



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Efecto del pH y tiempo en fitorremediación de Cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro, Santiago de Chuco”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

VALENCIA CERNA, ELIZABETH JIMENA

ASESOR:

MS. VALDERRAMA RAMOS, ISIDORO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

TRUJILLO – PERÚ

2017

JURADO EVALUADOR

Ing. Medardo Alberto Quezada
PRESIDENTE

Ing. José Félix Rivero Méndez
SECRETARIO

MCs. Isidoro Valderrama Ramos
VOCAL

TRUJILLO-PERU
2017

Dedicatoria

Dedico esta tesis principalmente al ser nunca nos abandona y es Dios nuestro Padre Celestial, a la virgen María, a Santa Rosa de Lima; quienes derramaron su bendición, y me dieron la fuerza de voluntad para seguir adelante cuando estuve a punto de caer, y permitirme haber llegado a este momento especial de mi formación profesional y terminar esta tesis de grado en Ingeniería Ambiental. A mis padres quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos, que a pesar que nos separaron cientos de kilómetros siempre les tuve presente; a mis hermanos David, José y Rover, a mis primos Kelly y Jesús, a mi cuñada Fiorella , a mi pequeña y adorable sobrina Fátima, a mi tía Marilú a quien quiero mucho. A mis amigas, compañeros, maestros que sin su apoyo esta meta no se hubiese concretado.

Agradecimiento

Agradezco a Dios, a la virgen María, a Santa Rosa de Lima, quienes me bendijeron, acompañaron, guiaron a lo largo de mi formación profesional, por haberme dado la fuerza de voluntad para seguir adelante en los momentos de debilidad y cumplir uno de mis anhelados sueños.

Le doy las infinitas gracias a dos seres que son muy importantes en mi vida: mis padres Edilberto y Elena, por su apoyo y consejos, por confiar en mí, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación.

A mis hermanos, David, José y Rover por su apoyo, por ser parte de mi vida, por mantener unida a la familia. A mis primos Kelly y Jesús. A mi cuñada Fiorella por el apoyo en los buenos y malos momentos, a mi pequeña y adorable sobrina Fátima por haberme dado la bendición en cada una de las jornadas de la tesis.

Agradecer a la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO por haberme dado la oportunidad de estudiar y lograr ser una profesional, por asignar un asesor que me apoyo durante todo el desarrollo de la tesis: el MSc. Isidoro Valderrama.

A mi profesor de Tesis, Dr. Alberto Quezada por su visión crítica, por sus consejos, que me ayudaron a formarme como persona y profesional e investigador.

Por su apoyo incondicional al Ingeniero José Félix Rivero y a todos mis profesores que aportaron con su granito de arena a lo largo de mi formación profesional.

A todos mis amigos (as) y familiares por el apoyo, comprensión, el ánimo y consejos brindados.

A todos ellos muchas gracias, que Dios los Bendiga.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Elizabeth Jimena Valencia Cerna, estudiante de la Escuela Académico Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la Universidad César Vallejo sede/ filial Trujillo; declaro, que la presente tesis titulada: “EFECTO DEL pH Y TIEMPO EN FITORREMEDIACIÓN DE COBRE CON *Lemna minor* DEL AGUA DEL RÍO SURO, SANTIAGO DE CHUCO”, para la obtención del título profesional de INGENIERO AMBIENTAL es de mi autoría.

Así mismo, declaro:

La originalidad de la conceptualización, interpretación de los datos, la elaboración de las conclusiones y de las evidencias mostradas en la presente tesis, son auténticos y veraces, dejando en claro que se ha respetado la propiedad intelectual de aquellos aportes de otros autores; la cual, se han referenciado de acuerdo con lo establecido en las normas de elaboración de trabajos académicos.

El presente trabajo de investigación no has sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.

Trujillo, 23 de Diciembre del 2017

Elizabeth Jimena Valencia Cerna

DNI: 77153926

Presentación

Señores miembros del jurado, presento ante ustedes la Tesis titula “Efecto del pH y tiempo en fitorremediación de Cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro, Santiago de Chuco.”, con la finalidad de dar cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo para obtener el Título profesional de Ingeniero Ambiental.

El presente trabajo de investigación consta de 8 capítulos: en la cual en el capítulo I ubicamos la introducción donde se da a conocer la problemática ambiental, el planteamiento y formulación del problema, la justificación y antecedentes, teorías relacionadas a las variables en estudio; en el capítulo II ubicamos el marco metodológico, el cual incluye tipo, diseño, población y muestra de la investigación. Y el uso de instrumentos y métodos tanto para la recolección y procesamiento de datos.

En el capítulo III ubicamos los resultados, en el capítulo V encontramos a la discusión de la investigación, capítulo V se sitúan las conclusiones, la cual son los hallazgos de la investigación, el en capítulo VI se encuentran las recomendaciones, en el capítulo VII ubicamos las referencias bibliográficas, finalmente en el capítulo VII se muestran los anexos donde se muestran los instrumentos, imágenes, tablas, gráficos utilizados en esta investigación.

Esperando cumplir con los requisitos de aprobación.

La autora

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Realidad Problemática	12
1.2 Trabajos Previos	13
1.3 Teorías Relacionadas al Tema	16
1.4 Formulación del Problema	23
1.5 Justificación del Estudio	24
1.6 Hipótesis	24
1.7 Objetivos	24
1.7.1 Objetivo General	24
1.7.2 Objetivos Específicos	25
II. MÉTODO	25
2.1 Diseño de Investigación	25
2.2 Variables, Operacionalización	26
2.2.1 Variables	26
2.2.2 Operacionalización de variables	26
2.3 Población y Muestra	27
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	27
2.4.1. Técnicas de recolección de datos	27
2.4.2. Instrumentos y equipos	28
2.4.3. Validez de confiabilidad	29
2.5 Métodos de Análisis de Datos	29
2.5.1. Recolección de muestra para los tratamientos	29
2.5.2. Recolección de la especie <i>Lemna minor</i>	29
2.5.3. Descripción de la experimentación	30
2.5.4. Análisis de datos	30
2.6 Aspectos Éticos	31
III. RESULTADOS	31
IV. DISCUSIÓN	37
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES	41
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	46

Índice de Tablas

Tabla 1: Georreferenciación del río Suro en UTM.....	17
Tabla 2: Ventajas y desventajas de la fitorremediación.....	18
Tabla 3: Macrófitas acuáticas flotantes que remueven de metales pesados.	20
Tabla 4: Metales pesados y su fuente de generación	21
Tabla 5: ECA para agua. Concentración de cobre; Categoría 3.....	22
Tabla 6: Diseño de la investigación.....	25
Tabla 7: Operacionalización de variables.....	26
Tabla 8: Métodos normalizados para determinar los parámetros fisicoquímicos.....	28
Tabla 9: Instrumentos, equipos y reactivos químicos.	28
Tabla 10: Normas metroológicas peruanas.....	29
Tabla 11: Comparación de la concentración inicial de cobre en el agua del río Suro –con el ECA para agua.	31
Tabla 12. Primera réplica: Porcentaje de remoción de Cu con Lemna minor	53
Tabla 13. Segunda réplica: Porcentaje de remoción de Cu con <i>Lemna minor</i>	53
Tabla 14. Tercera réplica: Porcentaje de remoción de Cu con Lemna minor	53
Tabla 15: Valores promedios de concentración y porcentaje de remoción de Cu obtenidos en los tratamientos a pH 4, 5 y 6 y tiempo de tratamiento con Lemna minor	53
Tabla 16: Porcentaje promedio de remoción de Cu con Lemna minor	54
Tabla 17: Valores de Concentración y porcentaje de remoción de cobre en el proceso de fitorremediación con Lemna minor.	54
Tabla 18: Comparación de resultados con los ECA para agua establecido en el DS. N°004-2017-MINAM	54
Tabla 19: Concentración de Cu del grupo control (agua de río sin Lemna minor)	55
Tabla 20: Prueba de Normalidad para el pH	58
Tabla 21: Prueba de Normalidad para el tiempo	58
Tabla 22: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error ^a	58
Tabla 23: Análisis de varianza – ANOVA	59
Tabla 24: Pruebas post hoc para el pH.....	59
Tabla 25: Pruebas post hoc para el tiempo.....	60

Índice de Figuras

Figura N° 1: Ubicación del río Suro-Tres Ríos-Cachicadán- Santiago de Chuco.	17
Figura N° 2: Morfología de la planta acuática flotante Lemna minor.....	19
Figura N° 3: Efecto del pH (4, 5 y 6) y tiempo de tratamiento (0, 5, 10 y 15 días) en el porcentaje de remoción de cobre con Lemna minor.....	32
Figura N° 4: Porcentaje de remoción de Cu con Lemna minor en función del pH 4, 5 y 6	33
Figura N° 5: Comparación de los resultados de remoción de cobre con los estándares de calidad para agua, categoría 3.....	34
Figura N° 6: Medidas marginales estimadas.....	36
Figura N° 7: Efluente que es vertido al río Suro	46
Figura N° 8: Croquis Cuenca Río Suro, Cachicadán- Santiago de Chuco – La Libertad.....	46
Figura N° 9: Condiciones iniciales del agua del río Suro	49
Figura N° 10: Informe de ensayo de análisis de cobre a 5 días de tratamiento....	50
Figura N° 11: Informe de ensayo de análisis de cobre a 10 días de tratamiento .	51
Figura N° 12: Informe de ensayo de análisis de cobre a 15 días de tratamiento .	52
Figura N° 14: Construcción y acondicionamiento de mini invernadero	55
Figura N° 15: Diseños de las cubas de vidrio para realizar los experimentos	55
Figura N° 16: Recolección de la muestra del río Suro.....	56
Figura N° 17: Proceso de Fitorremediación con Lemna minor.....	56
Figura N° 18: Toma de muestras, etiquetado y acondicionamiento.....	56
Figura N° 19: Tratamiento con <i>Lemna minor</i> a diez días a pH=6, pH=5 y pH=4..	57
Figura N° 20: Intoxicación de la especie Lemna minor después de quince días de tratamiento a diferente pH.....	57

RESUMEN

La presente investigación se realizó con la finalidad de obtener un proceso para fitorremediar el agua del río Suro, que viene siendo afectada por los efluentes de una minera, este proceso busca disminuir la concentración de cobre mediante el uso de la especie vegetal acuática flotante *Lemna minor*. El diseño que se aplicó en la investigación fue un diseño experimental bifactorial, la muestra fue de 80 litros de agua del río. Los métodos estadísticos aplicados fueron: prueba de Wilk-Shapiro, una prueba paramétrica (ANOVA) y la prueba de Tukey. Para los análisis de cobre del agua se usó el método de espectrometría de absorción atómica a la llama y plasma. En conclusión, se logró remover cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro en un 97,4 % y 99,8 % a un pH6 a los 10 y 15 días de iniciado el tratamiento, reduciendo de 7.376 ppm hasta 0.189 ppm y 0.011 ppm de cobre respectivamente, dichos valores están por debajo de los ECAs para agua para la categoría 3 de riego de vegetales y bebida de animales, establecidos por D.S. N° 004-2017-MINAM.

Palabras clave: Fitorremediación – agua de río-remoción – *Lemna minor* – cobre

ABSTRACT

This research was carried out with the purpose of obtaining a process to fitorremediar the water of the river Suro, which is being affected by the effluents of a miner, this process seeks to decrease the concentration of copper by using the plant species Floating aquatic Lemna Minor. The design that was applied in the research was a bivariate experimental design, the sample was 80 liters of water from the river. The statistical methods applied were: Wilk-Shapiro test, a parametric test (ANOVA) and the Tukey test. The method of atomic absorption spectrometry to the flame and plasma was used for the analysis of copper of the water. In conclusion, it was possible to remove copper with Lemna minor of the water of the river Suro in 97.4% and 99.8% to a pH6 at 10 and 15 days of initiation of the treatment, reducing from 7,376 ppm to 0189 ppm and 0.011 ppm of copper respectively, these values are below the RCTs for Water for the Category 3 of irrigation of vegetables and drink of animals, established by D.S. N° 004-2017-MINAM.

Keywords: Phytoremediation - river water - removal - Lemna minor - copper

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

El agua, es el recurso natural más abundante y esencial del planeta, con características únicas, que permite la supervivencia de todo ser vivo en la tierra; el ser humano necesita agua para realizar sus diferentes actividades sociales y económicas, por ejemplo: para los usos domésticos, la industria, la minería, la agricultura, centrales de energía, etc. en una sola palabra, para vivir. (VAQUERO. et al., 2012,p.63)

Particularmente las industrias al empezar sus procesos productivos generan gran cantidad de contaminantes líquidos, sólidos y gaseoso; hoy en día éstas abordan de forma efectiva la explotación y contaminación insostenible de los recursos hídricos en especial el agua dulce; a nivel mundial anualmente vierten entre 300 y 500 millones de toneladas de insumos químicos como: metales pesados, disolventes, lodos tóxicos y otros residuos; alterando las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua, convirtiéndola en no apta para consumo humano, al tiempo que mata a la biodiversidad acuática, que sirve como sustento para gran parte de la población. Además existe el peligro de que el agua contaminada se transfiera a la cadena trófica mediante su uso en agricultura o por captación directa de las plantas o los animales. (ONU, 2011)

En España los ríos más emblemáticos, que se encuentran en un estado deplorable por la gran carga de insumos químicos contaminantes, están: El Segura, El Ebro, El Guadiana, El Tajo; que sumado a sus características naturales, hay presencia de especies invasoras, las alteraciones del cauce, el entorno natural degradado, el abuso por parte de la industria agrícola del regadío, la minería y el propio desarrollo urbanístico. (Conciencia ECO, 2014).

