis:**

Cobre: SMEWW-APHA-AWWA-WEF 3500 B, 23rd Ed.2017.Cooper. (Neocupronine Method)

Huancayo, 27 de Abril de 2022

  
**GRUPO JHACC S.A.C.**  
 Ing. Henry R. Ochoa León  
 D.N.E. 184232  
 JEFE DE LABORATORIO



"El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe"

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC."

"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce."

LAA-GJ

Rev: 01

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, LOZANO SULCA YIMI TOM, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Remoción de cobre en un sistema hidropónico "NFT" con aguas contaminadas utilizando como Fitorremediador la Brassica juncea(yuyo).", cuyo autor es INGA CLEMENTE WENDY YESMIN, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 10.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 09 de Junio del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
LOZANO SULCA YIMI TOM <b>DNI:</b> 41134872 <b>ORCID:</b> 0000-0002-0803-1261	Firmado electrónicamente por: YTLOZANOS el 13- 07-2022 12:50:58

Código documento Trilce: TRI - 0306009