



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA REDUCCIÓN DE METALES POR RIZOFILTRACIÓN CON *Chryzopogon zizanioides* EN UN EFLUENTE MINERO, ALGAMARCA, 2019.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Rocio Elizabeth Ocas Jave
Fátima de Lourdes Villar Boza

Asesor:

M.Cs. Gladys Sandi Licapa Redolfo

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Agradecer a Dios, por acompañarnos y ayudarnos durante toda nuestra carrera y permitirnos concluir nuestros estudios y a todas esas personas que de una u otra forma nos orientaron y apoyaron a lo largo del camino.

A mi familia por estar allí compartiendo mi entusiasmo en los momentos de felicidad y brindarme su soporte y colaboración en los momentos difíciles. Mi padre Gilmer Villar Velásquez y mi madre Marlene Boza Sánchez, son mi mayor inspiración y mis pilares incondicionales. Los amo.

Fátima Villar

A mi familia por estar allí compartiendo mi entusiasmo en los momentos de felicidad y brindarme su soporte y colaboración en los momentos difíciles. Mi padre Francisco Ocas Lucano y mis hermanos, son mi mayor inspiración y mis pilares incondicionales. Los amo.

Rocio Ocas

AGRADECIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento al M.Cs.
Gladys Sandi Licapa Redolfo, por su
asesoramiento en la ejecución del proyecto de
investigación.

A la plana docente de la Universidad Privada
del Norte que gracias a sus enseñanzas
hicieron posible nuestra formación
profesional.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema.....	27
1.3. Objetivos	27
1.4. Hipótesis	28
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	29
2.1. Tipo de investigación	29
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	29
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	30
2.3.1. Técnicas de recolección de datos.....	30
2.3.2. Métodos y procedimientos de análisis de datos.....	33
CAPÍTULO III. RESULTADOS	34
3.1 Tiempo óptimo de residencia en el modelo hidropónico para la reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc.	34
3.2 Resultados del test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey en el modelo hidropónico para la reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc.	38
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
4.1 Discusión	44
4.2 Conclusiones	63

REFERENCIAS	64
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del vetiver.....	17
Tabla 2. Sistema de coordenadas de la extracción de la muestra.....	29
Tabla 3. Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de arsénico, durante 28 días de tratamiento.....	34
Tabla 4. Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de cadmio, durante 28 días de tratamiento.....	35
Tabla 5. Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de cromo, durante 28 días de tratamiento.....	35
Tabla 6. Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de cobre, durante 28 días de tratamiento.....	36
Tabla 7. Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de hierro, durante 28 días de tratamiento.....	36
Tabla 8. Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de zinc, durante 28 días de tratamiento.....	37
Tabla 9. Concentraciones de los metales arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc de acuerdo al tiempo de residencia en horas	37
Tabla 10. Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de arsénico procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos.....	38
Tabla 11. Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de cadmio procesada tanto en el afluente y efluente,	

en diferentes tiempos	39
Tabla 12. Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de cromo procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos	40
Tabla 13. Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de cobre procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos	41
Tabla 14. Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de hierro procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos	42
Tabla 15. Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de zinc procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fotografía del módulo para para el tratamiento del efluente minero.....	31
Figura 2. Fotografía de plantas de <i>Chrysopogon zizanioides</i> para el tratamiento del efluente minero	31
Figura 3. Fotografía del modelo Hidropónico	31
Figura 4. Promedio de la concentración inicial y final de arsénico.....	44
Figura 5. Promedio de las concentración inicial y final de cadmio.....	45
Figura 6. Promedio de las concentración inicial y final de cromo	46
Figura 7. Promedio de las concentración inicial y final de cobre	47
Figura 8. Promedio de las concentración inicial y final de hierro.....	48
Figura 9. Promedio de las concentración inicial y final de zinc.....	49
Figura 10. Concentración de arsénico de acuerdo al tiempo de residencia en horas	50
Figura 11. Concentración de cadmio de acuerdo al tiempo de residencia en horas	51
Figura 12. Concentración de cromo de acuerdo al tiempo de residencia en horas.....	52
Figura 13. Concentración de cobre de acuerdo al tiempo de residencia en horas.....	53
Figura 14. Concentración de hierro de acuerdo al tiempo de residencia en horas	54
Figura 15. Concentración de zinc de acuerdo al tiempo de residencia en horas.....	55
Figura 16. Concentraciones de los metales arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc de acuerdo al tiempo de residencia en horas, en el efluente minero, Algamarca. 2019, durante el tratamiento.	56
Figura 17. Tiempo óptimo de residencia en el modelo hidropónico para la reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc... ..	57

Figura 18. Porcentaje de reducción de arsénico, durante 28 días de tratamiento.....	58
Figura 19. Porcentaje de reducción de cadmio, durante 28 días de tratamiento	58
Figura 20. Porcentaje de reducción de cromo, durante 28 días de tratamiento.....	59
Figura 21. Porcentaje de reducción de cobre, durante 28 días de tratamiento	59
Figura 22. Porcentaje de reducción de hierro, durante 28 días de tratamiento.....	60
Figura 23. Porcentaje de reducción de zinc, durante 28 días de tratamiento	60
Figura 24. Punto de toma de muestra y ubicación de Algamarca, distrito de Cajabamaba, Provincia de Cajamarca	67
Figura 25. Fotografía del modelo hidropónico experimental para el tratamiento del efluente minero	68

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del tiempo de residencia en la reducción de metales por rizofiltración con *Chryzopogon zizanioides* en un efluente minero, Algamarca, 2019. La población estuvo constituida por los socavones (nivel 00, 01, 02, 03, 04, 05) del poblado Algamarca (Cajabamba). Se realizó una investigación experimental, la cual consto de un módulo de metacrilato incoloro, en el cual se instaló en 27 litros. de efluente minero, 10 unidades de plantas de *Chrisopogon zizanioides*, por un periodo de 28 días, con muestreo de cada 7 días. Los resultados relevantes indican que, hubo reducción significativa de las concentraciones iniciales en comparación con las finales de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc, el tiempo óptimo de residencia en el modelo hidropónico para la reducción indica que el cromo es el más eficiente con un tiempo de 14 días, el porcentaje de reducción de arsénico 70.00%, cadmio 69.99%, cromo 69.76%, cobre 70.00%, hierro 70.00% y zinc 70.00%. Se concluye que, Existen diferencias entre las concentraciones iniciales y finales de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y Zinc; en el efluente minero Algamarca 2019 y, por último, el tiempo óptimo de residencia en el modelo hidropónico para la reducción fue del Cromo 18.1521 (días) y 435.650 (horas).

Palabras clave: Reducción de metales, Efluente minero, Tiempo de residencia.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the influence of residence time on the reduction of heavy metals by rhizofiltration with *Chryzopogon zizanioides* in a mining effluent, Algamarca, 2019. The population was constituted by the socavones (level 00, 01, 02, 03, 04, 05) of the town Algamarca (Cajabamba). An Experimental investigation was carried out, which consisted of a module of colorless methacrylate, in which 10 units of *Chrisopogon zizanioides* plants were installed in 27 litros of mining effluent, for a period of 28 days, with sampling every 7 days. The relevant results indicate that, there was a significant reduction in the initial concentrations compared to the final arsenic, cadmium, chromium, copper, iron and zinc, the optimal residence time in the hydroponic model for reduction indicates that chromium is the most efficient with a time of 14 days, the percentage of reduction of arsenic 70.00%, cadmium 69.99%, chrome 69.76%, copper 70.00%, iron 70.00% and zinc 70.00%. It is concluded that, there are differences between the initial and final concentrations of arsenic, cadmium, chromium, copper, iron and zinc; In the Algamarca mining effluent 2019 and finally, the optimal residence time in the hydroponic model for the reduction was Chrome 18.1521 (days) and 435.650 (hours).

Keywords: Metal reduction, Mining effluent, Residence time.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería es una actividad económica rentable que se desarrolla desde siglos atrás explotando metales diversos en el Perú y el mundo, esta actividad genera múltiples impactos negativos sobre el medio ambiente, como los residuos líquidos, sólidos y gaseosos contaminantes que genera. Esta contaminación se ve incrementada por las viejas prácticas mineras, el manejo inadecuado de residuos y la inexistencia de normas precisas que regulen esta actividad; producto de ello vemos en la actualidad acumulación de pasivos ambientales mineros con más de 20 años de antigüedad que provocan contaminación de los recursos naturales, cuyo uso puede poner en riesgo la salud pública, provocando efectos nocivos que limitan el uso de los suelos, afectan la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, degradan la flora y fauna, y restringen los derechos de las poblaciones locales (Yupari 2 003 y Carrasco 2 004).

Los metales pesados son contaminantes que entran al sedimento desde los cuerpos de aguas produciéndose un aumento progresivo de sus concentraciones en el tiempo y posterior bioacumulación en organismos que forman parte de esos ecosistemas. Estos elementos, en comparación con otros contaminantes, no son biodegradables y sufren un ciclo ecológico global en el cual las aguas naturales son las principales vías, siendo críticos los efectos negativos que ellos ejercen (Dekker, 1 992).

En Cajamarca, Cajabamba, Cachachi, desde 1 940 hasta marzo de 1 990, una compañía minera, explotó minas (socavones) en las inmediaciones del poblado Algamarca, con denominaciones de niveles y subniveles (nivel 00, 01, 02, 03, 05

respectivamente) donde su producción de metales fue cobre y plata principalmente.

En el año 2 003 parte de los afloramientos mineralizados fueron explotados por mineros informales, donde realizaron lavados de desmontes provenientes de la minería antigua culminando en el año 2 005, y dejando como resultado desmontes sin tratamiento. Es en este año 2 005 donde inicia la historia de la minería informal en las inmediaciones de Algamarca. La mayor concentración de mineros informales actualmente se encuentra alrededor del anticlinal Algamarca y en antiguos socavones mineros, se calcula que en estos lugares existen alrededor de 2000 mineros informales. (Carranza, 2 012)

En tal sentido, la aplicación de una tecnología de tratamiento pasiva en base a plantas, que tienen la propiedad de acumular metales pesados, a bajo costo económico, ecoeficiente y sostenibilidad para el tratamiento de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc generados por efluentes mineros.

1.1.1. ANTECEDENTES:

Santana & Santos (2 016) en la ciudad de Calceta - Ecuador, desarrolló una investigación en la cual evaluó la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) *ex - situ* en la remoción de los contaminantes orgánicos en las aguas del río Muerto del cantón Manta, concluyendo que los esquejes del pasto vetiver utilizados en el ensayo presentaron adaptación, desarrollo y resistencia al agua del río Muerto, determinándose un 18% de mortalidad, lo que probablemente se debe al uso de esquejes muy tiernos, En las variables que se obtuvo significación estadística, el porcentaje de remoción de los contaminantes orgánicos presentes en

las aguas del río Muerto, fue mayor al 75%, lo que hace al pasto vetiver sea altamente eficiente, en solo 22 días de tratamiento.

Por otro lado Gonzales (2 015); desarrolló una investigación experimental sobre la influencia de los lodos rojos sobre las variables pH, conductividad, concentración de Al, C, Fe, K, Mg, N, Na y P en los suelos ácidos de sabana y su efecto sobre el crecimiento de la especie *Chrysopogon zizanioides* (vetiver); concluyendo que la proporción óptima de mezcla es la de 2% de lodos rojos neutralizados en suelos ácidos de sabana (SLRN 3), de todas las mezclas fue la única en la que se obtuvo el 100% de supervivencia del vetiver, además los parámetros de crecimiento (masa, longitud de tallo y raíces, diámetro y brotes nuevos) medidos en la planta indican que tuvieron mayor desarrollo en comparación a los otros ensayos, la aplicación de lodos rojos (tanto neutralizados como sin neutralizar) a los suelos aumenta su retención de agua de 6 a 13%, debido a que los sólidos tamaño arcilla mejoran la textura del sustrato, lo que es favorable para el establecimiento de vegetación.