En los países en vías de desarrollo, el 70% de los residuos industriales se vierten a los cuerpos de agua, sin tratamiento alguno; nuestro país es uno de ellos, donde la calidad de agua se está deteriorando cada día más, así lo demuestra un estudio efectuado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en 129 de las 159 cuencas hídricas del país, permitió conocer que todos los ríos analizados están contaminados, en diversos sectores, con coliformes termotolerantes y metales pesados. De los cuales en el departamento de la

libertad resaltan los ríos moche y Virú, que presentaron altas concentraciones de cobre, plomo, zinc, aluminio, hierro, manganeso, arsénico, níquel y cadmio. (TALLEDO, 2016)

En la Provincia de Santiago de Chuco una de las empresas mineras que vienen desarrollando actividades extractivas, es la minera San Simón dedicada a la exploración y explotación de yacimientos de minerales de Oro, Plata y Polimetálicos, durante su proceso productivo generan efluentes ácidos con gran carga de insumos químicos (metales pesados), estos son vertidos sin un tratamiento previo al río Suro, generando así la pérdida de biodiversidad, agua no apta para la agricultura y la ganadería.

1.2 Trabajos Previos

Según, **BOKHARI Syeda. et al. (Islamabad, Pakistan 2015)**, en su artículo: “Potencial de fitorremediación de *Lemna minor* para metales pesados” como el cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y níquel (Ni) de dos efluente en forma cruda se evaluó en un ensayo durante 31 días. La concentración de metales pesados en agua y la muestra de plantas se analizaron a los 3, 10, 17, 24 y 31 días. Se calculó la eficiencia de remoción, la absorción de metal y el factor de bioconcentración (FBC). Los resultados confirmaron la acumulación de metales en la planta y la disminución en los efluentes. La eficacia de eliminación fue superior al 80% para todos los metales y se observó una eliminación máxima para el níquel (99%) de SMIE. Los FBC fueron menores que 1000 y se encontraron FBC máximos para el cobre (558) y el plomo (523,1) indicó que la planta es un acumulador moderado de ambos metales. En general, *L. minor* mostró un mejor rendimiento de SMIE y fue más eficaz en la extracción de plomo que otros metales

Según, **JING Li, HAIXIN Yu y YANING Luan (2015)**, en su artículo: “Meta, análisis de las capacidades de absorción de cobre, zinc y cadmio de plantas acuáticas en aguas contaminadas con metales pesados”. Con el objetivo principal de proporcionar una base científica para seleccionar hidrófitas adecuadas para la fitorremediación de agua con metales pesados. El estudio indicó que un total de 69 especies de plantas acuáticas, que pertenece a un

máximo de 19 familias diferentes, fueron capaces de crecer, y tolerar altos niveles de Cu, Zn y Cd en agua. El Factor de Bioconcentración (BCF) media (μ) para Cu fue similar en todas las 13 familias de plantas ($n = 110$, media = 2,87, min = -2,12, max = 8,46), donde el FBC más alto para Cu se halló en la familia *Gramineae* y *Pontederiaceae* (en especial en la *Eichhornia crassipes*). Además, los resultados indican que el agua ligeramente ácida, con un pH de 5.6 hasta 6.5, ayuda a la absorción de metales pesados por las plantas, dado que el valor de pH es uno de los factores más importantes que controlan la disponibilidad de metal.

Según **AURANGZEB, N. et al. (Pakistán-2014)** en su artículo: "Potencial de fitorremediación de plantas acuáticas de efluentes de fundición de acero", los efluentes industriales sin tratar que son descargados a un cuerpo de agua afectan negativamente a los seres vivos que habitan allí; para evitar esta problemática se deben usar tecnologías convencionales como la fitorremediación. Es por ello que en su investigación se comprobó el rendimiento fitorremediador con dos especies acuáticas flotantes, *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, para la eliminación de metales pesados del efluente, con el método de espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos fueron: *P. stratiotes* y *E. crassipes* presentaron concentraciones totales de Cu de 0,0547 mg / kg y 0,1286 mg / kg, respectivamente; por lo que de la concentración total 0,0163 mg / kg se almacenaron en los brotes de *P. Stratiotes* y 0,0851 mg / kg se en los brotes de *E. crassipes*, respectivamente, mientras 0,0384 mg / kg y 0,0435 mg / kg fueron retenidos por Las raíces de *P. stratiotes* y *E. crassipes*. Además los resultados de eficiencia porcentual indicaron que *E. crassipes* es un mejor candidato para la fitorremediación de Cd, Cu, As, Al, Pb (82,8%, 78,6%, 74%, 73%, y 73%, respectivamente) y fue moderadamente eficiente para Zn, Cr y Fe (65,2%, 62,8% y 61%, Respectivamente), pero fue un pobre remedio de Mn (39,5%).

Según, **MARK, Apelt (2010)**, en su tesis: "Fitorremediación de aguas residuales contaminadas con cobre usando *Lemna minor*". Este estudio específicamente a intentado determinar la viabilidad para usar *Lemna minor*

para remediar aguas residuales contaminadas con cobre. El estudio utilizó muestras de 100 ml de aguas residuales, artificiales con 8 mg /L de sulfato de cobre y se sembraron con aproximadamente 100 frondas de *Lemna minor*. Cada tratamiento se repitió 15 veces y se añadió agua destilada diariamente para mantener muestras de 100 ml. Los resultados estadísticos indicaron que el grupo de tratamiento, que contiene *Lemna minor*, mostró una disminución significativa en la concentración media de cobre para todos los intervalos de 3, 6 y 9 días. La pérdida de cobre a partir de la solución parece ser acumulativa en el tiempo, con la mayor disminución del 55,0% en la concentración media el día nueve 9; mientras que en los grupos de control no muestran disminución significativa en la concentración media de cobre (sólo 4,16% en más de 9 días). En conclusión, la *Lemna minor* demostró ser eficaz en la recuperación de cobre a partir de una solución acuosa de aguas residuales además puede ser una especie adecuada para la fitorremediación de aguas residuales contaminadas con cobre. Los resultados positivos obtenidos indican que el uso de *Lemna minor* podría ser utilizado como un método rentable para la fitorremediación in situ en una instalación de recuperación de agua.

PARRA Lúe-Morú. et al. (Venezuela -2012), en su artículo denominado: “Fitorremediación de bajos niveles de metales pesados utilizando lenteja de agua (*Lemna minor*)”. Cuyo objetivo es determinar la eficiencia de la remoción y la bioacumulación de metales pesados en *L.minor* en función del tiempo (15 a 25 días). Este ensayo fue realizado a escala de laboratorio donde a partir de soluciones se preparó los elementos para el agua, Hg (0,1 mg/L), Cu (10 mg/L), Zn (0.6 mg L/1), As (0.15 mg /L), Pb (0.7 mg/L), y para el Cr +3 y Cr +6 a (1,4 mg/L). Se usó espectrometría de absorción atómica de llama para el análisis del agua y el tejido foliar, los métodos estadísticos aplicados fueron: prueba de Wilk-Shapiro), prueba de Barlett y una prueba paramétrica (ANOVA). Se obtuvo los siguientes resultados; con respecto a los valores iniciales de Cu y Zn, se incrementó de 24 a 330 mg kg⁻¹ para Zn y de un valor menor a 4 a 15 mg kg⁻¹ para Cu. La concentración de cobre en el agua disminuyó en función del tiempo en el tratamiento experimental (solución nutritiva+ Lemna + Cu), lo que demuestra que el elemento fue absorbido por el planta y se acumuló y se utilizó

para las funciones fisiológicas. El porcentaje de eliminación del agua fue 31.24% después de 18 días. En conclusión la especie *Lemna minor* es muy adecuada para la remediación de mercurio, arsénico, cromo, zinc y plomo a bajos niveles de contaminación. La cosecha de la planta debe realizarse en el período de 14 a 21 días.

Según **BARRETO, Yazmin y PAREDES, José (2015)** en su artículo denominado: “Determinación del potencial de absorción de cobre en solución acuosa de las especies”. El presente estudio de investigación, se realizó con el objetivo de evaluar y comparar la capacidad potencial de dos especies acuáticas para la absorción de cobre en solución acuosa. Las especies utilizadas para el estudio fueron: *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, la cual se colocaron en cubas de vidrio con soluciones de cobre, en concentraciones crecientes de 10, 30, 60 y 90 mg/L. Se evaluaron, los cambios físicos en las especies vegetales, la tasa de crecimiento relativo mediante la ecuación de Hunt y la cuantificación de cobre absorbido, por espectrofotometría de absorción atómica, bajo un sistema tipo batch por un período de 20 días. Finalmente se obtuvo como resultados que la tasa de crecimiento relativo se vio afectada con la concentración de 10 mg/L de cobre, en ambas especies, así mismo se determinó alta capacidad de absorción de cobre las dos especies, siendo 98.87 % y 98.34% para *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* respectivamente. En conclusión, se puede decir que su aplicación en la fitorremediación de aguas contaminadas con cobre, sería más eficiente en efluentes mineros, dada la trayectoria minera de nuestro país en la extracción de cobre.

1.3 Teorías Relacionadas al Tema

1.3.1 Marco Teórico

1.3.1.1 Ubicación

El río Suro se encuentra ubicado en el caserío de Tres Ríos, Distrito de Cachicadán, Provincia de Santiago de Chuco, Departamento La Libertad, a una altitud promedio de 3600 m.s.n.m. con una distancia de 6.077 km.

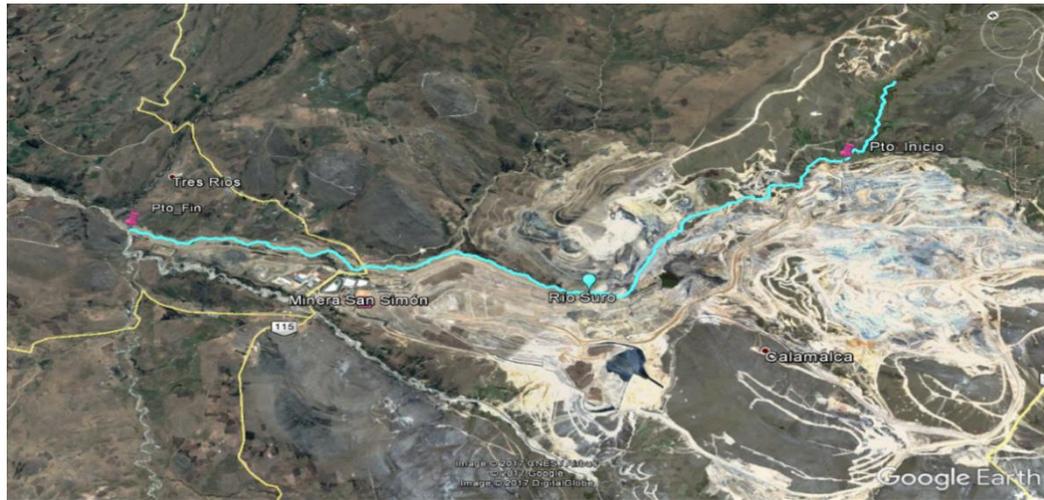


Figura N° 1: Ubicación del río Suro-Tres Ríos-Cachicadán- Santiago de Chuco.

Fuente: propia

Este río viene siendo afectado por la Minera San Simón ya que es una fuente puntual que está vertiendo sus efluentes con gran carga de metales pesados generados en su proceso productivo, además de ello, las aguas residuales domésticas de la misma empresa y de los pobladores que viven en la parte alta de la cuenca y en menor magnitud por algunas fuentes no puntuales.

Tabla 1: Georreferenciación del río Suro en UTM.

UBICACIÓN DEL RÍO SURO		
Puntos	ESTE	NORTE
Inicio río Suro	823170.79	9117193.43
Fin río Suro	819264.92	9119974.52

Fuente: propia

1.3.1.2 Fitorremediación

Está compuesta de dos palabras, *fito* y *remediar*, la primera en griego significa planta o vegetal y la segunda significa poner remedio al daño, o enmendar algo. En general la fitorremediación significa remediar o corregir un daño utilizando plantas que pueden, acumular, metabolizar, volatilizar, estabilizar o absorber a los contaminantes y retenerlos en sus tejidos. (GRIJALBO, 2016, p. 247).

La Fitorremediación es una técnica importante para contribuir con la depuración del medio ambiente, ya que es una de las tecnologías limpias, eficientes y económicas, que puede ser utilizada para remediar el agua y suelos que han sido contaminados con sustancias tóxicas (metales pesados, pesticidas, entre otros), utilizando especies vegetales, que comúnmente son aquellas que pueden tolerar altas concentraciones de dichos contaminantes. (MARTINEZ y VARGAS, 2017, p.22). A continuación, se detallan las ventajas y desventajas del proceso de Fitorremediación.

Tabla 2: Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Es sustentable. 2. Se puede realizar <i>in situ</i> o <i>ex situ</i>. 3. No requiere consumo de energía. 4. Eficiente tanto para contaminantes orgánicos e inorgánicos. 5. Se puede emplear en agua, suelo, aire y sedimentos. 6. Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa, metales) 7. Puede tratar una gama de materiales tóxicos en concentraciones de bajas a moderadas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Requiere de periodos largos. 2. Tolerancia de tóxicos a remover. 3. La biomasa contaminada requiere ser tratada o confinada. 4. En caso de fitovolatilización los contaminantes acumulados son liberados nuevamente. 5. Requiere áreas amplias. 6. En sistemas acuáticos puede favorecer la diseminación de plagas. 7. La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, generando un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.