Además, Ramírez (2 014), desarrolló una investigación experimental en la cual propuso un sistema de humedal flotante con *Vetiveria zizanioides* para su establecimiento en la remoción de nitrógeno y fósforo en estanques piscícolas abiertos, cuya muestra consistió en ocho muestreos de agua residual piscícola del campamento truchero arcoíris; obteniendo mejores resultados para el establecimiento de *Vetiver zizanioides* del prototipo de poliuretano, ya que proporcionó mejor soporte y flotabilidad, el IS de *Vetiver zizanioides* se vio mejorada por el tiempo de aclimatación, tal fue el caso del lote 1, durante 12 meses, se obtuvieron remociones para nitrógeno orgánico de 33.75% y nitrógeno amoniacal

40%, similar a lo reportado por Binti (2 010), que obtuvo remociones de nitrógeno amoniacal de 50% en humedales con 30 individuos de *V. zizanioides*; por último, durante todo el tiempo del estudio se removió 15.34% de fósforo total dentro del sistema y 21% de ortofosfatos; este último muy por debajo de lo reportado por Binti (2 010) con un porcentaje de 66.63.

Por otra parte Sepúlveda (2 013) en la ciudad de Quibdó - Colombia, desarrolló un protocolo para la rizofiltración de efluentes contaminados con mercurio mediante la aplicación de filtros vegetales con la especie vetiver (*Vetiveria Zizainodes*); concluyendo que la especie *Vetiveria zizainoides* es una planta detoxificante, apropiada para tolerar y remover altas concentraciones de mercurio en condiciones controladas y estáticas, la especie pudo sobrevivir en un ambiente acuático estático sin ningún tipo de nutriente y sin recambio de agua, la solubilidad y disponibilidad de los metales para las plantas depende de varios factores, estos pueden ser tanto físicos como químicos, entre los que se encuentran la concentración en la que están presentes, su especiación o estado de oxidación, la acidez o alcalinidad del suelo donde crecen, siendo determinantes en los procesos de absorción de nutrientes y contaminantes en las plantas.

Por último Zelada, Arreola, Herrera & Ariza (2 011) en la ciudad de Guatemala, desarrollaron una investigación experimental para generar información acerca de alternativas viables para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, la población estuvo conformada por las muestras de vetiver y ninfa; obteniendo que en la primera semana el vetiver tuvo un promedio de remoción del 55.14% para el arsénico y 99.08% para el plomo, el porcentaje de la ninfa fue del 46.02% para el

arsénico y 94.52% para el plomo. En la segunda semana el vetiver obtuvo un 57.39% de remoción para el arsénico y 99.25% para el plomo, la ninfa obtuvo un 51.35% para el arsénico y 93.93% para el plomo. Se observó que sí hay una diferencia significativa entre la concentración del agua tratada por la ninfa y el vetiver comparado con el grupo control para ambas semanas en ambos tratamientos.

1.1.2. DEFINICIONES CONCEPTUALES:

A. VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*)

La vetiveria (*Chrysopogon zizanioides* , antes clasificada como *Vetiveria zizanioides*, es una planta herbácea, gramínea, perenne, sin tallo aparente. Taxonómicamente el género *Chrysopogon* pertenece a la subfamilia *Andropogoneae* de la familia *Poaceae*. Tiene hojas largas, rígidas y sencillas, de 0,3m -1m de largo y de 4-10mm de ancho, glabras, sin aristas, muy resistentes y de bordes ásperos. La planta puede alcanzar los 2m de altura. Las inflorescencias, prácticamente estériles, son de 0,15-0,4m de largo. El sistema radicular tiene un fuerte desarrollo vertical, pero se extiende solo unos 0,5m alrededor de la planta. Son raíces muy fuertes, rígidas, muy largas, verticales y de grosor uniforme, similares a alambres que forman una masa esponjosa, y muy ramificada. Las raíces pueden alcanzar las 4m de profundidad, siendo 2m - 3m común. Los rizomas son muy cortos y no invasivos. No desarrolla estolones. Fisiológicamente, la Vetiver se caracteriza por la biosíntesis por la vía C4, indicando su adaptación a condiciones de elevadas temperaturas diurnas y altos niveles de radiación solar (Wildschut, 2 013).

Tabla 1:

Taxonomía del VETIVER

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Subclase:	Liliidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Panicoideae
Tribu:	Andropogoneae
Subtribu:	Andropogoninae
Género:	Chrysopogon
Especie:	Zizanioides
Nombre Científico:	<i>Chrysopogon zizanioides</i>
Nombre Común:	Pasto vetiver o vetiver

Fuente: (Wildschut, 2 013)

B. EL SISTEMA VETIVER

Se basa en la utilización del pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), fue inicialmente desarrollado por el Banco Mundial para la conservación de suelos y agua en la India a mediados de los años ochenta. Mientras esta aplicación todavía juega un papel vital en el manejo de las tierras agrícolas, la investigación y desarrollo-I&D llevada a cabo en los últimos veinte años ha demostrado claramente que, debido a las extraordinarias características del pasto vetiver, el SV puede ser usado como una técnica de bioingeniería para la estabilización de taludes

inclinados, la disposición de aguas servidas, la fitoremediación de tierras y aguas contaminadas, y otras aplicaciones en protección ambiental.

El Sistema Vetiver es un medio muy simple, práctico, económico, de bajo mantenimiento y muy efectivo para la conservación de suelos y agua, control de la sedimentación, estabilización y rehabilitación de tierras, y fitorremediación. Siendo una medida biológica, es también ambientalmente amigable. Cuando es plantado en hileras simples forma una barrera que es muy efectiva en atenuar y dispersar las aguas de escorrentía, reduciendo la erosión, conservando la humedad y atrapando sedimentos y agroquímicos en el sitio. Aunque cualquier barrera puede hacer eso, el pasto vetiver, debido a sus características morfológicas y fisiológicas únicas mencionadas abajo, lo puede hacer mejor que otros sistemas evaluados. Adicionalmente, el sistema de raíces extremadamente profundo, masivo y denso amarra el suelo y al mismo tiempo impide que sea separado por flujos de agua de alta velocidad. El sistema de raíces muy profundo y de rápido crecimiento hace también al vetiver muy tolerante a la sequía y muy apto para la estabilización de taludes inclinados (The Vetiver Network International, 2 009).

C. HÁBITAT

Vetiver es originaria de zonas pantanosas de la India. Como tal, es hidrófita, aunque una vez establecida aguanta bien en condiciones xerófitas. Con una distribución pluviométrica uniforme crece sin necesidad de riego a partir de 300 mm, con un óptimo a partir de 700 mm. En climas mediterráneos, requerirá el apoyo de riego hasta que el sistema radicular se encuentra plenamente establecido. Su zona de distribución conocida es el trópico, subtropico y zonas con clima mediterránea. En el trópico y subtropico crece mejor por debajo de los 2.000 m,

aunque es la temperatura la que marca el límite de distribución, tanto en latitud, como en altitud.

Vetiver prefiere suelos profundos y arenosos, pero se adapta a todo tipo de suelos, incluso poco profundos, pedregosos o rocosos. Sus raíces se desarrollan verticalmente, pudiendo llegar hasta los 4m de profundidad, o hasta el nivel freático. Por la profundidad de las raíces es que aguanta bien las épocas de sequía.

No tiene especiales requisitos de abono. Agradece el abonado, tanto orgánico como químico en la fase de implantación, facilitando su rápido desarrollo. Una vez establecido el cultivo, no requiere abonado. En parte es por la fuerte asociación micorriza en las raíces, lo que facilita a la planta el acceso a los nutrientes del suelo.

Vetiver tiene altos requerimientos de luz solar. Debe de cultivarse a pleno sol. A la sombra (superior a un 40%) crece más despacio o muere y es difícil de establecer. Las plantas se recuperan rápidamente cuando se elimina la sombra.

Siendo una planta de origen tropical, se desarrolla óptimamente a temperaturas de 20–30°C, aunque tolera temperaturas aéreas de –15°C a +40°C. Por debajo de 10–15°C deja de crecer. Aguanta periodos cortos (días) de temperaturas bajo cero, siempre que el suelo no llega a congelarse. Aunque la parte área muera por efectos de las heladas, mientras que los rizomas no se congelen, es decir mientras el suelo no se congele, la planta se recuperará rápidamente (Wildschut, 2 013).

D. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DE LA PLANTA DE VETIVER

Características morfológicas

- La planta de vetiver no tiene estolones ni rizomas funcionales. Su sistema de raíces finas y compactas crece muy rápido, en algunas aplicaciones puede alcanzar entre 3 y 4 m de profundidad en el primer año. Este profundo sistema de raíces hace que la planta de vetiver sea extremadamente tolerante a las sequías y difícil de arrancar por fuertes corrientes.
- Tallos firmes y erguidos, que pueden soportar flujos de agua relativamente profundos.
- Muy resistente a plagas, enfermedades y al fuego.
- Forma una barrera densa cuando es plantado a corta distancia actuando como un filtro muy efectivo de los sedimentos y como un dispersor del agua de escorrentía.
- Nuevos brotes se forman desde la corona subterránea haciendo al vetiver resistente al fuego, heladas, tráfico y alta presión de pastoreo.
- Cuando es enterrado por los sedimentos atrapados, crecen nuevas raíces desde los nudos.

Características fisiológicas

- Tolerancia a variaciones climáticas extremas como sequía prolongada, inundaciones, sumersión y temperaturas extremas de -15°C a $+55^{\circ}\text{C}$.
- Habilidad para rebrotar rápidamente después de haber sido afectado por sequías, heladas, salinidad y otras condiciones adversas al mejorar las condiciones del tiempo o se añadan correctivos al suelo.
- Tolerancia a un amplio rango de pH desde 3.3 a 12.5 sin enmiendas del suelo.

- Alto nivel de tolerancia a herbicidas y plaguicidas.
- Alta eficiencia en absorber nutrientes tales como N y P y metales pesados en aguas contaminadas.
- Muy tolerante a medios de crecimiento altos en acidez, alcalinidad, salinidad, sodicidad y Mg.
- Alta tolerancia al Al, Mn y metales pesados tales como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se y Zn en los suelos.

Características ecológicas

Aunque el vetiver es muy tolerante a ciertas condiciones extremas de suelo y clima mencionadas arriba, como pasto tropical es muy intolerante a la sombra. La sombra reduce su crecimiento y en casos extremos, puede incluso eliminar el vetiver en el largo plazo. Por lo tanto, el vetiver crece mejor en espacios abiertos y libres de malezas, siendo necesario el control de malezas en la etapa de establecimiento. En terrenos erosionables e inestables el vetiver primero reduce la erosión, estabiliza el terreno, luego debido a la conservación de humedad y nutrientes, mejora el microambiente y otras especies espontáneas o cultivadas, pueden establecerse. Debido a esto se considera al vetiver una planta nodriza en tierras degradadas.

E. FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación (phyto = planta y remediación = mal por corregir), es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ (National Risk Management Research Laboratory, 2 000).

La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes. Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para este fin. Algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras. Por definición, estas plantas deben acumular al menos 100 $\mu\text{g/g}$ (0.01 % peso seco) de Cd y As; 1000 $\mu\text{g/g}$ (0.1 % peso seco) de Co, Cu, Cr, Ni y Pb; y 10 000 $\mu\text{g/g}$ (1.0 % peso seco) (Kelley, Gaither, Baca-Spry, & Cruickshank, 2 000).

El término fitorremediación fue acuñado por el ruso Ilya Raskin en 1 994 y definido como el conjunto de tecnologías que ayudan a la recuperación de suelos y aguas contaminados mediante biomasa vegetal viviente. Comprende el uso de plantas verdes, incluidas especies leñosas, para contener, eliminar o neutralizar compuestos orgánicos, elementos traza o radionucleidos que pueden ser tóxicos en suelos o aguas por su rápida inserción en la cadena alimenticia humana. También se puede decir que la fitorremediación es el uso de plantas para recuperar suelos contaminados, es una tecnología in situ no destructiva y de bajo costo y está basada en la estimulación de microorganismos degradadores.

Fitorremediación incluye cualquier proceso biológico, químico o físico inducido por las plantas que promueve la absorción, secuestro, degradación y metabolismo de los contaminantes, ya sea por las mismas plantas o por microorganismos que se desarrollan en la rizósfera (Merkl, Schultze-Kraft, & Infante, 2 004).

F. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FITORREMEDIACIÓN

Ventajas

- Los metales absorbidos por las plantas, pueden ser extraídos de la biomasa cosechada y después ser reciclados. La fitorremediación se puede utilizar para limpiar una gran variedad de contaminantes, por su capacidad de absorción de estos metales en sus raíces.
- Puede reducir la entrada de contaminantes en el ambiente, disminuyendo su salida a los sistemas de las aguas subterráneas, porque los contaminantes quedan atrapados en las plantas.
- Su impacto en relación con las personas y animales del área implicada en el proceso de descontaminación es mucho mejor aceptado que los métodos clásicos debido a que se la considera una tecnología potencialmente estética y elegante ya que su impacto visual y acústico es menor o nulo. Una ventaja adicional para las poblaciones humanas es su bajo coste
- Esta técnica se emplea para descontaminar lugares afectados por diferentes elementos como son metales pesados, materiales orgánicos y radionucleoides gracias a la gran variedad de especies y áreas en las que puede actuar la fitorremediación

Desventajas

- El metal pesado o el contaminante emplea el ciclo natural de plantas y por lo tanto toma tiempo.
- La fitorremediación trabaja lo mejor posible cuando los contaminantes están al alcance de las raíces de las plantas, típicamente de tres a seis pies de profundidad para las plantas herbáceas y 10 a 15 pies para los árboles.

- Algunas plantas absorben muchos metales venenosos, lo que implica un riesgo potencial a la cadena alimenticia.
- Para que una tecnología sea sostenible, debe ser económicamente viable y ambientalmente compatible. La fitorremediación utiliza las capacidades existentes de las plantas y de los sistemas que apoyan para limpiar los suelos, siendo más rentable que los métodos usados tradicionalmente para la recuperación de suelos contaminados.
- La fitorremediación implica menos trabajo y no perturba los alrededores naturales del sitio de la contaminación. Aunque es una técnica que toma tiempo, es una buena manera de hacer uso de los recursos naturalmente existentes (Ortega, Benavides, Arteaga, & Zermeño, 2 009).

Estas fitotecnologías se pueden aplicar tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos, presentes en sustratos sólidos, líquidos o en el aire. Se distinguen:

- Fitoextracción: uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.
- Fitoestabilización: uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, alterando su composición ha formas más estables.
- Fitoimmobilización: uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la técnica anterior se les denomina de contención.
- Fitovolatilización: uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización.

- Fitodegradación: uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.
- Rizofiltración: uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos (Carpena & Bernal, 2007).

G. RIZOFILTRACIÓN

La rizofiltración es una técnica de fitorremediación para descontaminar aguas, en donde el elemento contaminante se absorbe, forma complejos e interacciona con las raíces, acumulándose en éstas ya sea externa o internamente. Es una técnica nueva e innovadora que da excelentes resultados, pero todavía está en etapa de investigación, se tiene conocimiento de que existen alrededor de 400 especies de plantas que pueden absorber metales pesados (Cd, Co, Cr, Ni, Hg, Pb, Se, Zn, etc.), plaguicidas, solventes explosivos, petróleo crudo, hidrocarburos poliaromáticos y lixiviados de vertederos (Guevara, De la Torre, Villegas & Criollo, 2009).

La rizofiltración utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz. En la rizofiltración estas plantas se cultivan de manera hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan. A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final.

La rizofiltración es una de las opciones que presenta mejor relación de costo-beneficio respecto a otros métodos empleados para el tratamiento de efluentes líquidos. Además, es estética y naturalmente amigable con el ambiente, por lo que se presenta como una forma de descontaminación socialmente aceptable para las comunidades circundantes y para los organismos de control respectivos. Un

resumen de los parámetros que regulan el proceso de rizofiltración. (Dushenkov, Kumar, Motto, & Raskin, 1 995).

H. METALES PESADOS

El término metales pesados es aplicado a un grupo de metales y semimetales (metaloideos) a los que se les asocia un importante potencial de contaminación, toxicidad y ecotoxicidad. A la vez, este término es atribuido a aquellos elementos de carácter metálico que tienen una densidad mayor de los 5 g cm⁻³. En los suelos, estos elementos incluyen generalmente metales como arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), mercurio (Hg), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) (McLaughlin, 2 005).

La mayoría de estos metales se encuentran en la naturaleza como cationes, a excepción de algunos metaloides como el arsénico que se encuentran como aniones con oxígeno. Estos a su vez, están presentes en la superficie terrestre como impurezas incrustadas en diferentes tipos de rocas. La mayor concentración de estas rocas se encuentra por lo general en áreas o depósitos, asociados con actividad volcánica reciente o pasada. Como es de esperarse, zonas con estas características exhiben patrones anormales de concentración de metales pesados en suelos, sedimentos y afluentes de aguas superficiales o subterráneas. Aún de origen natural, estos enriquecimientos en metales pueden significar un riesgo para los organismos vivos que habitan la zona.

Por otro lado, el aumento de las concentraciones de metales pesados está asociado con actividades como la minería y fundición. Estas actividades causan contaminación del aire y son asociadas a la deposición atmosférica de polvo

contaminado. Otras fuentes importantes de contaminación antropogénica de estos metales incluyen fertilizantes, lodos de aguas residuales, disposición atmosférica por quema de combustibles, entre otros (Van der Peck, 2 006).

Absorción de metales pesados y purificación de aguas

El vetiver es un pasto con una alta adaptabilidad a diferentes tipos de suelo y climas, además posee numerosas características que lo convierten en una alternativa para la conservación del suelo y el agua, estabilización de taludes, control de erosión, absorción de metales pesados y purificación de aguas, entre otros. (The Vetiver Network International, 2 009).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia del tiempo de residencia en la reducción de metales por rizofiltración con *Chryzopogon zizanioides* en un efluente minero, Algamarca, 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia del tiempo de residencia en la reducción de metales por rizofiltración con *Chryzopogon zizanioides* en un efluente minero, Algamarca, 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones iniciales y finales de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc; en un efluente minero, Algamarca. 2019.
- Evaluar el efecto del tiempo óptimo de residencia en el modelo hidropónico para la reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc.

- Determinar el porcentaje de reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

A medida que aumenta el tiempo de residencia aumentará el porcentaje de reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc en un efluente minero, Algamarca, 2019.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Existirá una diferencia significativa en la disminución de las concentraciones iniciales respecto a las concentraciones finales de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc; en un efluente minero, Algamarca. 2019.
- Se evidenciará una mayor reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc; alcanzado el tiempo óptimo de residencia en el modelo hidropónico.
- Aumentará el porcentaje de reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc, a medida que aumente el tiempo de residencia.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es experimental, ya que se basa en la obtención de la información observando los cambios que se viene desarrollando en un modelo Hidropónico por rizofiltración con *Chrysopogon zizanioides* para la reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc en efluente minero.



2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

La población está constituida por los socavones (nivel 00, 01, 02, 03, 04, 05) del poblado Algamarca, distrito Cachachi, Provincia Cajabamba, departamento Cajamarca, 2019.

2.2.2. Muestra

La muestra para esta investigación, se enfoca en el efluente minero del Nivel Quinto del poblado Algamarca; para ello se obtuvo de manera aleatoria 30 litros de solución debidamente muestreada en el punto georreferenciado de la zona.

Tabla 2

Sistema de coordenadas de la extracción de la muestra

PUNTO	LONGITUD	LONGITUD	ALTITUD
	NORTE	ESTE	(m.s.n.m.)
P1	9'157,939	802776	2714

2.2.3. Instrumentos y materiales

A. Instrumentos y equipos:

- ✓ ICP ÓPTICO; THERMOscientific, modelo 6500 DUO
- ✓ pH metro.

B. Materiales y reactivos

Materiales

- ✓ Pipetas volumétricas de 5, 10, 15, 20 mL.
- ✓ Probetas de 1000 mL.
- ✓ Frascos de muestreo: Plástico de polietileno de 1 L.
- ✓ Cooler de plástico de capacidad de 100 L.
- ✓ Fiolas de 50, 100 y 1000 mL.

Reactivos

- ✓ Agua reactiva de calidad alta.
- ✓ Ácido sulfúrico, nítrico: proporción 1:1.
- ✓ Soluciones estándares trazables al Nitz, para la trazabilidad.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas de recolección de datos

a. Técnica para identificación el punto de muestreo

Para la presente investigación, se ha procedido a tomar el punto de muestreo situado en el Nivel Quinto por ser accesible para ser evaluado, pues los niveles anteriores no permiten el acceso a toma de muestra.

b. Diseño de Humedal Artificial

MODULO PARA EXPERIMENTO



METACRILATO INCOLORO

Alto: 35 cm
Largo: 35 cm
Ancho: 25 cm

Figura 1. Fotografía del módulo para para el tratamiento del efluente minero. (Metacrilato incoloro).



PLANTAS DE VETIVER

Tiempo del esqueje: 3 meses.
Tamaño del esqueje: 30 cm.
Tamaño de la raíz: 15 cm.

Figura 2. Fotografía de plantas de *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento del efluente minero.



Figura 3. Fotografía del modelo Hidropónico.

El módulo para el experimento fue construido de metacrilato incoloro de un volumen de 27 litros.

Prueba Experimental: Se instaló en 27 litros de efluente minero, 10 unidades de plantas de *Chrisopogon zizanioides*, por un periodo de 28 días.

a. Técnica de muestreo de aguas: se usó el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los recursos hídricos superficiales. 2016. Autoridad Nacional del Agua (ANA); se realizó toma de muestra del efluente minero respectivo para el tratamiento a realizar, esta muestra se tomó del nivel Quinto por ser el único punto accesible para la toma de muestra, la cual se desarrolló de la siguiente manera:

- Con ayuda de un recipiente se tomó la muestra en la parte céntrica del efluente, en el sentido de la corriente.
 - Recipiente
 - Conservante (Ácido nítrico)

Muestras para la evaluación

Prueba Experimental, en el módulo experimental se diagnosticó las concentraciones iniciales del efluente minero antes del proceso, luego cada 7 días de instalado el experimento se evaluó el arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc durante los 28 días.

b. Técnicas Analíticas: se empleó la técnica de ICP OPTICO, el cual es un método de análisis químico cuantitativo el cual se realizó en el Laboratorio Regional del Agua, sirvió para determinar la concentración de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc presente en el efluente minero; de acuerdo a metodologías internacionales.