Fuente: Tropical and Subtropical Agroecosystems (DELGADILLO, et al., 2011, p.605)

1.3.1.3 Criterios de selección de la planta

Según NÚÑEZ. et al, como lo cito JARAMILLO y FLORES, 2012; ambos dicen que la capacidad de reducción del contaminante durante el proceso de fitorremediación dependerá esencialmente del tipo de especie vegetal a usar, teniendo en cuenta su estado de crecimiento, su estacionalidad y el tipo de metal a remover. Además, para tengan un buen rendimiento, las

plantas a utilizar deben ser: tolerantes ya acumuladoras de a altas concentraciones de metales, tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad, especies locales, y finalmente deben ser fácilmente cosechables.

1.3.1.4 Especie de macrófita *Lemna minor*

- Taxonomía: La planta acuática flotante pertenece a la siguiente clasificación:

Reino: <i>Plantae</i>	Familia: <i>Lemnaceae</i>
División: <i>Magnoliophyta</i>	Subfamilia: <i>Lemnoideae</i>
Clase: <i>Liliopsida</i>	Género: <i>Lemna</i> L.
Orden: <i>Arales</i>	

- Descripción

Su nombre común es lenteja de agua se aplica a especies del género *Lemna* y otros géneros (*Spirodela*, *Wolffia*, *Wolffiella*) de la familia de las *Lemnaceae*, es una macrófita muy pequeña de estructura simple, no presenta tallo separado de las hojas, posee una fusión entre ambos llamado fronda, (FERNÁNDEZ, 2009, p.104), tiene raíz única por fronde, hasta 3 cm, filiforme, frondes de 0,8 - 4 mm, obovadas, planas, uninervadas, sépalos y pétalos ausentes; estambres 1-2; ovario único en forma de botella. Su distribución es universal, se encuentra en ambientes acuáticos, como: charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados; principalmente crece en aguas eutrofizadas, por lo que es considerada como indicadora de la calidad del agua. (MERELES. et al, 2015, p.98)

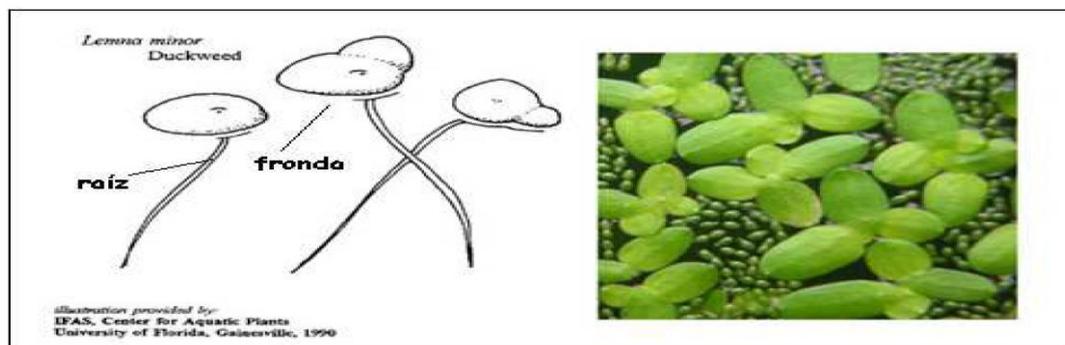


Figura N° 2: Morfología de la planta acuática flotante *Lemna minor*.
Fuente: IFAS Center Aquatic Plants, University of Florida Gaines, Gainesville, 1990. (JARAMILLO y FLORES 2012)

- Características del hábitat

La planta puede desarrollarse a una temperatura, que varía entre 5° y 30°C, las condiciones de temperatura adecuadas están entre 15° y 18°C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación y crece vertiginosamente en aguas calmadas y ricas e nutrientes (nitrógeno y fosfatos). (JARAMILLO y FLORES, 2012)

Así mismo, soporta un rango amplio de pH, entre 3 y 10. El rango típico de pH para estas plantas es de 4,5 - 7,5; se reporta que para *Lemna minor* el pH mínimo es de 4,0 respectivamente y máximo de 10. (CASTRILLON, Vanessa y NAVARRO leydi, 2016)

La familia *Lemnáceas* en algunas ocasiones han sido utilizadas como plantas purificadoras de aguas residuales particularmente la *Lemna minor* según diversos estudios puede extraer más de 4 metales pesados, así como también diversos nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio. Además, esta sirve como alimento para animales domésticos por su alto contenido proteico y para utilizarla en ensayos de toxicidad con el fin de determinar el efecto negativo de sustancias tóxicas en el agua. (GARCÍA, 2012, p.10)

Tabla 3: Macrófitas acuáticas flotantes que remueven de metales pesados.

PLANTAS ACUÁTICAS FLOTANTES		
Nombre Científico	Nombre Común	Elementos químicos
<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	Flores de agua	Cd, Cr, Ni, Pb, Zn
<i>Bacopa monnieri</i>	Bacopa	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb
<i>Lemna minor</i>	Lenteja de agua	Cd, Cu, Pb, Zn, Hg, Zn, Fe
<i>Pistia stratiotes</i>	Lechuga de agua	Cd, Cr, Cu, Hg
<i>Salvinia molesta</i>	Salvinia	Cd, Ni, Pb, Zn
<i>Azolla filiculoides</i>	Helecho acuático	Cu, Ni, Mn, Pb
<i>Valisneria americana</i>	Valisneria lisa	Cd, Cr, Cu, Pb
<i>Hydrilla verticillata</i>	Maleza acuática	Cd, Cr, Hg, Pb

Fuente: Adaptado de (JARAMILLO y FLORES, 2012)

1.3.1.5 Metales pesados: fuente de generación y su toxicidad

Los metales pesados de acuerdo a su nivel de toxicidad pueden clasificarse en dos grupos: El primero al que pertenecen elementos como el Cu, Zn y Cr+3, incluye aquellos queridos por los organismos en dosis moderadas, pero que pasan de ser tóxicos al superar ciertas concentraciones. El segundo grupo lo conforman aquellos que no tienen un rol biológico conocido, pero si una clara toxicidad, dado que en concentraciones mínimas pueden ser muy tóxicos, estos son: As, Cd, Hg, Pb, Cr+6, etc. (JARAMILLO, 2012)

Tabla 4: Metales pesados y su fuente de generación

METAL PESADO	FUENTE/ORIGEN
Cromo	Industria de electroplatinado, lodos, residuos sólidos, curtiembres.
Cadmio	Orígenes geogénicos actividades antropogénicas, fundición y refinación de metales, quema de combustibles fósiles etc.
Mercurio	Erupciones volcánicas, incendios forestales, emisiones de industrias, quema de madera, carbón y turba.
Arsénico	Semiconductores, preservantes de madera, aditivos de alimentos para animales, herbicidas, volcanes, minería.
Cobre	Industria de electroplata, minería y fundición, biosólidos.
Plomo	Minería y fundición, quema de gasolina, residuos municipales, industriales, pinturas.
Selenio	Minería de carbón, refinación de aceites, combustión de combustibles fósiles, industria manufacturera de vidrio y síntesis química.
Zinc	Industria de electroplata, minería y fundición y biosólidos.

Fuente: Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives. (LONE, et al., 2008)

Toxicidad de los metales pesados depende, como ha quedado expuesto previamente, de la concentración, la forma química y la persistencia. Un elemento indispensable para un ser vivo en concentraciones traza puede llegar a ser tóxico en concentraciones elevadas. Por otra parte, la mayoría de metales pesados se combina con otras formas químicas, antes de entrar en los organismos o cuando se encuentra en el interior de los mismos; por tanto, antes de determinar la toxicidad de un elemento es

necesario determinar la forma química en la que se encuentra. La persistencia se define como el tiempo que tarda un contaminante en transformarse en una forma no tóxica. (MENDOZA et al., 2016, p.53)

1.3.1.6 Efectos del cobre en la salud y el medio ambiente

El cuerpo necesita pequeñas cantidades de cobre para poder funcionar correctamente. Pero el exceso de exposición al cobre puede causar una serie de problemas de salud, un largo periodo de exposición al cobre puede irritar la nariz, la boca y los ojos; además, pueden causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. El cobre no ha sido determinado como cancerígeno aún. Sin embargo, este no se rompe en el ambiente y tiende a acumularse en plantas y animales siempre y cuando este elemento sea encontrado en suelos y en los cuerpos de agua; que a altas concentraciones pueden causar la muerte por envenenamiento e intoxicación. A los suelos suele hacerlos infértiles, ya que tiene una influencia negativa en la actividad de los microorganismos y lombrices de tierra. (LENNTECH BV, 2017)

1.3.1.7 Estándares de calidad ambiental para agua

La normatividad vigente detalla todos los parámetros y sus concentraciones del recurso hídrico de acuerdo a tres categorías: Categoría A. Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, Categoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación la producción de agua Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales. En la siguiente tabla se puede apreciar los límites permisibles para cobre. (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM)

Tabla 5: ECA para agua. Concentración de cobre; Categoría 3

Parámetro	Unidad de medida	Riego de vegetales de tallo alto y corto	Bebida de animales
Cobre	mg/l	0,2	0,5
Conductividad	(μ S/cm)	2 500	5 000

Fuente: DS. N°004-2017-MINAM

1.3.2 Marco Conceptual

pH: es la medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua, el cual indica el grado de acidez del agua; el rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango neutral. Un pH por debajo de 7 es ácido, mientras que, si es mayor a 7, es básica. El pH se puede ver afectado por los vertidos de aguas residuales, los drenajes de las minas y el tipo de rocas que forman el lecho de la masa de agua estudiada. La mayoría de las especies acuáticas prefieren vivir aun pH entre 6 y 8. Los animales y plantas se han adaptado a un pH específico, y si este se sale de estos límites podrían morir, dejar de reproducirse o emigrar. Un pH bajo también puede hacer que los compuestos tóxicos sean más perjudiciales porque más fácilmente a las plantas y los animales acuáticos. (MENDOZA et al., 2016)

Cobre: es un elemento químico que forma parte del grupo 11 de la tabla periódica, de símbolo Cu, con número y peso atómico 29 y 63,54 respectivamente; se considera como uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. En la naturaleza, está presente en dos estados de oxidación, Cu (I) y Cu (II). Así mismo este metal tiene bastante apego por los sulfuros, tal es así que la mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita (a Cu_2S), covelita (CuS), calcopirita ($CuFeS$), bornita y enargita. (LENNTECH BV, 2017)

Estándar de Calidad de agua (ECA): Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. (LEY N° 28611-MINAM)

1.4 Formulación del Problema

¿Cuál es el efecto del pH y el tiempo de tratamiento en el proceso de fitorremediación del Cobre con *Lemna minor*, a escala de laboratorio, del agua del río Suro, Santiago de Chuco?

1.5 Justificación del Estudio

En Perú las actividades productivas como la explotación minera se está incrementando cada día más, dado que nuestro país posee gran cantidad de reservas de oro, plata, bronce, entre otros metales preciosos, que tienen un alto valor económico en el mercado; es por ello, que se vienen desarrollando nuevos proyectos autorizados y no autorizados, generando ingresos en las poblaciones donde se instalan los complejos mineros; sin embargo, esta actividad genera impactos negativos en el ambiente, como: la emisión de contaminantes hacia los recursos naturales, sobre todo a los cuerpos superficiales de agua, ya que llegan a tener concentraciones muy altas de sales, materia orgánica, metales pesados, etc., alterando así su calidad para consumo humano, riego de vegetales y bebidas de animales; tal es el caso, de la minera San Simón que viene descargando sus efluentes al río Suro sin hacer un tratamiento previo. Ante este problema surge la idea de buscar tecnologías convencionales para la remoción de metales pesados presentes en el agua del río Suro generadas por la industria extractiva, siendo una alternativa la “fitorremediación”; que consiste en usar plantas que depuran agua contaminada. Mediante la fitorremediación se hará la remoción de metales pesados disueltos, dando como resultado un agua libre de estos metales, evitando con ello la pérdida de producción agrícola y ganadera, además de salvaguardar la salud de la población ahí presente.

1.6 Hipótesis

El pH y el tiempo de tratamiento afectan el proceso de fitorremediación del Cobre con *Lemna minor*, a escala de laboratorio, del agua del río Suro, Santiago de Chuco.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del pH y tiempo de tratamiento en el proceso de fitorremediación de Cobre con *Lemna minor*, a escala de laboratorio, del agua del río Suro, Santiago de Chuco.

1.7.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar el tiempo de tratamiento que permita obtener un mayor porcentaje de remoción de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro.
- ✓ Determinar el valor de pH de tratamiento que permita obtener un mayor porcentaje de remoción de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos del parámetro en estudio antes y después del tratamiento; con los ECAs para la categoría 3 establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM – ANA.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de Investigación

La investigación presenta un diseño experimental bifactorial (3^2), donde se manipularon dos variables independientes (pH y tiempo); evaluados en sus tres niveles:

- pH del agua por tratamiento (4, 5 y 6)
- Tiempo de tratamiento (5, 10 y 15 días)
- Grupo control

Tabla 6: Diseño de la investigación

N° Tratamientos	Parámetros		Tratamientos	N° de Repeticiones
	pH	Tiempo		
1	pH ₁ = 4	t ₁ = 5 días	pH ₁ t ₁	3
2		t ₂ =10 días	pH ₁ t ₂	3
3		t ₃ = 15 días	pH ₁ t ₃	3
4	pH ₂ = 5	t ₁ = 5 días	pH ₂ t ₁	3
5		t ₂ =10 días	pH ₂ t ₂	3
6		t ₃ = 15 días	pH ₂ t ₃	3
7	pH ₃ = 6	t ₁ = 5 días	pH ₃ t ₁	3
8		t ₂ =10 días	pH ₃ t ₂	3
9		t ₃ = 15 días	pH ₃ t ₃	3

Fuente: propia

Dónde: pH	t = tiempo (días)	Peso de Lemna minor
pH= 4	t ₁ : 5 días	150 gramos por
pH= 5	t ₂ : 10 días	cada tratamiento
pH= 6	t ₃ : 15 días	

2.2 Variables, Operacionalización

2.2.1 Variables

A. Variables Independientes

- pH.
- Tiempo del tratamiento con *Lemna minor*.