2.3.2. Métodos y procedimientos de análisis de datos

Los datos han sido sistematizados y presentados en tablas, se utilizó promedios, medias, frecuencias; donde se aplicó la estadística inferencial paramétrica:

El test estadístico **ANOVA**, permitió determinar la variación de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados de las pruebas experimentales para hallar la influencia del tiempo de residencia en la reducción de metales.

Concentraciones iniciales y finales de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc.

3.1 Tiempo óptimo de residencia en el modelo hidropónico para la reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc.

3.1.1 Arsénico

Tabla 3

Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de arsénico, durante 28 días de tratamiento.

ARSÉNICO							
N°	Tiempo (días)	Tiempo (h)	Concentraciones	(C-Co)	(C-Co)*t	TR (horas)	TR (días)
1	0	0	22.63	0	0		
2	7	168	10.18	-12.45	-2091.6		
3	14	336	8.15	-14.48	-4865.28		
4	21	504	7.24	-15.39	-7756.56	436.003	18.1668
5	28	672	6.79	-15.84	-10644.48		
Σ				-58.16	-25357.92		

3.1.2 Cadmio

Tabla 4

Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de cadmio, durante 28 días de tratamiento.

CADMIO									
Nº	Tiempo (días)	Tiempo (h)	Concentraciones	(C-Co)	(C-Co)*t	TR (horas)	TR (días)		
1	0	0	2.746	0	0				
2	7	168	1.236	-1.510	-253.680				
3	14	336	0.989	-1.757	-590.352	436.024	18.1677		
4	21	504	0.879	-1.867	-940.968				
5	28	672	0.824	-1.922	-1291.584				
Σ				-7.056	-3076.584				

3.1.3 Cromo

Tabla 5

Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de cromo, durante 28 días de tratamiento.

CROMO									
Nº	Tiempo (días)	Tiempo (h)	Concentraciones	(C-Co)	(C-Co)*t	TR (horas)	TR (días)		
1	0	0	0.205	0	0				
2	7	168	0.092	-0.113	-18.984				
3	14	336	0.074	-0.131	-44.016	435.650	18.1521		
4	21	504	0.066	-0.139	-70.056				
5	28	672	0.062	-0.143	-96.096				
Σ				-0.526	-229.152				

3.1.4 Cobre

Tabla 6

Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de cobre, durante 28 días de tratamiento.

COBRE									
N°	Tiempo (días)	Tiempo (h)	Concentraciones	(C-Co)	(C-Co)*t	TR (horas)	TR (días)		
1	0	0	540.6	0	0				
2	7	168	243.3	-297.3	-49946.4				
3	14	336	194.6	-346.0	-116256	436.016	18.1674		
4	21	504	173.0	-367.6	-185270.4				
5	28	672	162.2	-378.4	-254284.8				
Σ				-1389.3	-605757.6				

3.1.5 Hierro

Tabla 7

Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de hierro, durante 28 días de tratamiento.

HIERRO									
N°	Tiempo (días)	Tiempo (h)	Concentraciones	(C-Co)	(C-Co)*t	TR (horas)	TR (días)		
1	0	0	865.8	0	0				
2	7	168	389.6	-476.2	-80001.6				
3	14	336	311.7	-554.1	-186177.6	436.018	18.1674		
4	21	504	277.1	-588.7	-296704.8				
5	28	672	259.7	-606.1	-407299.2				
Σ				-2225.1	-970183.2				

3.1.6 Zinc

Tabla 8

Cálculo del Tiempo óptimo de residencia para la reducción de zinc, durante 28 días de tratamiento.

ZINC							
Nº	Tiempo (días)	Tiempo (h)	Concentraciones	(C-Co)	(C-Co)*t	TR (horas)	TR (días)
1	0	0	54.30	0.00	0.00		
2	7	168	24.44	-29.86	-5016.48		
3	14	336	19.55	-34.8	-11676.00	436.025	18.1677
4	21	504	17.38	-36.92	-18607.68		
5	28	672	16.29	-38.01	-25542.72		
Σ				-139.54	-60842.88		

Tabla 9

Concentraciones de los metales arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc de acuerdo al tiempo de residencia en horas.

		TIEMPO (horas)				
		0	168	336	504	672
	Arsénico (As)	22.63	10.18	8.15	7.53	6.79
	Cadmio (Cd)	2.75	1.24	0.99	0.91	0.82
CONCENTRACIONES	Cromo (Cr)	0.20	0.09	0.07	0.07	0.06
	Cobre (Cu)	540.60	243.27	194.60	179.90	162.20
	Hierro (Fe)	865.83	389.57	311.67	286.57	259.73
	Zinc (Zn)	54.34	24.44	19.55	17.77	16.29

3.2 Resultados del test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey en el modelo hidropónico para la reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc.

3.2.1 Arsénico

Tabla 10

Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de arsénico procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos.

ANOVA

Metales	Grupos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Inter-grupos	397.347	3	132.449	76.049	0.000
Arsénico	Intra-grupos	13.933	8	1.742		
	Total	411.280	11			

POST HOC HSD de Tukey

	Días	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD de Tukey(a)	Siete	3	55.02 %		
	Catorce	3		63.99 %	
	Veintiuno	3			68.01 %
	Veintiocho	3			70.00 %
	Sig.		1.000	1.000	0.323

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

3.2.2 Cadmio

Tabla 11

Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de cadmio procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos.

ANOVA

Metales	Grupos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Inter-grupos	398.370	3	132.790	102.119	0.000
Cadmio	Intra-grupos	10.403	8	1.300		
	Total	408.773	11			

POST HOC HSD de Tukey

	Días	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD de Tukey(a)	Siete	3	54.99 %		
	Catorce	3		63.98 %	
	Veintiuno	3			67.99 %
	Veintiocho	3			69.99 %
	Sig.		1.000	1.000	0.216

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

3.2.3 Cromo

Tabla 12

Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de cromo procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos.

ANOVA

Metales	Grupos	Suma de cuadrados	gl	Media		
				cuadrática	F	Sig.
Cromo	Inter-grupos	379.335	3	126.445	59.912	0.000
	Intra-grupos	16.884	8	2.111		
	Total	396.219	11			

POST HOC HSD de Tukey

	Días	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD de Tukey(a)	Siete	3	55.12 %		
	Catorce	3		63.90 %	
	Veintiuno	3			67.80 %
	Veintiocho	3			69.76 %
	Sig.			1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

3.2.4 Cobre

Tabla 13

Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de cobre procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos.

ANOVA

Metales	Grupos	Suma de		Media		Sig.
		cuadrados	gl	cuadrática	F	
	Inter-grupos	399.101	3	133.034	131.145	0.000
Cobre	Intra-grupos	8.115	8	1.014		
	Total	407.216	11			

POST HOC HSD de Tukey

	Días	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD de Tukey(a)	Siete	3	54.99 %		
	Catorce	3		64.00 %	
	Veintiuno	3			68.00 %
	Veintiocho	3			70.00 %
	Sig.		1.000	1.000	0.147

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

3.2.5 Hierro

Tabla 14

Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de hierro procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos.

ANOVA

Metales	Grupos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Inter-grupos	398.567	3	132.856	90.091	0.000
Hierro	Intra-grupos	11.797	8	1.475		
	Total	410.364	11			

POST HOC HSD de Tukey

	Días	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD de Tukey(a)	Siete	3	55.00 %		
	Catorce	3		64.00 %	
	Veintiuno	3			67.99 %
	Veintiocho	3			70.00 %
	Sig.		1.000	1.000	0.246

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

3.2.6 Zinc

Tabla 15

Test estadístico ANOVA y prueba post hoc HSD de Tukey, para determinar la variación de zinc procesada tanto en el afluente y efluente, en diferentes tiempos.

ANOVA

Metales	Grupos	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Inter-grupos	398.515	3	132.838	135.886	0.000
Zinc	Intra-grupos	7.821	8	0.978		
	Total	406.336	11			

POST HOC HSD de Tukey

	Días	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
HSD de Tukey(a)	Siete	3	54.99 %		
	Catorce	3		64.00 %	
	Veintiuno	3			67.99 %
	Veintiocho	3			70.00 %
	Sig.		1.000	1.000	0.136

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Concentraciones iniciales y finales de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc.

4.1.1 Arsénico

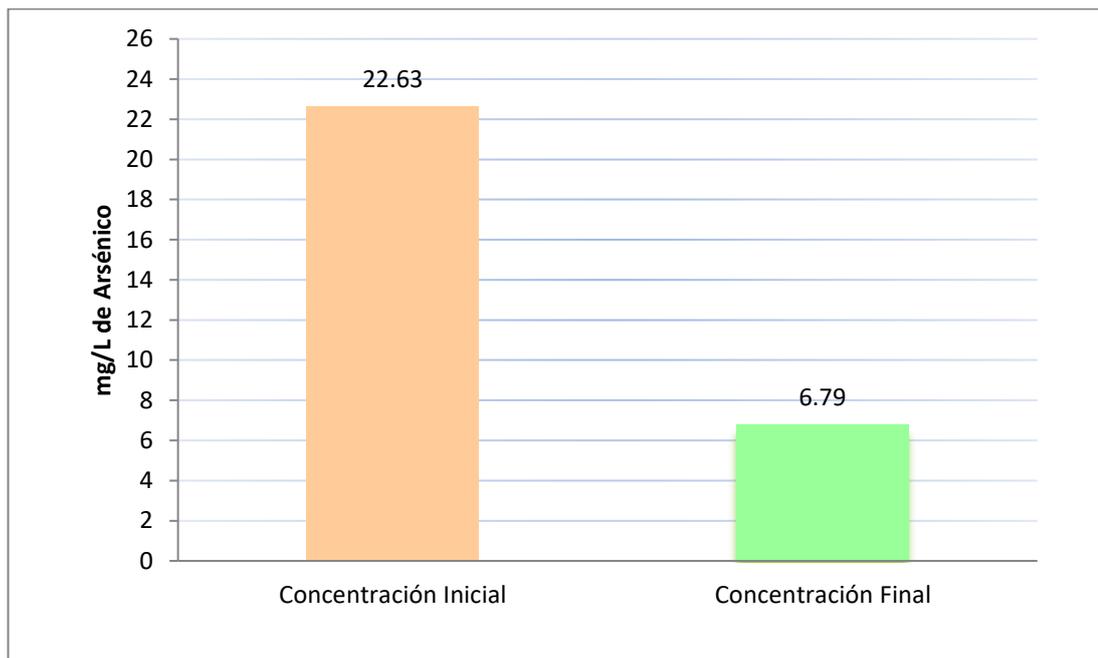


Figura 4. Promedio de la concentración inicial y final de arsénico.

En la figura se puede apreciar la concentración inicial de arsénico de 22.63 mg/L respectivamente, luego de un periodo de 28 días de tratamiento en un modelo hidropónico por rizofiltración con *Chrysopogon zizanioides*, se logró disminuir 15.84 mg/L, llegando a obtener una concentración final de 6.79 mg/L.

4.1.2 Cadmio

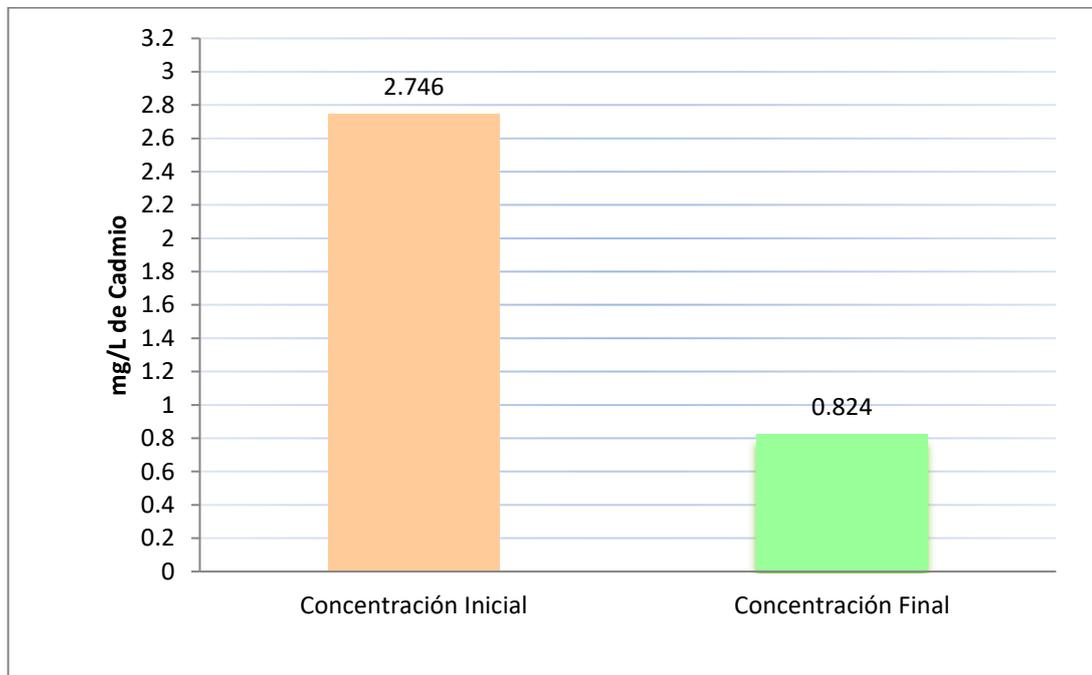


Figura 5. Promedio de la concentración inicial y final de cadmio.

En la figura se puede apreciar la concentración inicial de cadmio de 2.746 mg/L respectivamente, luego de un periodo de 28 días de tratamiento en un modelo hidropónico por rizofiltración con *Chrysopogon zizanioides*, se logró disminuir 1.922 mg/L, llegando a obtener una concentración final de 0.824 mg/L.

4.1.3 Cromo

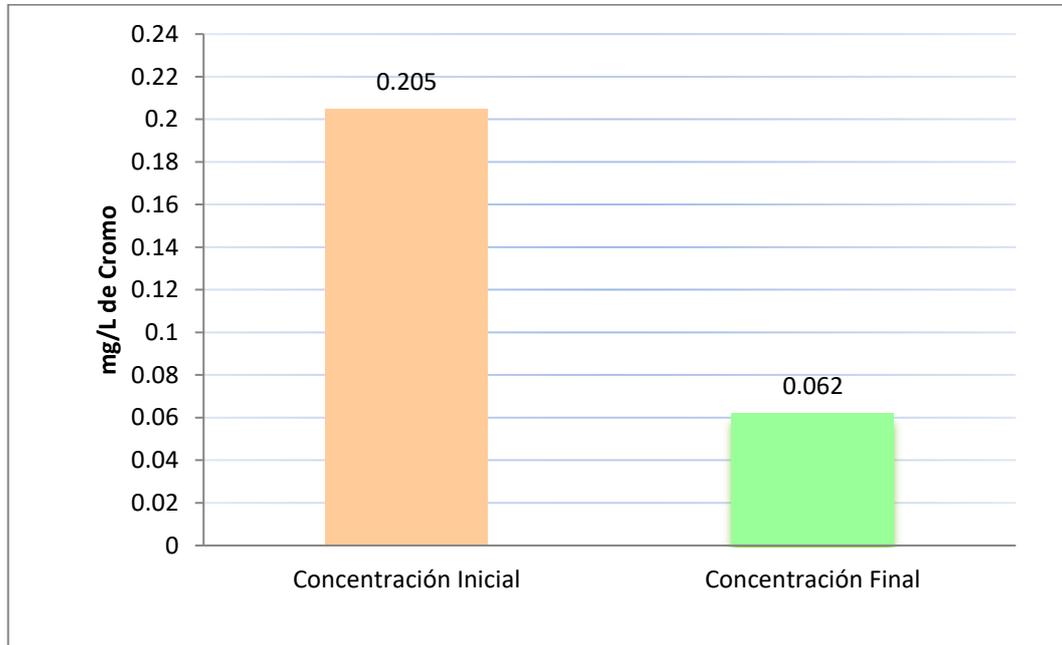


Figura 6. Promedio de la concentración inicial y final de cromo.

En la figura se puede apreciar la concentración inicial de cromo de 0.205 mg/L respectivamente, luego de un periodo de 28 días de tratamiento en un modelo hidropónico por rizofiltración con *Chrysopogon zizanioides*, se logró disminuir 0.143 mg/L, llegando a obtener una concentración final de 0.062 mg/L.

4.1.4 Cobre

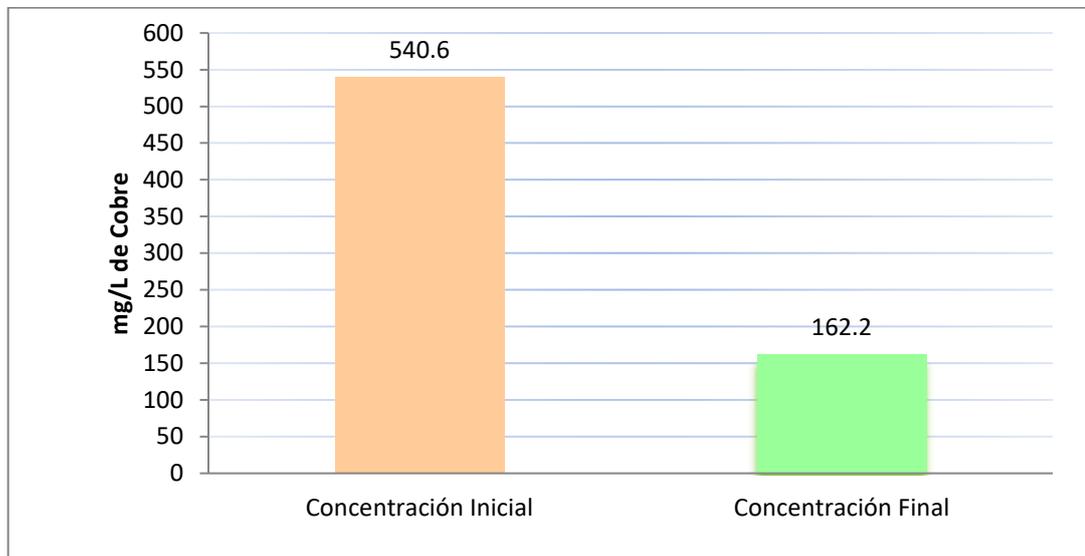


Figura 7. Promedio de la concentración inicial y final de cobre.

En la figura se puede apreciar la concentración inicial de cobre de 540.6 mg/L respectivamente, luego de un periodo de 28 días de tratamiento en un modelo hidropónico por rizofiltración con *Chrysopogon zizanioides*, se logró disminuir 378.4 mg/L, llegando a obtener una concentración final de 162.2 mg/L.

4.1.5 Hierro

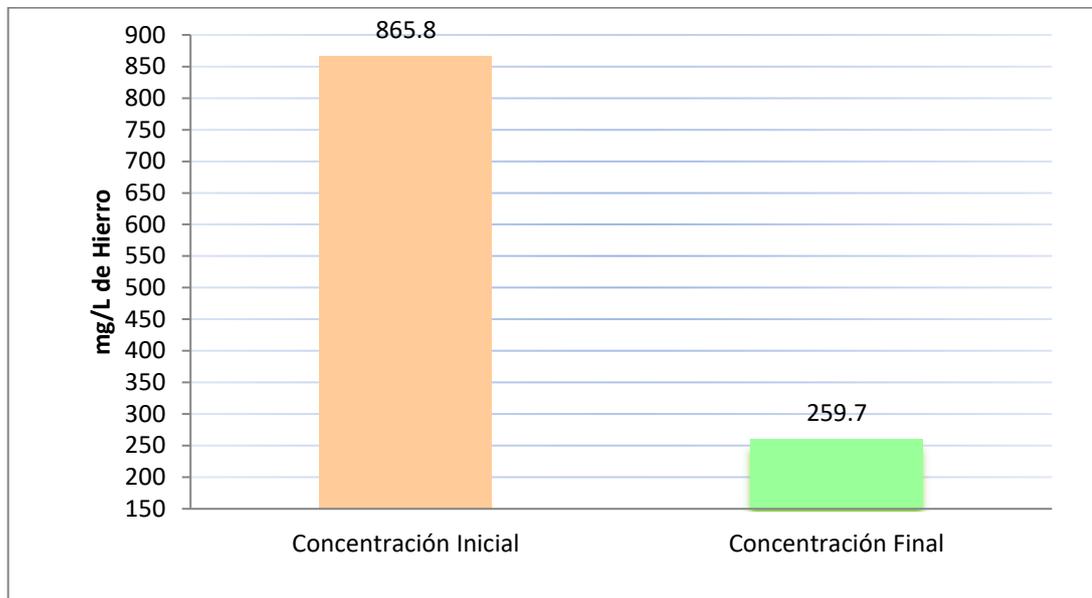


Figura 8. Promedio de la concentración inicial y final de hierro.

En la figura se puede apreciar la concentración inicial de hierro de 865.8 mg/L respectivamente, luego de un periodo de 28 días de tratamiento en un modelo hidropónico por rizofiltración con *Chrysopogon zizanioides*, se logró disminuir 606.1 mg/L, llegando a obtener una concentración final de 259.7 mg/L.

4.1.6 Zinc

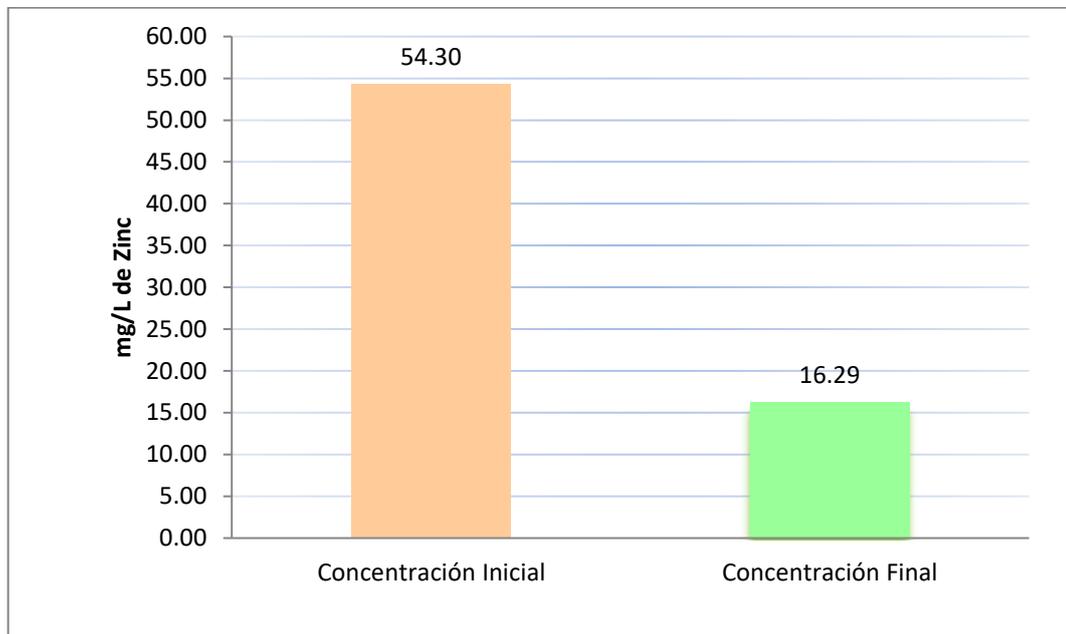


Figura 9. Promedio de la concentración inicial y final de zinc.