B. Variable Dependiente

- Remoción de cobre.

2.2.2 Operacionalización de variables

Tabla 7: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
pH	Es la medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua, el cual indica el grado de acidez del agua; el rango varía de 0 a 14, siendo 7 el rango neutral. Un pH por debajo de 7 es ácido, mientras que, si es mayor a 7, indica que el agua es básica. (MENDOZA Diego et al., 2016)	Se regulo el pH del agua del río y se llevará a tres pH distintos estos son 4, 5 y 6. Para ello se usará bicarbonato (HCO ₃ ⁻).	pH	Escala
Tiempo de tratamiento con <i>Lemna minor</i>	Es el tiempo que requiere la planta para fitorremediar el cobre.	Se evaluaron 3 tiempos en días (5, 10 y 15) mediante el uso de un calendario.	días	Escala

Remoción de cobre	Es la cantidad o el porcentaje removido de Cu tomando como referencia la concentración inicial y final de Cu, que se obtiene mediante el proceso de fitorremediación con <i>Lemna minor</i> .	Se determinó por espectrofotometría de absorción atómica aplicando la siguiente fórmula. $\frac{Cu\ inicial - Cu\ final}{Cu\ inicial} * 100$	%Cu	Razón
-------------------	---	---	-----	-------

Fuente: propia

2.3 Población y Muestra

2.3.1. Población

La población estuvo definida por el caudal del río Suro que equivale a 323 L/seg, este se encuentra al costado de las instalaciones de la empresa minera San Simón, en el Caserío de Tres Ríos, Distrito de Cachicadán, en la Provincia de Santiago de Chuco.

2.3.2. Muestra

La muestra obtenida fue de 80 litros de agua del Rio Suro, tomada 100 metros aguas abajo del último efluente de la minera, el muestreo fue puntual de acuerdo al Protocolo de monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos - Autoridad Nacional del Agua – DGCRH.

2.3.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis estuvo representada por los 8 litros de agua que se usó para cada tratamiento; para el proceso de fitorremediación de la concentración de cobre.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua del río Suro se realizaron en base a los métodos normalizados para análisis de aguas; para ello se utilizarán instrumentos de medición, guías para muestreo y análisis.

Tabla 8: Métodos normalizados para determinar los parámetros fisicoquímicos

TIPO DE ENSAYO	NORMA	TITULO
Cobre	EPA METHOD 6020A, Rev. 1	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
Temperatura	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 22nd Ed.	Temperature. Laboratory and Field Methods.
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed.	Conductivity. Laboratory Method.
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22nd Ed.	pH Value. Electrometric Method.

Fuente: propia

2.4.2. Instrumentos y equipos

En la siguiente tabla se describen los instrumentos y equipos:

Tabla 9: Instrumentos, equipos y reactivos químicos.

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVO
Para muestreo y conservación de la muestra		
-	frascos de PEAD de 1L	Ácido nítrico
Para realizar los análisis en laboratorio		
Espectrofotómetro de absorción atómica	Pipetas aforadas de 5 - 100 ml.	Ácido clorhídrico (HCl) 37 %.
Plancha calefactora	Erlenmeyer de 100 - 125 ml.	Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) 95-98 %.
Balanza analítica digital	Papel de filtro	Solución estándar de cobre de 1000 mg/L:
Potenciómetro	Matraces aforados de 25-1000 ml.	Entre otros insumos como agua destilada
Termómetro	Piseta	
Conductímetro	Vasos de precipitación de 50 ml.	

Fuente: propia

2.4.3. Validez de confiabilidad

Los equipos e instrumentos utilizados en esta investigación fueron acondicionados de acuerdo a la Ley N° 30224, Ley que crea el Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de Calidad. El INACAL como ente rector del SNC tiene dentro de sus competencias la normalización, acreditación y metrología, que a través del Consejo Directivo y el Comité Permanente son los encargados de elaborar y aprobar las normas técnicas peruanas para cada una de sus competencias.

Tabla 10: Normas metrológicas peruanas

CÓDIGO	NORMA DE CALIBRACIÓN
NMP 009: 1999	Norma metrológica Peruana 009.18.1999
NMP 003:2009	Norma Metrológica Peruana 003: 2009
NMP 020:2014	Termómetros eléctricos clínicos

Fuente: propia

2.5 Métodos de Análisis de Datos

2.5.1. Recolección de muestra para los tratamientos

La muestra de agua del río Suro para la investigación fue tomada 100 metros aguas abajo tomado desde último efluente emitido por la minera San Simón, el muestreo se realizó de acuerdo al protocolo de monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos - Autoridad Nacional del Agua – DGCRH.

La muestra fue recolectada en 4 recipientes de 20 litros cada uno. Estos fueron enjuagados tres veces con el agua de río, para evitar que agentes externos puedan alterar la muestra; luego estos fueron trasladados a la ciudad de Trujillo, al mini-invernadero, construido en la vivienda del investigador donde se llevó a cabo el proceso experimental de la investigación.

2.5.2. Recolección de la especie *Lemna minor*

La especie acuática flotante *Lemna minor* que se usó en el ensayo se recolectó de una microrepresa ubicada en el caserío denominado Tres

Ríos, para ello se tuvo en cuenta: buena pigmentación y que no presente deterioro en su estructura.

2.5.3. Descripción de la experimentación

Los análisis se realizaron en un laboratorio externo acreditado.

Etapa N°1: Determinación de parámetros fisicoquímicos de la muestra

Se realizó la caracterización fisicoquímica de dos muestras: de un punto de referencia y una muestra tomada del último efluente de la minera.

Se realizaron análisis de los parámetros en estudio, de cada uno de los tratamientos con *Lemna minor* a diferente pH (pH = 4, 5 y 6) aplicados al agua de río; con lo cual, se hará un análisis inicial y luego a los 5, 10 y 15 días, esto para cada tratamiento. Los instrumentos y equipos para dicho análisis se detallan en la Tabla N° 8.

Etapa N°2: Acondicionamiento del lugar ambiente para el tratamiento

Se construyó un mini-invernadero de 4 m², a base de malla Rachel, fue acondicionado con tablas de madera en forma de mesa, donde se colocaron las cubas de vidrio con cada uno de los tratamientos, estos eran de una capacidad de 12 litros cada una.

Etapa N°3: Procedimiento del tratamiento de fitorremediación

Se colocaron 8 litros de muestra de agua de río en cada cuba (4 unidades), una de ella fue el grupo control, y las otras tres, como el agua era acida con bicarbonato se llevó a pH 4, 5 y 6 respectivamente.

Se pesó 150 gramos de *Lemna minor* y se colocó la misma cantidad en las tres peceras que contienen la muestra a diferente pH.

Todos los días por la mañana se agito la muestra para homogenizar y evitar la sedimentación del material suspendido y adicionalmente se observó el comportamiento de las plantas, el color del agua, etc.

2.5.4. Análisis de datos

Para evaluar el efecto de los factores utilizó un análisis de varianza (ANOVA) y para determinar el mejor tratamiento se empleó la prueba de Tukey; todos los análisis fueron realizados a un nivel de confianza del 95%. Para ello se usó el programa SPSS versión 24.0.

2.6 Aspectos Éticos

En la investigación se tuvo en cuenta lo siguiente: se usó la Norma ISO 690 para citar a cada uno de los autores, para así respetar la propiedad intelectual de cada uno de ellos; se construyó y acondiciono un mini-invernadero para que los aspectos ambientales no interfieran negativamente en el ensayo; en cuanto a la recopilación de datos, fotografías del lugar, de los análisis, la ubicación del lugar, entre otros, cada uno de ellos tuvo su respectiva descripción de manera detalla, para que no haya duda de la legitimidad de la investigación. Los aspectos relacionados netamente con la empresa son reservados y se usaron únicamente para el desarrollo de esta investigación y demás consideraciones de la universidad César Vallejo expresa en reglamento a través del área de investigación de proyectos.

III.RESULTADOS

3.1 Condiciones iniciales del agua del río Suro

Como en todo estudio de investigación y de acuerdo a los antecedentes en los que se basa la presente tesis, en primer lugar, se debe determinar las principales características fisicoquímicas de la muestra; ya que éstas influyen directamente en el proceso de fitorremediación.

Tabla 11: Comparación de la concentración inicial de cobre en el agua del río Suro –con el ECA para agua.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor Prom.	DS. N°004-2017-MINAM		
				Riego de vegetales	Bebida de animales	Cumple Si/no
Cobre	Cu	mg/L	7.376	0.2	0.5	No
Conductividad		(μ S/cm)	2210	2 500	5 000	Si
pH			3.35	6-9	6-9	NO

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11, se observa que la muestra del agua del río Suro presentó una concentración de cobre promedio de 7.376 miligramos de Cobre por litro de agua, que, comparado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua superficial, para la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, el cobre no cumple con dicho estándar.

La determinación de la concentración inicial de cobre del agua del río Suro, se obtuvo mediante el método de espectrometría de absorción atómica; así mismo, a ésta muestra se aplicaron todos los tratamientos, basándose en el diseño bifactorial. Cada tratamiento se realizó con tres replicas, en la cual se obtuvo el porcentaje de remoción para cada tratamiento en cada replica, dichos resultados se encuentran en la tabla N° 12, 13 y 14 (Ver anexo N°4).

3.2 Determinación de la fitorremediación de cobre en función del pH y tiempo de tratamiento.

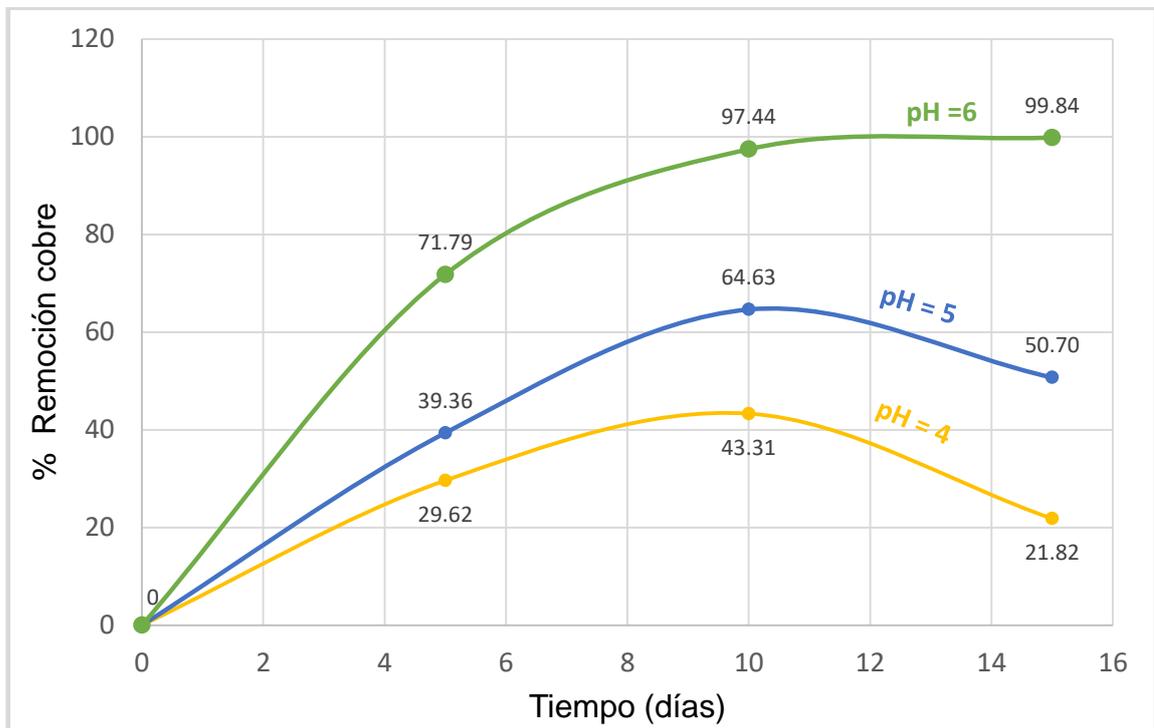


Figura N° 3: Efecto del pH (4, 5 y 6) y tiempo de tratamiento (0, 5, 10 y 15 días) en el porcentaje de remoción de cobre con *Lemna minor*.

En la figura N° 3, se observa el proceso de la fitorremediación de cobre en cada uno de los tratamientos con *Lemna minor* a diferentes niveles de pH (4, 5 y 6) y evaluando su porcentaje de remoción de Cu durante 5, 10 y 15 días de tratamiento. Se observa que para los tratamientos a pH 4 y 5 su mayor capacidad de remoción se produjo durante los primeros 10 días de tratamiento alcanzando valores de 43.32% y 64.63% respectivamente; mientras que para el tratamiento a pH 6 se obtuvo el mayor porcentaje de remoción de Cu a los 15 días con un valor de 99.85%.