En la figura se puede apreciar la concentración inicial de zinc de 54.30 mg/L respectivamente, luego de un periodo de 28 días de tratamiento en un modelo hidropónico por rizofiltración con *Chrysopogon zizanioides*, se logró disminuir 38.01 mg/L, llegando a obtener una concentración final de 16.29 mg/L.

Variación de las concentraciones de los metales de acuerdo al tiempo de residencia.

4.2.1 Arsénico



Figura 10. Concentración de arsénico de acuerdo al tiempo de residencia en horas.

En la figura se puede apreciar que existe una mayor reducción de concentración de arsénico dentro de las 336 primeras horas (14 días), teniendo diferencias de 12.45 mg/L desde el tiempo cero hasta las 168 horas (7 días) y a partir de las 168 horas (7 días) hasta las 336 horas (14 días) una reducción de 2.03 mg/L.

A diferencia de las dos últimas semanas de 336 horas hasta las 672 horas, hay una diferencia de reducción de 1.36 mg/L, variando la diferencia de concentración de 0.62 mg/L a 0.74 mg/L.

4.2.2 Cadmio

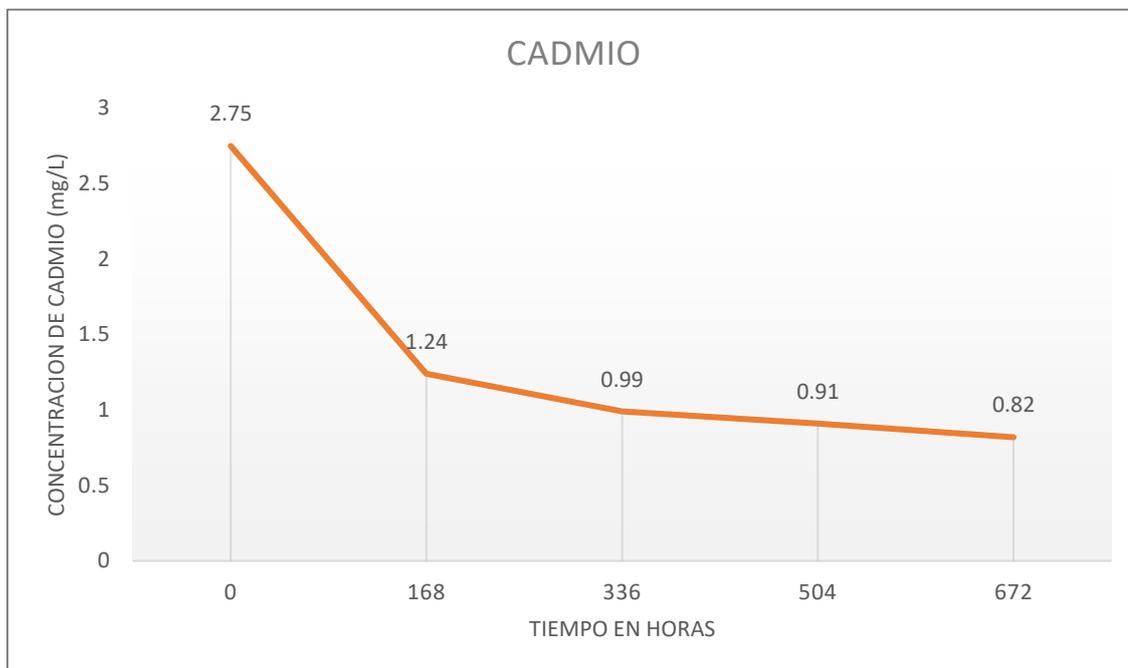


Figura 11. Concentración de cadmio de acuerdo al tiempo de residencia en horas, durante el tratamiento.

En la figura se puede apreciar que existe una mayor reducción de concentración de cadmio dentro de las 336 primeras horas (14 días), teniendo diferencias de 1.51 mg/L desde el tiempo cero hasta las 168 horas (7 días) y a partir de las 168 horas (7 días) hasta las 336 horas (14 días) una reducción de 0.25 mg/L.

A diferencia de las dos últimas semanas de 336 horas hasta las 672 horas, hay una diferencia de reducción de 0.17 mg/L, variando la diferencia de concentración de 0.08 mg/L a 0.09 mg/L.

4.2.3 Cromo

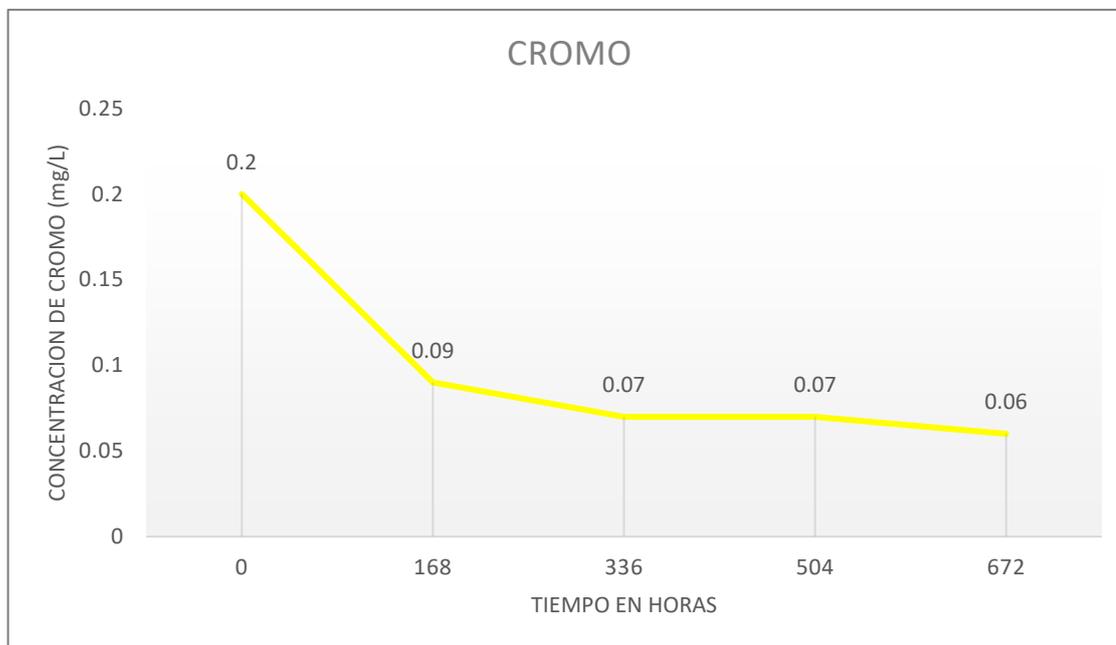


Figura 12. Concentración de cromo de acuerdo al tiempo de residencia en horas, durante el tratamiento.

En la figura se puede apreciar que existe una mayor reducción de concentración de cromo dentro de las 336 primeras horas (14 días), teniendo diferencias de 0.11 mg/L desde el tiempo cero hasta las 168 horas (7 días) y a partir de las 168 horas (7 días) hasta las 336 horas (14 días) una reducción de 0.02 mg/L.

A diferencia de las dos últimas semanas de 336 horas hasta las 672 horas, hay una diferencia de reducción de 0.01 mg/L, variando la diferencia de concentración de 0.00 mg/L a 0.01 mg/L.

4.2.4 Cobre

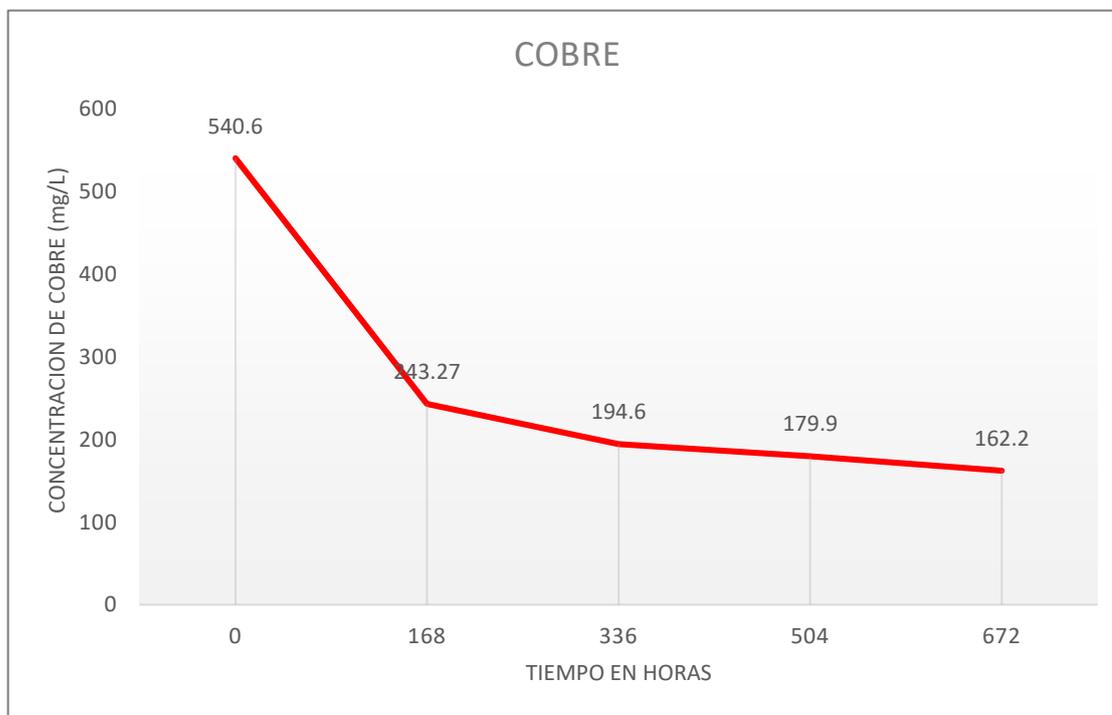


Figura 13. Concentración de cobre de acuerdo al tiempo de residencia en horas, durante el tratamiento.

En la figura se puede apreciar que existe una mayor reducción de concentración de cobre dentro de las 336 primeras horas (14 días), teniendo diferencias de 297.33 mg/L desde el tiempo cero hasta las 168 horas (7 días) y a partir de las 168 horas (7 días) hasta las 336 horas (14 días) una reducción de 48.67 mg/L.

A diferencia de las dos últimas semanas de 336 horas hasta las 672 horas, hay una diferencia de reducción de 32.4 mg/L, variando la diferencia de concentración de 14.7 mg/L a 17.7 mg/L.

4.2.5 Hierro

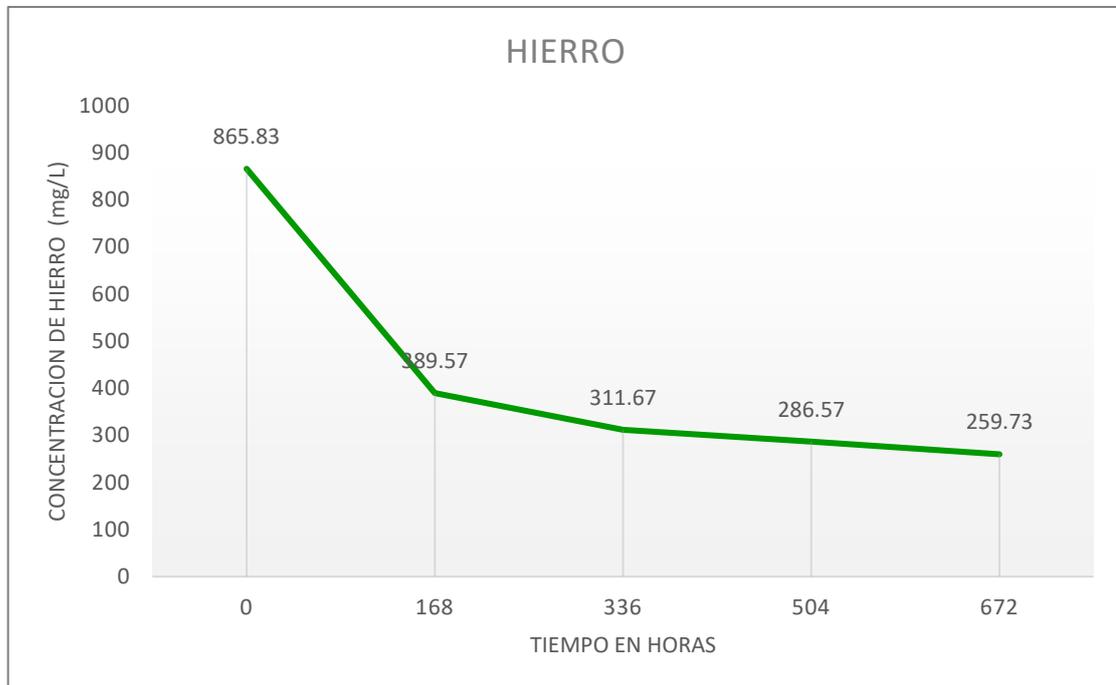


Figura 14. Concentración de hierro de acuerdo al tiempo de residencia en horas, durante el tratamiento.

En la figura se puede apreciar que existe una mayor reducción de concentración de hierro dentro de las 336 primeras horas (14 días), teniendo diferencias de 476.26 mg/L desde el tiempo cero hasta las 168 horas (7 días) y a partir de las 168 horas (7 días) hasta las 336 horas (14 días) una reducción de 77.9 mg/L.

A diferencia de las dos últimas semanas de 336 horas hasta las 672 horas, hay una diferencia de reducción de 51.94 mg/L, variando la diferencia de concentración de 25.1 mg/L 26.84 mg/L.

4.2.6 Zinc

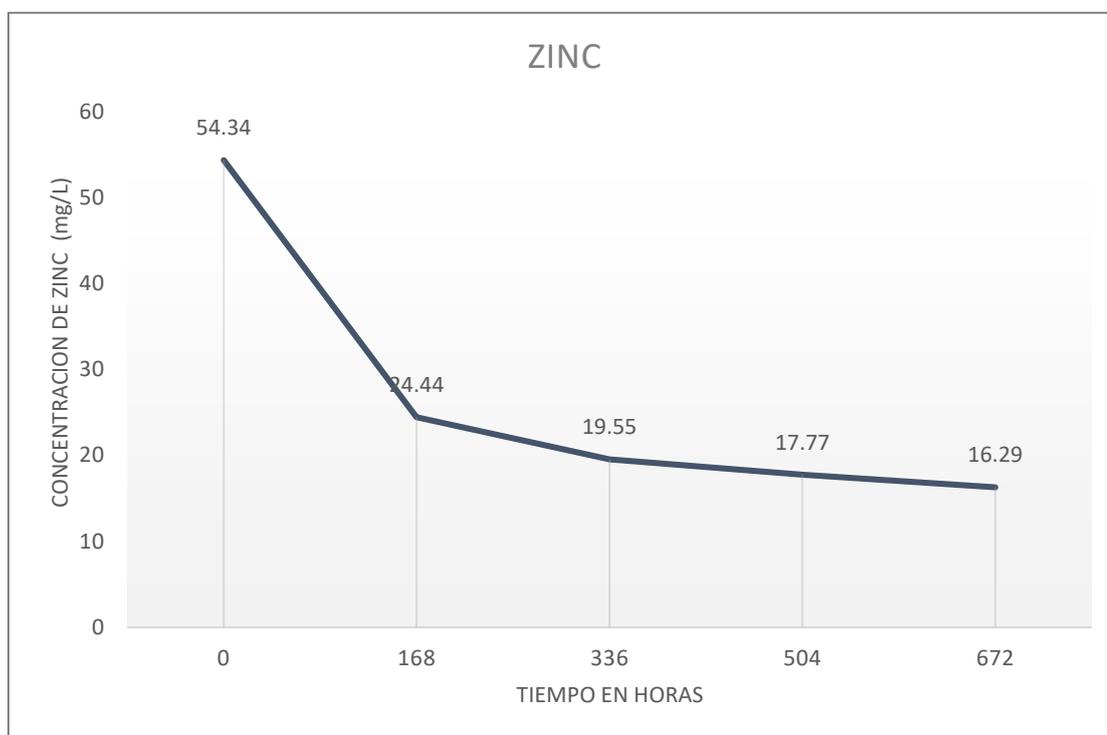


Figura 15. Concentración de zinc de acuerdo al tiempo de residencia en horas, durante el tratamiento.

En la figura se puede apreciar que existe una mayor reducción de concentración de zinc dentro de las 336 primeras horas (14 días), teniendo diferencias de 29.9 mg/L desde el tiempo cero hasta las 168 horas (7 días) y a partir de las 168 horas (7 días) hasta las 336 horas (14 días) una reducción de 4.89 mg/L.

A diferencia de las dos últimas semanas de 336 horas hasta las 672 horas, hay una diferencia de reducción de 3.26 mg/L, variando la diferencia de concentración de 1.78 mg/L a 1.48 mg/L.

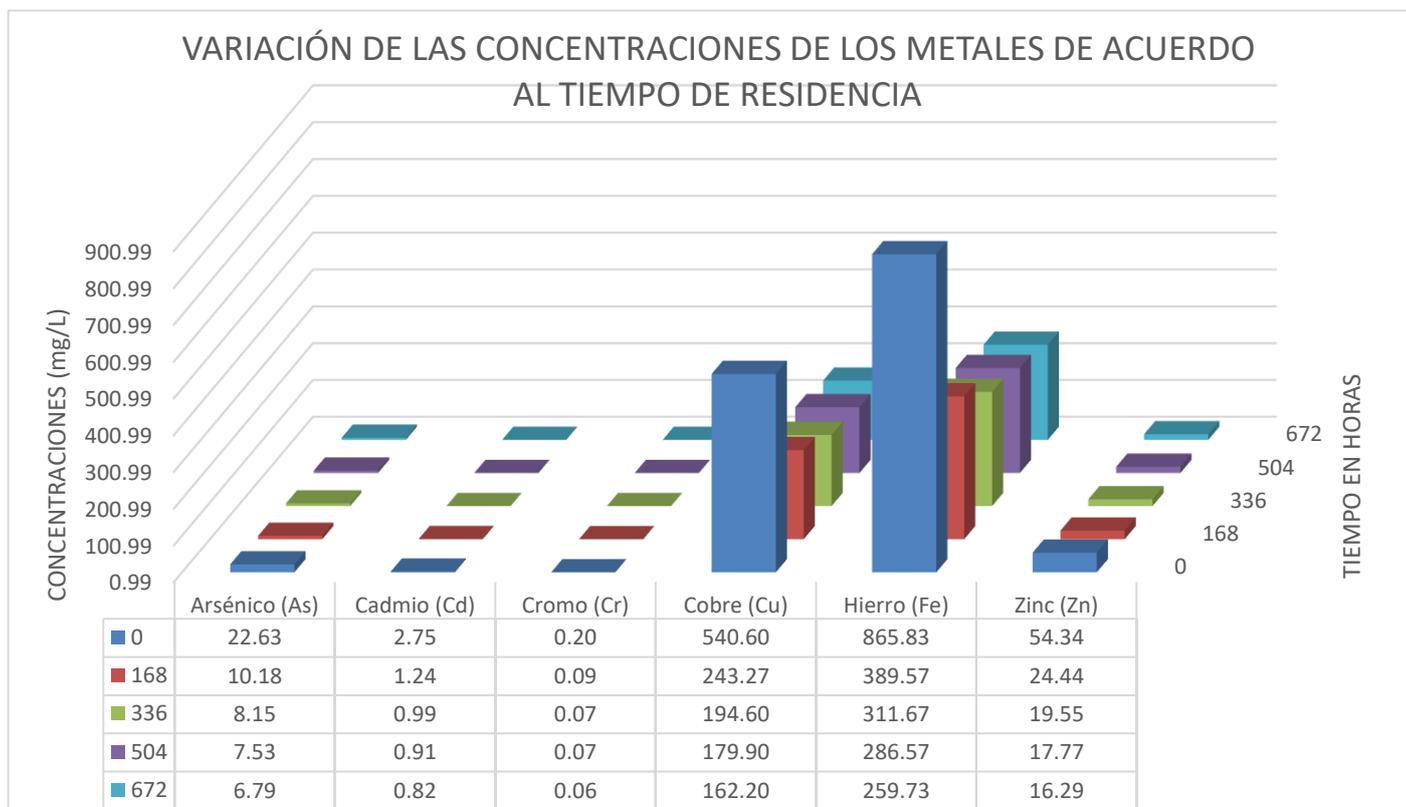


Figura 16. Concentraciones de los metales arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc de acuerdo al tiempo de residencia en horas, en el efluente minero, Algamarca. 2019, durante el tratamiento.