Así mismo en la Tabla 15 (Anexo N° 4), se muestra la evolución de la concentración de Cu durante el proceso de fitorremediación en cada uno de los tratamientos con *Lemna minor* a diferentes unidades de pH y tiempo, donde se produjo una disminución progresiva de la concentración de cobre en cada uno de los tratamientos, donde los tratamientos a pH 4 y 5 alcanzaron su mayor remoción a los 10 días con valores de 4.181 ppm y 2.609 ppm de Cu respectivamente, mientras que para el tratamiento a pH 6 se obtuvo la mayor disminución de Cu a los 15 días con un valor de 0.189 ppm.

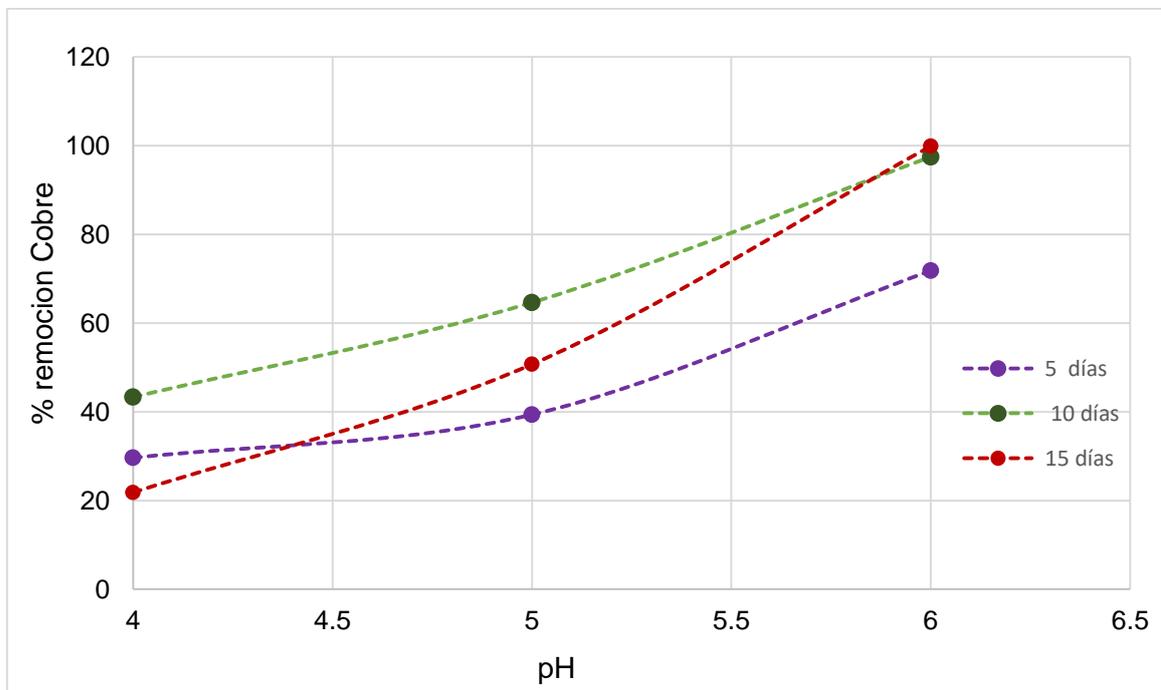


Figura N° 4: Porcentaje de remoción de Cu con *Lemna minor* en función del pH 4, 5 y 6

En la figura N°4 se representa el porcentaje de remoción de cobre con *Lemna minor* durante 5, 10 y 15 días de tratamiento en función del pH a 4, 5 y 6, donde se observa una relación directa entre las unidades de pH con el porcentaje de remoción de cobre. Se puede visualizar que al aumentar las unidades de pH el porcentaje de remoción de cobre con *Lemna minor* aumenta. Además en la gráfica se observa que los tratamientos pH 4, 5 y 6

3.3 Comparación de resultados con el ECA para agua establecido en el DS. N°004-2017-MINAM

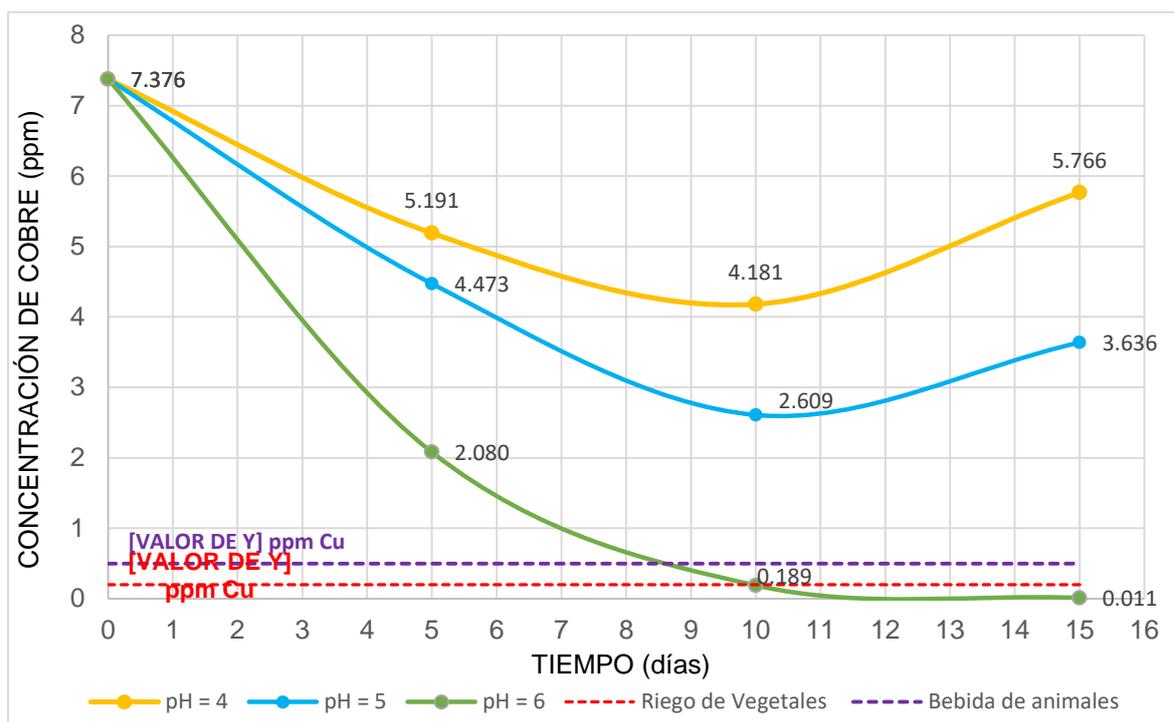


Figura N° 5: Comparación de los resultados de remoción de cobre con los estándares de calidad para agua, categoría 3.

En la figura N° 5, se observa la comparación de los resultados de remoción de Cu con *Lemna minor* en cada uno de los tratamientos, con los ECAs para agua para la categoría 3 establecida en el DS. N°004-2017-MINAM. Donde se muestra que para el tratamiento a pH 6 a los 10 y 15 días de iniciado el proceso de fitorremediación se logra reducir la concentración de cobre de 7.376 mg/L a 0.189 mg/L y 0.011 mg/L respectivamente ver tabla 17 (Anexo N°5.), dichos valores están por debajo de los establecidos en el ECA para agua de la categoría 3. Sin embargo, cuando el pH es 4 y 5 no se logra reducir hasta los valores establecidos en dicho decreto.

3.4 Análisis estadísticos

En el trabajo de investigación se eligió un diseño bifactorial y cada factor evaluados en sus tres niveles con tres replicas ($3 \times 3 = 9$ tratamientos, por 3 repeticiones en total 27 pruebas) y una variable dependiente.

Para validar las hipótesis se utilizó el programa SPSS versión 24.0 y se hicieron las siguientes pruebas estadísticas:

Antes de realizar un análisis de varianza ANOVA, se aplicó la prueba de Normalidad usando el método de Shapiro-Wilk para cada factor; en la cual, se comprobó que los resultados obtenidos en cada uno de ellos, estadísticamente tienen una distribución normal (ver Anexo N°6, tabla 20 y 21), a un 95% de confiabilidad.

Así mismo, se realizó la prueba de Levene para la igualdad de varianzas, donde se obtuvo que la variabilidad de los valores de remoción de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro según el pH y tiempo son homogéneos dado que el valor de $P > 0.05$. (Ver Anexo N°6, Tabla 22).

Como se determinó que los valores tienen una distribución normal y cumplen con la homogeneidad, para determinar estadísticamente si existen diferencias significativas entre el pH y el tiempo de tratamiento con *Lemna minor* para la remoción de cobre del agua del río Suro, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) al 95% de confiabilidad donde se plantearon dos hipótesis:

H_0 : No existen diferencias significativas entre los niveles de pH y tiempo de tratamiento con *Lemna minor*.

H_1 : Existe diferencias significativas entre los niveles de pH y tiempo de tratamiento con *Lemna minor*.

Se obtuvo como resultados que existe diferencia altamente significativa entre los niveles de pH y tiempo en días respecto a la remoción de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro, ya que se obtuvo el valor $P < 0.05$. (Ver Anexo N°6, Tabla 23)

De acuerdo a las diferencias significativas de los tratamientos, se realizaron las pruebas Post Hoc tales como: la prueba estadística Tukey la cual fue

contrastada con la de Scheffe, para determinar el mejor pH y el mejor tiempo de tratamiento con *Lemna minor*, para la remoción de Cobre a una confiabilidad del 95%. (ver Anexo N°6, Tabla 24 y 25)

Donde Mediante los análisis estadísticos realizados se puede concluir que a pH=6 en 15 días se obtuvo el mejor tratamiento para la fitorremediación de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro.

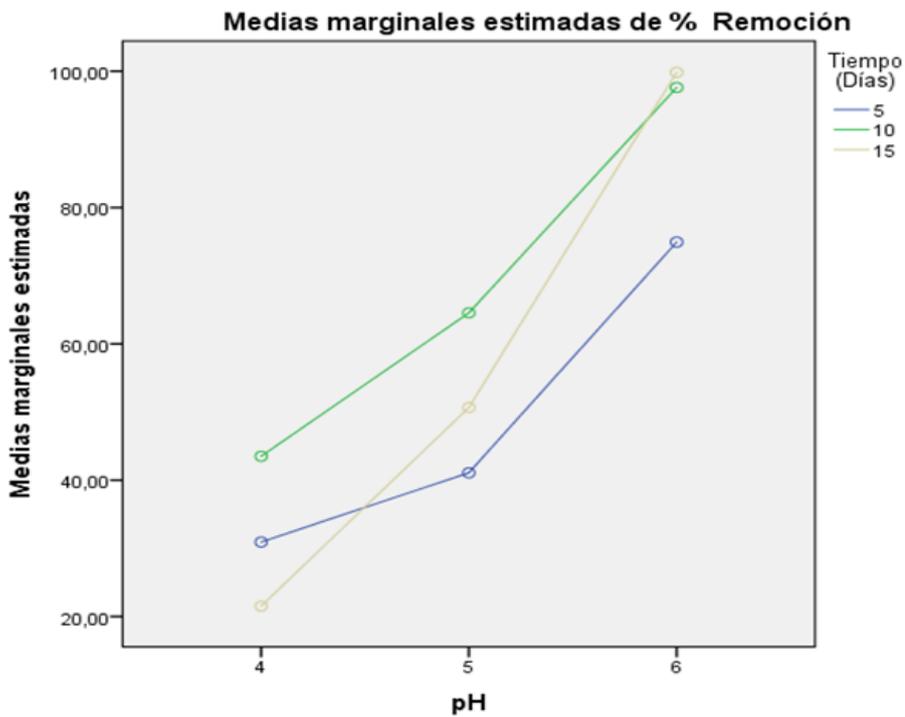


Figura N° 6: Medidas marginales estimadas

En la Figura N° 6. Se puede observar la relación entre el tiempo de tratamiento y las medias marginales estimadas, con el pH. Gráficamente se puede observar que la mayor remoción de cobre en función al pH se obtiene a los 10 días de tratamiento tanto para pH 4 5 y 6; sin embargo, a los 15 días de tratamiento y solo a un pH=6 se obtiene la mayor remoción de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro.

IV. DISCUSIÓN

En la tabla N°11, se puede observar las principales características físico-químicas de la muestra estudiada, esta presentó una conductividad promedio de 2210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una concentración promedio de 7.376 miligramos de Cobre por litro de agua, la cual sobrepasaron los Estándares de Calidad Ambiental para agua superficial, para la categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales, que según la Ley N°28611-MINAM, estos vienen hacer la medida que establece el nivel de concentración de elementos físicos, químicos y biológicos en agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Con esto se confirma la teoría expuesta por (Lenntech BV 2017) en la cual indica que altas concentraciones de cobre en el agua pueden causar la muerte por envenenamiento e intoxicación tanto de plantas como animales incluido el ser humano; con respecto al cobre valores similares se encontraron en la investigación realizada por Mark Apelt (2010), donde la concentración de cobre fue de 8 miligramos de cobre por litro de agua.

Cada uno de los factores (pH y tiempo) en estudio fueron evaluados en sus tres niveles cada uno para la remoción del cobre, en la figura N°3, se observa los resultados obtenidos durante el proceso de fitorremediación de cobre; donde la concentración de Cu a distintos pH (4, 5 y 6) empezó a variar en función del tiempo entre 10 y 15 días; Parra Lúe-Morú (2012) reafirma lo antes mencionado ya que en su investigación evaluó a 15 y 20 días la concentración de cobre en el agua disminuyó en función del tiempo en el tratamiento experimental (solución nutritiva+ Lemna + Cu). Además, se observa que a pH 6 en 15 días después de iniciado el tratamiento, se redujo hasta 0.011 mg/L de cobre; y según JING Li, HAIXIN Yu y YANING Luan (2015), de acuerdo a sus resultados indica que el agua ligeramente ácida, con un pH de 5.6 hasta 6.5, ayuda a la absorción de metales pesados por las plantas, dado que el valor de pH es uno de los factores más importantes que controlan la disponibilidad de metal. Sin embargo, ocurrió todo lo contrario a pH 4 y pH 5 en 15 días; donde se dio origen a un proceso de expulsión, además las plantas empezaron intoxicarse más rápido presentando procesos

de necrosis, clorosis y el proceso de crecimiento tardío tal como se observa en la Figura N°20 (Anexo N° 5), a diferencia de pH 6 la especie vegetal empezó a crecer e incrementar su población; Esto se debe a que la especie soporta un rango de pH 4,5 - 7,5; se reporta que para *Lemna minor* el valor de pH mínimo es de 4,0 y máximo de 10, el crecimiento es completamente inhibido con un pH mayor a este (CASTRILLON, Vanessa y NAVARRO leydi, 2016). Sin embargo (MENDOZA, Diego et al., 2016) nos refiere que la mayoría de las especies acuáticas (flora y fauna) prefieren vivir a un pH entre 6 y 8 ya que un pH bajo puede ocasionar que los compuestos tóxicos sean más perjudiciales para las plantas y los animales acuáticos.

En la figura N°4 se muestra la remoción de cobre con *Lemna minor* en función al pH para cada tratamiento de fitorremediación; donde el porcentaje de remoción de dicho metal pesado a pH 6 en 15 días, la especie removió el 99.8 % de cobre; a pH 4 y 5 en 10 días se removió el 64.6% y 43.3% respectivamente, mientras que a los 15 días hay un proceso de intoxicación y la especie empieza a expulsar el Cu ocasionando que el contenido porcentual de remoción de Cu disminuya. Estos resultados son similares a los obtenidos por BOKHARI Syeda. et al. (Pakistan 2015), donde la remoción de metales con *Lemna minor* de dos efluentes municipal e industrial, la eficacia de eliminación fue superior al 80% para todos los metales incluido el Cu a bajas concentraciones a los 31 días y se observó una eliminación máxima para el níquel (99%) de SMIE, esto se corrobora con lo reportado en la Tabla N°3 establecida por (JARAMILLO y FLORES) en la que especifica que la *Lemna minor* remueve varios metales (Cd, Cu, Pb, Zn, Hg, Zn, Fe) . Así mismo, valores similares presentados en la investigación de AURANGZEB, N. et al. (Pakistán-2014) con las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, en la que la eficiencia porcentual indica que los porcentajes de remoción de cobre obtenidos, para la especie *Pistia stratiotes* fueron de 79.42 - 98.87 % y para la *Eichhornia crassipes* de 76.61 - 98.34 %.

Sin embargo los resultado presentados por MARK, Apelt (2010) en la que el porcentaje de remoción medio de cobre fue el 55.0% del 100 % que equivale

a 10 mg/L de Cu; a una concentración similar presenta la investigación de PARRA Lúe-Morú. et al. (2012), donde solo logró remover el 31.24 % de cobre a los 18 días de iniciado el tratamiento. No concuerdan con los resultados obtenidos a pH 6, pero si con los resultados obtenidos a pH 4 y pH 5 a los 10 y 15 días después de iniciado el tratamiento fitorremediador con *Lemna minor*.

Para el análisis estadístico de los resultados que consiste en verificar que los datos mantengan una distribución normal; para ello en el Anexo N°6 se puede visualizar la aplicación de la prueba de normalidad; debido a que el tamaño de la muestra fue menor a 50, se trabajó con la prueba de Shapiro-Wilk dando como resultado que el valor $P > 0.05$, por lo tanto se afirma estadísticamente que los datos presentan una distribución normal, a un nivel de confiabilidad del 95 %.

Al igual que PARRA Lúe-Morú. et al. (Venezuela -2012), se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) (ver Anexo N°6, Tabla 23) para ver si existía diferencias significativas entre el pH y el tiempo de tratamiento con *Lemna minor*, con lo cual estadísticamente se comprobó que si existe diferencias significativas entre grupos.

Se logró la reducción de la concentración de cobre del agua del río Suro de 7.376 ppm hasta 0.189 y 0.011 ppm, a un pH 6, en 10 y 15 días respectivamente, estos valores están por debajo de los establecidos en el D.S.N°004-2017- MINAM. ECA para agua categoría 3 riego de vegetales 0.2 ppm y bebida de animales 0.5 ppm; sin embargo, con los resultados obtenidos a pH 4 y pH 5 en función del tiempo no se logró reducir dicha concentración para cumplir con lo establecido en la norma.

V. CONCLUSIONES

1. En el proceso de fitorremediación de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro, evaluado a pH=6 y un tiempo de tratamiento de 15 días, se logró remover hasta en un 99,8% de dicho metal presente en el agua.
2. Se determinó estadísticamente con las pruebas Post hoc de Tukey y Scheffé que el tiempo de tratamiento que permitió obtener la mayor remoción de cobre, durante el proceso de fitorremediación del agua del río Suro con *Lemna minor*, es a los 15 días de iniciado el tratamiento con pH 6 a un intervalo de confianza del 95%.
3. Se determinó estadísticamente con las pruebas Post hoc de Tukey y Scheffé que el tratamiento cuyo valor de pH permitió obtener la mayor remoción de cobre, durante el proceso de fitorremediación del agua del río Suro con *Lemna minor* es con un valor de pH = 6 a un intervalo de confianza del 95%.
4. Al comparar los resultados obtenidos del parámetro en estudio con los ECAs para la categoría 3 establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM, se obtuvo que la concentración inicial fue de 7,376 mg/L de cobre la cual excedía para la categoría 3, al aplicar el proceso de fitorremediación con *Lemna minor* se consiguió disminuir la concentración de cobre hasta 0.011 ppm, valor muy por debajo de 0,500 ppm y 0,200 ppm establecido para dicha categoría en el mencionado decreto.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda trabajar con niveles de pH mayores a 5 y menores a 8, ya que, en el presente trabajo de investigación, se concluye que a pH 4 y pH 5 no fue tan eficiente la remoción de Cu y es por ello que se recomienda planificar el uso de otras variables para que el proceso de fitorremediación con *Lemna minor* sea más eficiente.
2. Evaluar el efecto de otras variables del proceso, tal como la iluminación, concentración de metales pesados y así determinar si la planta es selectiva.
3. Se recomienda realizar la cosecha de la especie a los 10 días de iniciado el tratamiento, para evitar que ocurra la expulsión de los contaminantes, ya que dicho proceso es lo contrario al proceso de bioabsorción.
4. Se recomienda para futuras investigaciones determinar el Factor de Bioconcentración de metales en la especie vegetal (absorción); así mismo la disminución de dichos metales en el agua.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

AURANGZEB.N, Nisa.S, BIBI.Y, JAVED. F and F. Hussain . “Phytoremediation potential of aquatic herbs from steel foundry effluent”. Revista Brazilian Journal of Chemical Engineering, [en línea]. Dicember of 2014.Vol. 31 N°.4. pp.881. [Date of consultation: 20 of april of 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/bjce/v31n4/06.pdf> ISSN 0104-6632

BARRETO, Yazmin y PAREDES, José. "Determinación del potencial de absorción de cobre en solución acuosa de las especies". Revista de Investigación y Amazonía, vol.5.N°1 y N°2. Universidad Nacional Agraria de la Selva [En línea]. 01 de marzo de 2017. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2017]. Disponible en: <http://www.unas.edu.pe/revistas/index.php/revia/article/view/82>

BOKHARI, Syeda; AHMAD, Iftikhar; MAHMOOD, Hassan y MOHAMMAD, Ashiq. “Phytoremediation potential of Lemna minor L. for heavy metals”. Revista International Journal of Phytoremediation, [On line]. 26 june of 2015.Vol.18. N°1. [Date of consultation: 10 of november of 2017]. Disponible en: <https://scihub22266ogcxt.onion.link/10.1080/15226514.2015.1058331#>

CASTRILLON, Vanessa y NAVARRO leydi. “Evaluación de la fitorremediación como alternativa para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con mercurio producto de la minería aurífera (artesanal y pequeña escala)”. Tesis (título de Ingeniero Ambiental). Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Bogotá, Colombia. 2016.

DELGADILLO, Angélica; GONZALES, Alberto; PRIETO, Francisco; IBARRA, José y ACEVEDO, Otilio “Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación”. México. Revista Brazilian Journal of Chemical Engineering, [en línea]. 2011. [Fecha de consulta: 12 de mayo de 2017] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93918231023>ISSN 1870-0462

Decreto Supremo N°004-2017 MINAM. Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú, 7 de junio de 2017.

FERNÁNDEZ, María. Manual de Fitodepuración, Filtro de macrófitas en flotación [En línea]. España: Universidad Politécnica de Madrid 2009 [fecha de consulta: 15 de mayo de 2017]. Capítulo 7. Macrófitas de interés en fitodepuración. Disponible en:<http://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%207.pdf>

GARCÍA, Zarela. "Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas". Tesis (Título de Ingeniero Sanitario), Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú. 2012. 282p

GRIJALBO, Lucía. "Elaboración de inventarios de focos contaminantes. UF1941" [en línea]. 1ª.ed. Logroño, España: Tutor Formación. 2016. [fecha de consulta: 14 julio de 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=pJ8mDAAAQBAJ&pg=PA247&dq=proceso+s+de+FITORREMEDIACIÓN> ISBN: 978-4-16482-27-6

JARAMILLO, Mariuxi y FLORES, Edison. "Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* y *Echhornia Crassipes* en aguas residuales producto de la actividad minera". Tesis (título de Ingeniero Ambiental) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. 2012. 128p.

JING Li, HAIXIN Yu y YANING Luan. "Meta-Analysis of the Copper, Zinc, and Cadmium Absorption Capacities of Aquatic Plants in Heavy Metal-Polluted Water". Magazine International Journal of Environmental Research and Public Health: College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing [Online]. 26 of November of 2015, Vol. 12. [Date of consultation: 15 of april 2017]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijerph121214959> ISSN: 14958-14973

LENNTECH BV. "Cobre-Propiedades químicas del Cobre - Efectos del Cobre sobre la salud - Efectos ambientales del Cobre". [En línea] 1998. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2017.] ©Copyright, Disponible en: <https://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>

LEY N° 28611. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 15 de octubre de 2005.

LONE Iqbal, ZHEN He, STOFFELLA Peter and YANG Xiao. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives. [En línea] 2008. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2017.] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2266886/pdf/JZUSB09-0210.pdf>. ISSN 1862-1783.

MARK, Apelt. "Phytoremediation of copper contaminated waste water using *Lemna minor*". Thesis (Master of Science). United States. Virginia Commonwealth University 2010. Disponible en: <http://scholarscompass.vcu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3299&context=etd>

MARTINEZ, Laura y VARGAS, Yessica. "Evaluación de la contaminación en el suelo por plomo y cromo y planteamiento de alternativa de remediación en la represa del Muña, Municipio De Sibaté-Cundinamarca". Tesis (Título de Ingeniero Ambiental Sanitario). Universidad de La Salle. 2017. 90p.

MENDOZA, Diego; SALAZAR, Kevin y BRAVO, Luigi. "Fitorremediación acuática con *Myriophyllum Aquaticum* para el tratamiento de efluentes generados por pasivos ambientales mineros de Hualgayoc-Cajamarca". Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales). Universidad Nacional del Callao. Perú. 2016. 213p.

MERELES, Fátima; DE EGEE Juana; CÉSPEDES, Gloria; PEÑA, María y DEGEN, Rosa. "Plantas Acuáticas y Palustres del Paraguay" [en línea]. 1ª. ed. Vol. 1. San Lorenzo, Paraguay: Rojasiana Serie Especial 2(1), Inc. 2015. [Fecha de consulta: 14 julio de 2017]. Disponible en: http://awsassets.panda.org/downloads/libro_acuaticas_web_1.pdf ISBN: 978-99967-0-234-1

Organización De Las Naciones Unidas, ONU. "Programa del Agua e industria en la economía verde". [En línea]. 2011. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2017]. Disponible en: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/green_economy_2011/pdf/info_brief_water_and_industry_spa.pdf

PARRA Lúe-Morú; TORRES, Gosmyr; AREANAS, David; SANCHEZ, Erick y RODRÍGUEZ Korina. "Phytoremediation of Low Levels of Heavy Metals Using Duckweed (*Lemna minor*)". *Revista Abiotic Stress Responses in Plants*, [On line]. 17 October 2012. pp 451-463. [Date of consultation: 10 of november of 2017]. Disponible en: http://sci-hub.cc/https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0634-1_24 ISBN 978-1-4614-0634-1

Revista Conciencia ECO. "Los ríos más emblemáticos de España están contaminados". [En línea] 14 de agosto de 2014. [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.concienciaeco.com/2014/08/14/los-rios-mas-emblematicos-de-espana-estan-contaminados/>

TALLEDO, Julio. 2016. "Más de cien ríos están contaminados con coliformes o metales" [en línea]. *El Comercio*. 15 de enero de 2016, [Fecha de consulta: 5 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://elcomercio.pe/peru/cien-rios-contaminados-coliformes-metales-262889>

VAQUERO, Pilar y TOXQUI, Laura. "Agua Para La Salud: Pasado, presente y futuro". [En línea]. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2012 [fecha de consulta: 5 de mayo de 2017]. Capítulo 3. Propiedades y funciones biológicas del agua. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>

ANEXOS

ANEXO N°1: Río Suro y vertidos de la empresa



Figura N° 7: Efluente que es vertido al río Suro

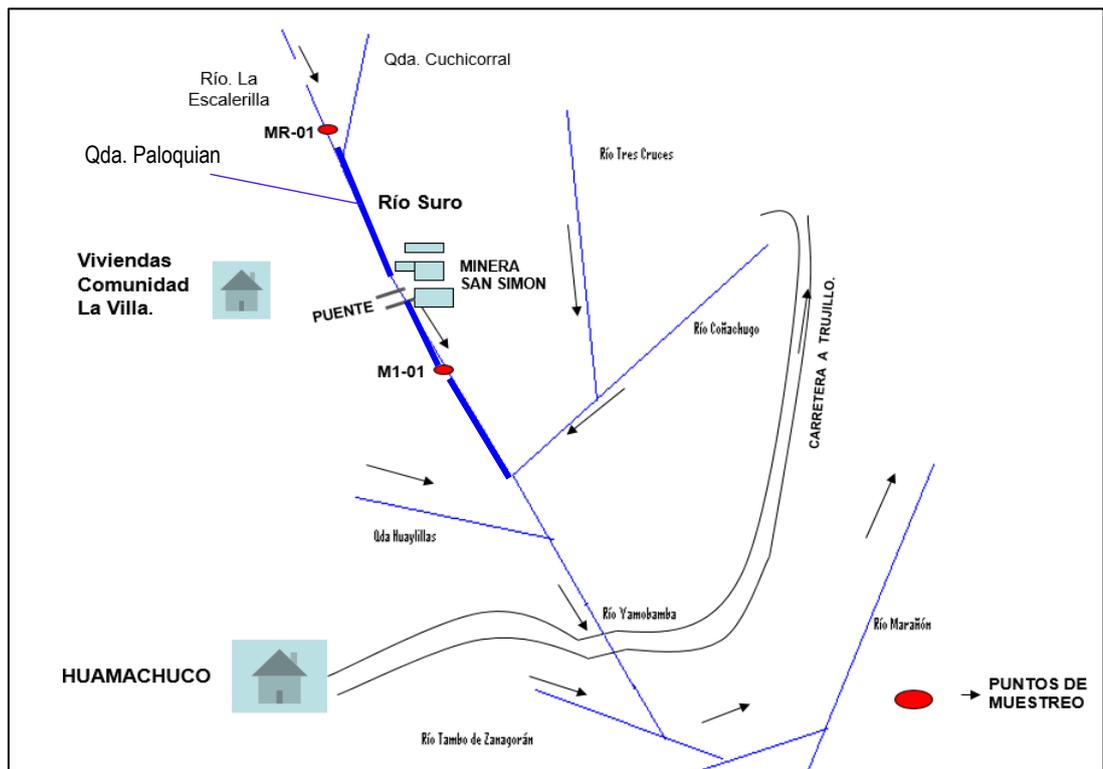


Figura N° 8: Croquis Cuenca Río Suro, Cachicadán- Santiago de Chuco – La Libertad

ANEXO N°2: Ficha de identificación, etiqueta de cadena de custodia según protocolo.



ANA
Autoridad Nacional del Agua

ANEXO IV
FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Nombre del cuerpo de agua: RIO SURO

Clasificación del cuerpo de agua: Agua Superficial (río)
(Categorizado de acuerdo con la R.L. N°252-2010-ANA y modificaciones posteriores)

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero: —
(Código Natúrico)

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo: MP-V01
(Según lo indicado en ítem 6.5.4 del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Descripción: Esta ubicado a 100 metros aguas abajo del puente del río denominada Suro.
(Origen/Ubicación)

Accesibilidad: Es de fácil acceso, pocas piedras (hay un pequeño camino)
(Describir detalladamente la vía de acceso, para que otras personas puedan encontrar fácilmente el punto de monitoreo)

Representatividad: Del punto de río Suro 100 metros aguas abajo es sobre el punto a monitoreo
(Describe el tramo de río o quebrada o la laguna o zona de laguna a mar, que el punto de monitoreo representa)

Finalidad del monitoreo: Estudio de Investigación - Preparar una posible solución a la contaminación
(Describe la finalidad del punto de monitoreo: vigilancia de un uso, evaluación de impacto de una fuente contaminante, etc.)

Reconocimiento del Entorno: El punto está identificado por una piedra pintada con spray (rojo)
(Indicar referencias topográficas que permitan el fácil reconocimiento del punto en campo)

UBICACIÓN

Distrito: Cachecón Provincia: Stgo de Chuco Departamento: La Libertad

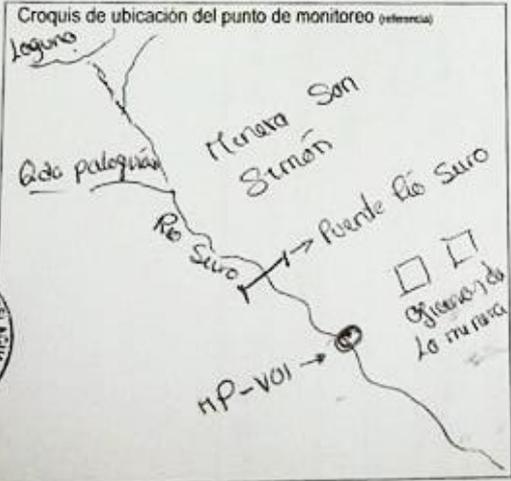
Localidad: Casero de Tres Ríos

Coordenadas (WGS84): Sistema de coordenadas: Proyección UTM Geográficas

Norte/Latitud: 7° 57' 46.74" S Zona: — (17, 18 o 19 para UTM solamente)

Este/Longitud: 78° 5' 46.00" O Altitud: 3600 msnm (metros sobre el nivel del mar)

Croquis de ubicación del punto de monitoreo (referencia)



Fotografía:
(Tomada a un mínimo de 20 metros de distancia del punto de monitoreo)



Elaborado por: Valerio Ceire Elizabeth Jimena Fecha: 14-09-17

Etiqueta de los frascos que se utilizó para recolectar las muestras después del tratamiento

ETIQUETA PARA MUESTRA DE AGUA TRATADA			
Muestreado por: Valencia Cerna Elizabeth Jimena			
Fecha de muestreo: 11 de agosto 2017		Hora:	6: 00 am
Solicitante: Valencia cerna Elizabeth Jimena			
Nombre del laboratorio: UNT			
Código: P1M001			
Parámetro requerido: Cobre			
Preservada:	SI	NO	Tipo de reactivo:

Fuente: Adaptada del Protocolo de monitoreo de calidad de RR. HH superficiales-ANA.

ANEXO N°3: INFORMES DE ENSAYOS REALIZADOS



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POREL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO No LE 026



INFORME DE ENSAYO

T-1282-I217-VCEI

Pág. 01 de 02

CLIENTE : VALENCIA CERNA ELIZABETH JIMENA
MZ- 5 LOTE 29 SECTOR NUEVO HORIZONTE - LA ESPERANZA

METODO DE ENSAYO : Químico

ITEM DE ENSAYO : Agua de río

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : Envases de plástico
Preservadas

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Trujillo, 14 de septiembre de 2017
Hora: 16:50

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Trujillo, 14 de septiembre de 2017

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendado del estándar
Metales por ICP	EPA 200.7, Rev 4.4, 1984	Ag <0.0005,As <0.0005,Cd <0.0005,Cr <0.0005, Fe <0.0005,In <0.0005,Co <0.0005,Cu <0.0005, Ca <0.0005,Cs <0.0005,Cl <0.0005,Cr <0.0005, Fe <0.0005,Hg <0.0005,K <0.0005,Li <0.0005, Mg <0.0005,Mn <0.0005,Ni <0.0005, Na <0.0005,Pb <0.0005,S <0.0005, Se <0.0005,Sn <0.0005,Sr <0.0005, Ti <0.0005,Zn <0.0005 (µg/L)	30d

Sello

Fecha Emisión

Jefe Administrativo

Jefe del Laboratorio de Química

25/09/2017

Alexandra Aurazo Rodriguez

Edder Neyra Jalco
CIP 147028

INFORME DE ENSAYO

T-1282-I217-VCEI

Pág. 02 de 02

Código de Laboratorio			T-1282-01
Código de Cliente			MIFCCL
Item de Ensayo			Agua de río
Fecha de Muestreo			14/09/2017
Hora de Muestreo			15:51
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Metales Totales por ICP**			
Aluminio	Al	mg/L	79.605
Antimonio	Sb	mg/L	<0.0052
Arsénico	As	mg/L	<0.0065
Bario	Ba	mg/L	<0.0066
Berilio	Be	mg/L	<0.0057
Boro	B	mg/L	<0.0102
Cadmio	Cd	mg/L	<0.0027
Calcio	Ca	mg/L	95.98
Cerio	Ce	mg/L	<0.0054
Cobalto	Co	mg/L	<0.0071
Cobre	Cu	mg/L	7.995
Cromo	Cr	mg/L	<0.0056
Estaño	Sn	mg/L	<0.0079
Estroncio	Sr	mg/L	<0.0103
Fósforo	P	mg/L	3.608
Hierro	Fe	mg/L	112.768
Litio	Li	mg/L	<0.0098
Magnesio	Mg	mg/L	50.882
Manganeso	Mn	mg/L	13.678
Mercurio	Hg	mg/L	<0.0008
Molibdenu	Mo	mg/L	<0.0048
Niquel	Ni	mg/L	0.496
Plata	Ag	mg/L	<0.0093
Plomo	Pb	mg/L	<0.0047
Potasio	K	mg/L	1.897
Selenio	Se	mg/L	<0.0069
Sodio	Na	mg/L	6.096
Talio	Tl	mg/L	<0.0078
Titanio	Ti	mg/L	<0.0090
Vanadio	V	mg/L	<0.0075
Zinc	Zn	mg/L	3.061



Figura N° 9: Condiciones iniciales del agua del río Suro

INFORME DE ENSAYO

T-1310-I217-VCEJ

Pág. 03 de 03

Código de Laboratorio			T-1310-01
Código de Cliente			XDI-FC
Item de Ensayo			Agua de río
Fecha de Muestreo			18/09/2017
Hora de Muestreo			16:59
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Metales Totales por ICP**			
Aluminio	Al	mg/L	20,540
Antimonio	Sb	mg/L	<0.0052
Arsénico	As	mg/L	<0.0065
Bario	Ba	mg/L	<0.0066
Berilio	Be	mg/L	<0.0057
Boro	B	mg/L	<0.0102
Cadmio	Cd	mg/L	<0.0027
Calcio	Ca	mg/L	98,479
Cerio	Ce	mg/L	<0.0054
Cobalto	Co	mg/L	<0.0071
Cobre	Cu	mg/L	2,185
Cromo	Cr	mg/L	<0.0056
Estaño	Sn	mg/L	<0.0079
Estroncio	Sr	mg/L	<0.0103
Fósforo	P	mg/L	1,098
Hierro	Fe	mg/L	30,679
Litio	Li	mg/L	<0.0098
Magnesio	Mg	mg/L	54,838
Manganeso	Mn	mg/L	10,938
Mercurio	Hg	mg/L	<0.0008
Molibdeno	Mo	mg/L	<0.0048
Niquel	Ni	mg/L	0,256
Plata	Ag	mg/L	<0.0093
Plomo	Pb	mg/L	<0.0047
Potasio	K	mg/L	2,504
Selenio	Se	mg/L	<0.0069
Sodio	Na	mg/L	345,548
Talio	Tl	mg/L	<0.0078
Titanio	Ti	mg/L	<0.0090
Vanadio	V	mg/L	<0.0075
Zinc	Zn	mg/L	1,068



Figura N° 10: Informe de ensayo de análisis de cobre a 5 días de tratamiento

INFORME DE ENSAYO

T-1365-I217-VCEJ

Pág. 03 de 03

Código de Laboratorio			T-1365-01
Código de Cliente			ABC-FC
Item de Ensayo			Agua de rio
Fecha de Muestreo			23/09/2017
Hora de Muestreo			12:40
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Metales Totales por ICP**			
Aluminio	Al	mg/L	4,436
Antimonio	Sb	mg/L	<0.0052
Arsénico	As	mg/L	<0.0065
Bario	Ba	mg/L	<0.0066
Berilio	Be	mg/L	<0.0057
Boro	B	mg/L	<0.0102
Cadmio	Cd	mg/L	<0.0027
Calcio	Ca	mg/L	68,184
Cerio	Ce	mg/L	<0.0054
Cobalto	Co	mg/L	<0.0071
Cobre	Cu	mg/L	0,521
Cromo	Cr	mg/L	<0.0056
Estaño	Sn	mg/L	<0.0079
Estroncio	Sr	mg/L	<0.0103
Fósforo	P	mg/L	0,648
Hierro	Fe	mg/L	7,201
Litio	Li	mg/L	<0.0098
Magnesio	Mg	mg/L	45,021
Manganeso	Mn	mg/L	6,371
Mercurio	Hg	mg/L	<0.0008
Molibdeno	Mo	mg/L	<0.0048
Niquel	Ni	mg/L	<0.0050
Plata	Ag	mg/L	<0.0093
Plomo	Pb	mg/L	<0.0047
Potasio	K	mg/L	1,118
Selenio	Se	mg/L	<0.0069
Sodio	Na	mg/L	265,627
Talio	Tl	mg/L	<0.0078
Titanio	Ti	mg/L	<0.0090
Vanadio	V	mg/L	<0.0075
Zinc	Zn	mg/L	0,267



Figura N° 11: Informe de ensayo de análisis de cobre a 10 días de tratamiento

INFORME DE ENSAYO

T-1408-I217-VCEJ

Pág. 03 de 03

Código de Laboratorio			T-1408-01
Código de Cliente			AVO-FC
Item de Ensayo			Agua de río
Fecha de Muestreo			28/09/2017
Hora de Muestreo			-
Parámetro	Símbolo	Unidad	
Metales Totales por ICP**			
Aluminio	Al	mg/L	0.663
Antimonio	Sb	mg/L	<0.0052
Arsénico	As	mg/L	<0.0065
Bario	Ba	mg/L	<0.0066
Berilio	Be	mg/L	<0.0057
Boro	B	mg/L	<0.0102
Cadmio	Cd	mg/L	<0.0027
Calcio	Ca	mg/L	43.659
Cerio	Ce	mg/L	<0.0054
Cobalto	Co	mg/L	<0.0071
Cobre	Cu	mg/L	<0.0084
Cromo	Cr	mg/L	<0.0056
Estaño	Sn	mg/L	<0.0079
Estroncio	Sr	mg/L	<0.0103
Fósforo	P	mg/L	0.108
Hierro	Fe	mg/L	1.123
Litio	Li	mg/L	<0.0098
Magnesio	Mg	mg/L	23.373
Manganeso	Mn	mg/L	2.022
Mercurio	Hg	mg/L	<0.0008
Molibdeno	Mo	mg/L	<0.0048
Niquel	Ni	mg/L	0.001
Plata	Ag	mg/L	<0.0093
Plomo	Pb	mg/L	<0.0047
Potasio	K	mg/L	<0.0100
Selenio	Se	mg/L	<0.0069
Sodio	Na	mg/L	209.936
Talio	Tl	mg/L	<0.0078
Titanio	Ti	mg/L	<0.0090
Vanadio	V	mg/L	<0.0075
Zinc	Zn	mg/L	<0.0091



Figura N° 12: Informe de ensayo de análisis de cobre a 15 días de tratamiento

ANEXO N°4: Resultados de % remoción Cu de las tres replicas

Tabla 12. Primera réplica: Porcentaje de remoción de Cu con *Lemna minor*

pH	% remoción de Cu		
	5 días	10 días	15 días
4	29.61	46.50	17.05
5	41.88	63.03	47.83
6	71.48	99.66	99.80

Fuente: propia

Tabla 13. Segunda réplica: Porcentaje de remoción de Cu con *Lemna minor*

pH	% remoción de Cu		
	5 días	10 días	15 días
4	30.36	38.70	28.73
5	39.10	66.28	51.44
6	72.67	93.48	99.89

Fuente: propia

Tabla 14. Tercera réplica: Porcentaje de remoción de Cu con *Lemna minor*

pH	% remoción de Cu		
	5 días	10 días	15 días
4	28.81	45.33	18.78
5	37.14	64.36	52.72
6	71.12	99.70	99.83

Fuente: propia

Tabla 15: Valores promedios de concentración y porcentaje de remoción de Cu obtenidos en los tratamientos a pH 4, 5 y 6 y tiempo de tratamiento con *Lemna minor*

Tiempo (días)	pH = 4		pH = 5		pH = 6	
	ppm Cu	% remoción Cu	ppm Cu	% remoción Cu	ppm Cu	% remoción Cu
0	7.376	0	7.376	0	7.376	0
5	5.191	29.62	4.473	39.36	2.080	71.80
10	4.181	43.32	2.609	64.63	0.189	97.44
15	5.766	21.83	3.636	50.70	0.011	99.85

Fuente: propia

Tabla 16: Porcentaje promedio de remoción de Cu con *Lemna minor*

pH	% de remoción de Cu		
	5 días	10 días	15 días
4	29.62	43.32	21.82
5	39.36	64.63	50.70
6	71.79	97.44	99.84

Fuente: propia

Tabla 17: Valores de Concentración y porcentaje de remoción de cobre en el proceso de fitorremediación con *Lemna minor*.

Tiempo (días)	pH	ppm Cu (inicial)	ppm Cu (final)			Promedio R	Porcentaje de remoción Cu (%)
			R1	R2	R3		
5	4	7.376	4.974	5.568	5.03	5.191	29.63
	5	7.376	4.107	4.869	4.442	4.473	39.36
	6	7.376	2.015	2.185	2.041	2.080	71.80
10	4	7.376	3.78	4.901	3.863	4.181	43.32
	5	7.376	2.612	2.696	2.518	2.609	64.63
	6	7.376	0.024	0.521	0.021	0.189	97.44
15	4	7.376	5.861	5.698	5.739	5.766	21.83
	5	7.376	3.686	3.882	3.341	3.636	50.70
	6	7.376	0.014	0.0084	0.012	0.011	99.84

Fuente: propia

Tabla 18: Comparación de resultados con los ECA para agua establecido en el DS. N°004-2017-MINAM

ppm Cu (inicial)	Tiempo (días)	ppm Cu promedio de cada tratamiento			ECA Agua (DS.004-2017 - MINAM) ppm Cu	
		pH = 4	pH = 5	pH = 6	Riego de Vegetales	Bebida de animales
7.376	0	7.376	7.376	7.376	0.2	0.5
	5	5.191	4.473	2.080	0.2	0.5
	10	4.181	2.609	0.189	0.2	0.5
	15	5.766	3.636	0.011	0.2	0.5

Fuente: propia

Tabla 19: Concentración de Cu del grupo control (agua de río sin *Lemna minor*)

pH	Grupo control –ppm Cu		
	5 días	10 días	15 días
3.51	7.015	7.014	7.044

Fuente: propia

ANEXO N° 5: REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura N° 13: Construcción y acondicionamiento de mini invernadero



Figura N° 14: Diseños de las cubas de vidrio para realizar los experimentos



Figura N° 15: Recolección de la muestra del río Suro

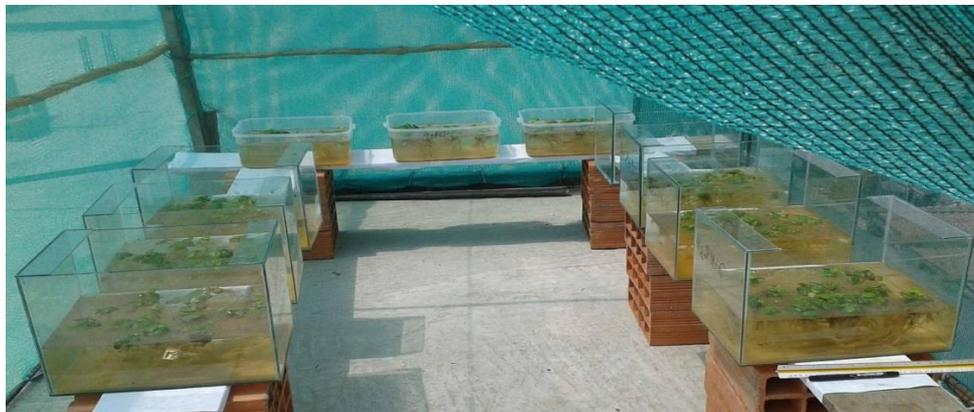


Figura N° 16: Proceso de Fitorremediación con *Lemna minor*



Figura N° 17: Toma de muestras, etiquetado y acondicionamiento

ANEXO N°5: Observación del comportamiento de la especie *Lemna minor*



Figura N° 18: Tratamiento con *Lemna minor* a diez días a pH=6, pH=5 y pH=4

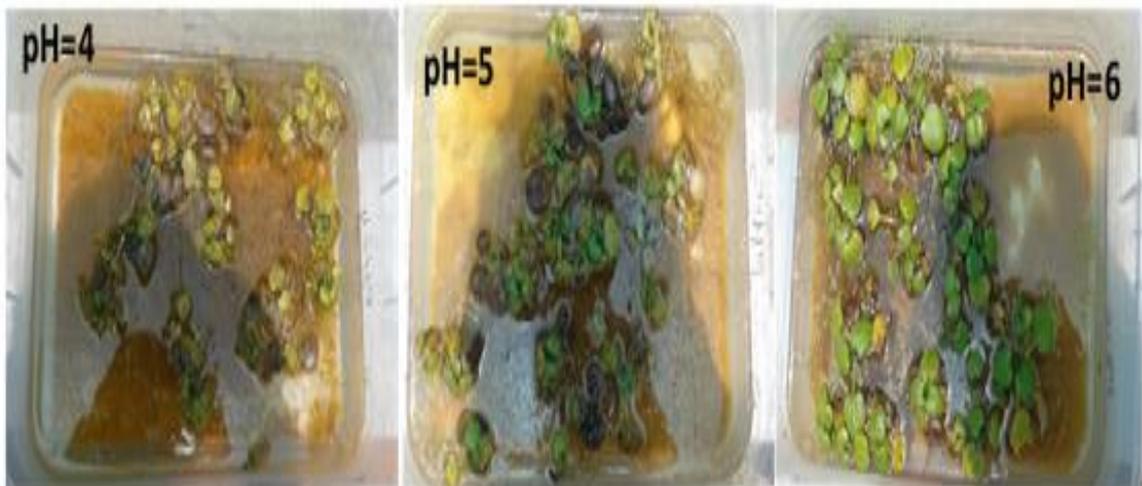


Figura N° 19: Intoxicación de la especie *Lemna minor* después de quince días de tratamiento a diferente pH

ANEXO N°6: Análisis Estadísticos

H0: Los valores de remoción de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro según pH y tiempo siguen una distribución normal.

H1: Los valores de remoción de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro según pH y tiempo siguen una distribución normal.

Tabla 20: Prueba de Normalidad para el pH

	pH	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
% Remoción Cu	4	,938	9	,557
	5	,932	9	,497
	6	,733	9	,003

Fuente: propia

Tabla 21: Prueba de Normalidad para el tiempo

	Tiempo (días)	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
% Remoción Cu	5	,848	9	,071
	10	,880	9	,158
	15	,846	9	,067

Fuente: propia

H0: La variabilidad de la remoción de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro según pH y tiempo (días) son homogéneos.

H1: La variabilidad de la remoción de cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro según pH y tiempo (días) son homogéneos.

Tabla 22: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error^a

Variable dependiente: % de remoción de Cu			
F	df1	df2	Sig.
2,079	8	18	,094

Fuente: Propia

Tabla 23: Análisis de varianza – ANOVA

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: % Remoción					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	18788,271 ^a	8	2348,534	149,727	,000
Intersección	91753,707	1	91753,707	5849,618	,000
pH	16083,238	2	8041,619	512,681	,000
Tiempo	1736,885	2	868,443	55,366	,000
pH * Tiempo	968,148	4	242,037	15,431	,000
Error	282,338	18	15,685		
Total	110824,315	27			
Total corregido	19070,608	26			

a. R al cuadrado = ,985 (R al cuadrado ajustada = ,979)

Fuente: propia

Tabla 24: Pruebas post hoc para el pH

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: % Remoción Cu							
	(I) pH	(J) pH	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	4	5	-20.1178 [*]	1.86699	,000	-24.8826	-15.3529
		6	-58.8133 [*]	1.86699	,000	-63.5782	-54.0485
	5	4	20.1178 [*]	1.86699	,000	15.3529	24.8826
		6	-38.6956 [*]	1.86699	,000	-43.4604	-33.9307
Scheffe	6	4	58.8133 [*]	1.86699	,000	54.0485	63.5782
		5	38.6956 [*]	1.86699	,000	33.9307	43.4604
	4	5	-20.1178 [*]	1.86699	,000	-25.0957	-15.1398
		6	-58.8133 [*]	1.86699	,000	-63.7913	-53.8354
	5	4	20.1178 [*]	1.86699	,000	15.1398	25.0957
		6	-38.6956 [*]	1.86699	,000	-43.6735	-33.7176
6	4	58.8133 [*]	1.86699	,000	53.8354	63.7913	
	5	38.6956 [*]	1.86699	,000	33.7176	43.6735	

Fuente: propia

Tabla 25: Pruebas post hoc para el tiempo

Comparaciones múltiples							
Variable dependiente: % Remoción Cu							
	Tiempo (I) en días	Tiempo (J) en días	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	5	10	-19.5767*	1.86699	,000	-24.3415	-14.8118
		15	-8.3578*	1.86699	,001	-13.1226	-3.5929
	10	5	19.5767*	1.86699	,000	14.8118	24.3415
		15	11.2189*	1.86699	,000	6.4540	15.9837
	15	5	8.3578*	1.86699	,001	3.5929	13.1226
		10	-11.2189*	1.86699	,000	-15.9837	-6.4540
Scheffe	5	10	-19.5767*	1.86699	,000	-24.5546	-14.5987
		15	-8.3578*	1.86699	,001	-13.3357	-3.3798
	10	5	19.5767*	1.86699	,000	14.5987	24.5546
		15	11.2189*	1.86699	,000	6.2410	16.1968
	15	5	8.3578*	1.86699	,001	3.3798	13.3357
		10	-11.2189*	1.86699	,000	-16.1968	-6.2410

Fuente: propia