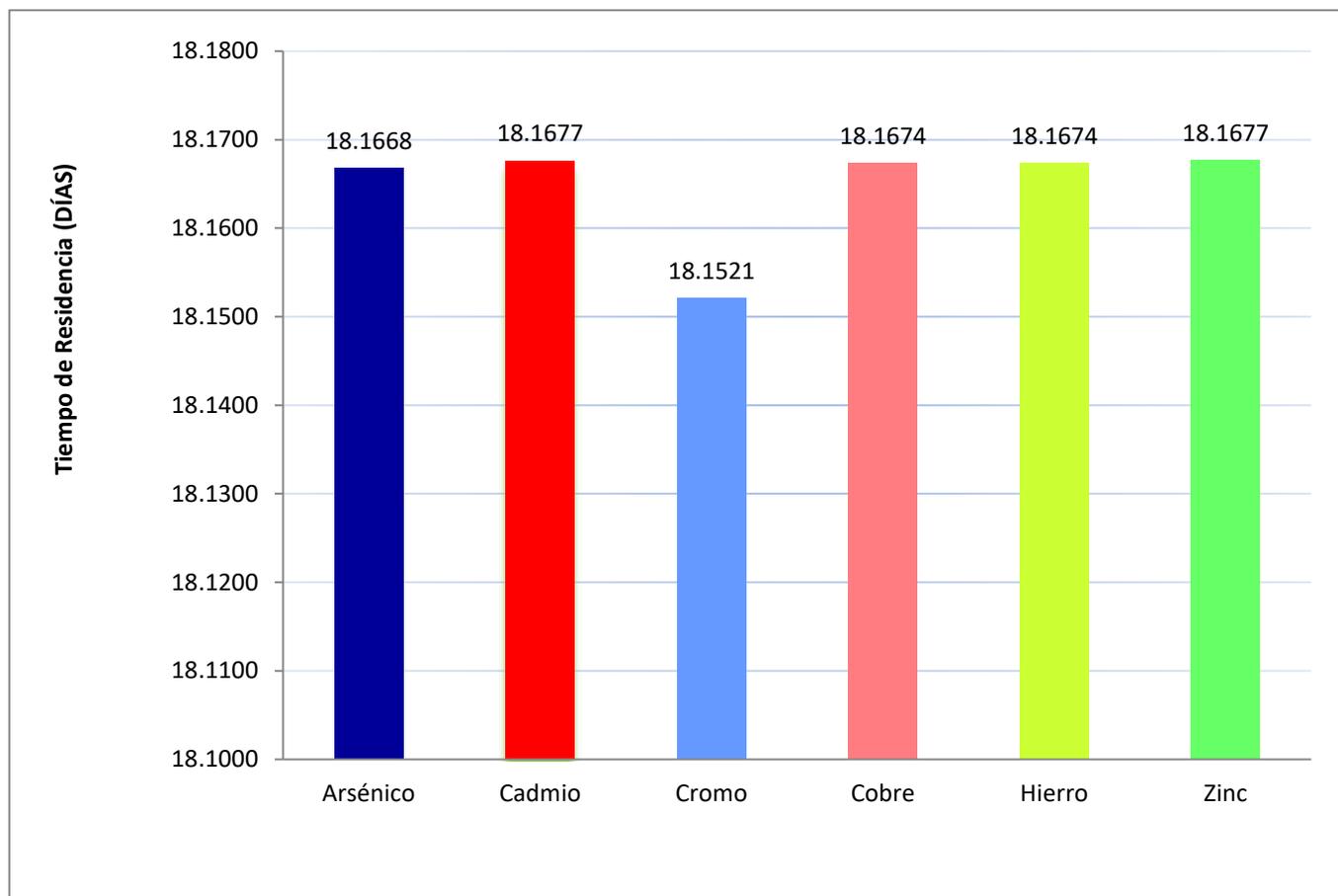


Figura 17. Tiempo óptimo de residencia en el modelo hidropónico para la reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc.

En la figura se observa que, de los 6 metales analizados, el cromo fue el metal que tuvo el mejor tiempo de residencia, sin embargo, a pesar que el tratamiento duró 28 días, al realizar los cálculos se encontró que, para reducir arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc, sólo hace falta someter al efluente minero con un modelo hidropónico por rizofiltración con *Chrysopogon zizanioides*, a un tiempo máximo de 19 días.

Porcentaje de reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc

4.3.1 Arsénico

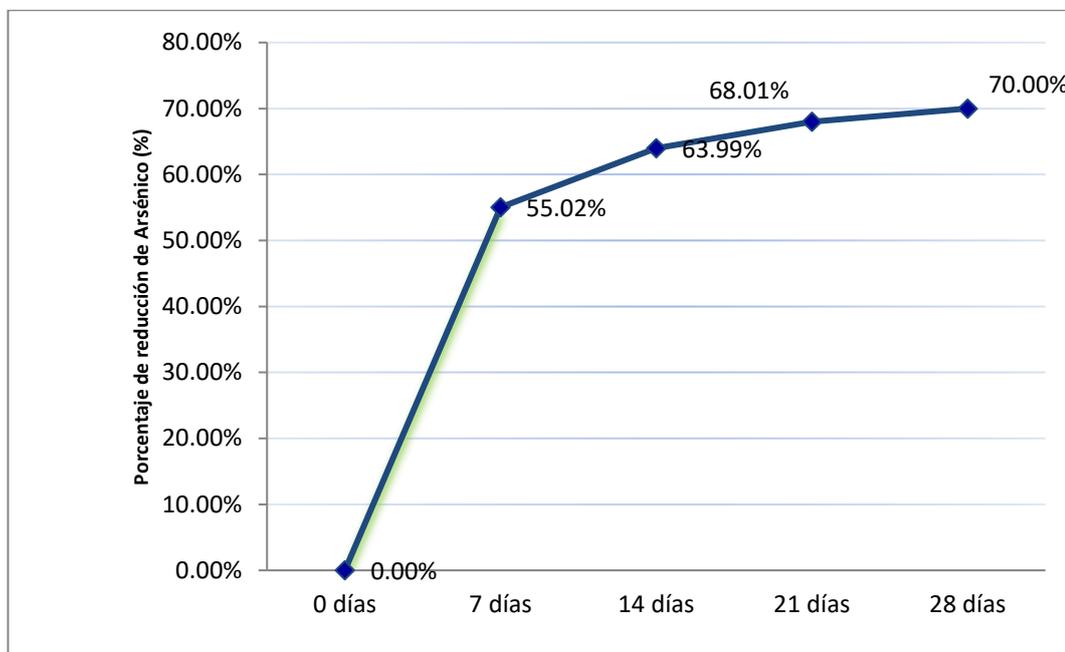


Figura 18. Porcentaje de reducción de arsénico, durante 28 días de tratamiento.

4.3.2 Cadmio

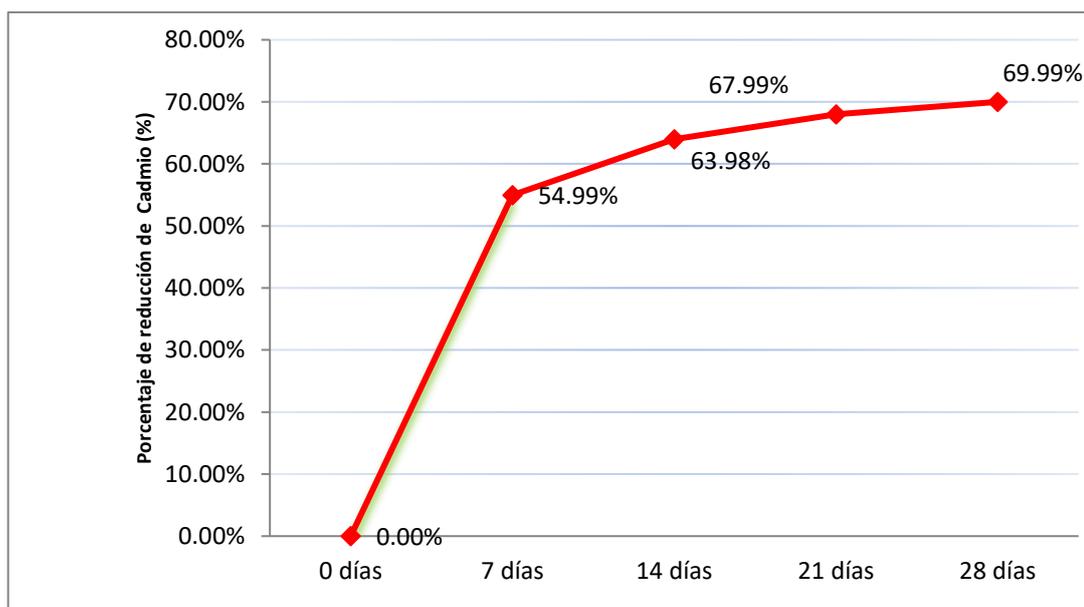


Figura 19. Porcentaje de reducción de cadmio, durante 28 días de tratamiento.

4.3.3 Cromo

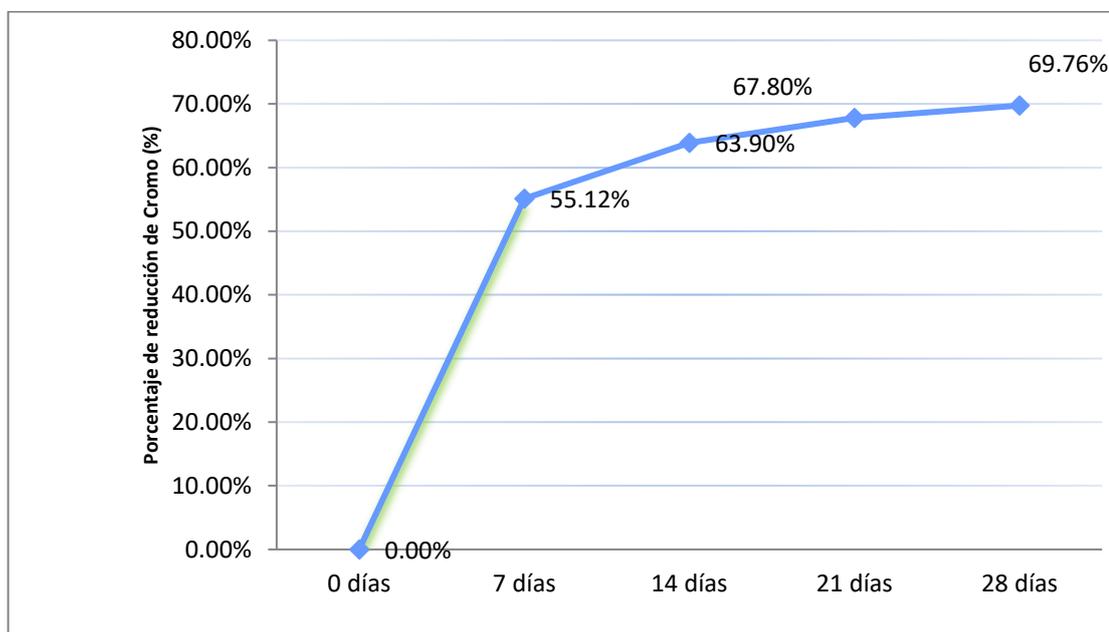


Figura 20. Porcentaje de reducción de cromo, durante 28 días de tratamiento.

4.3.4 Cobre

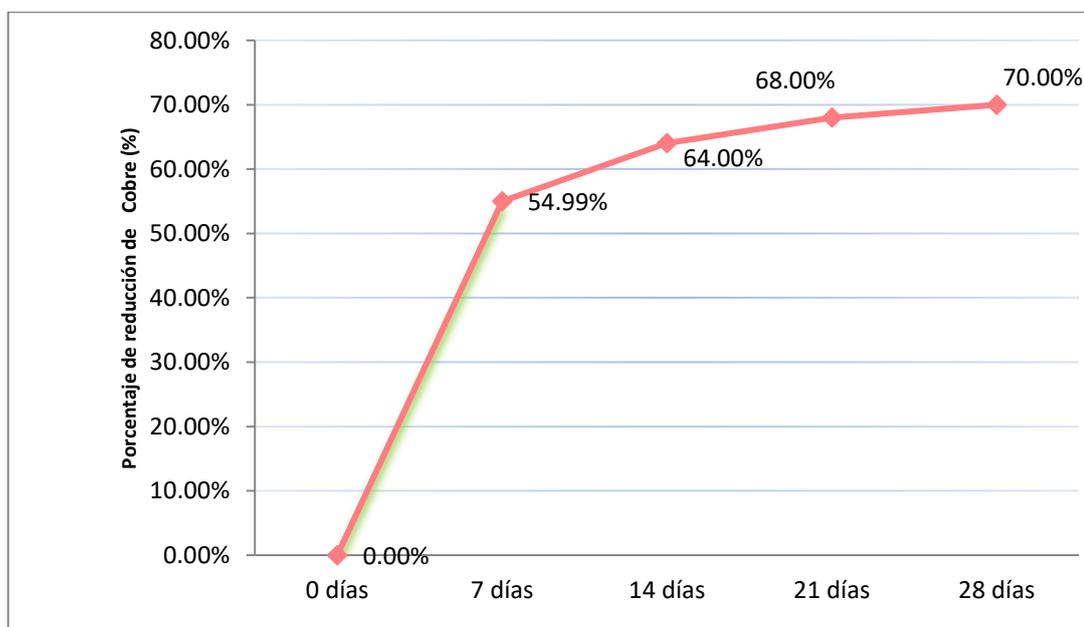


Figura 21. Porcentaje de reducción de cobre, durante 28 días de tratamiento.

4.3.5 Hierro

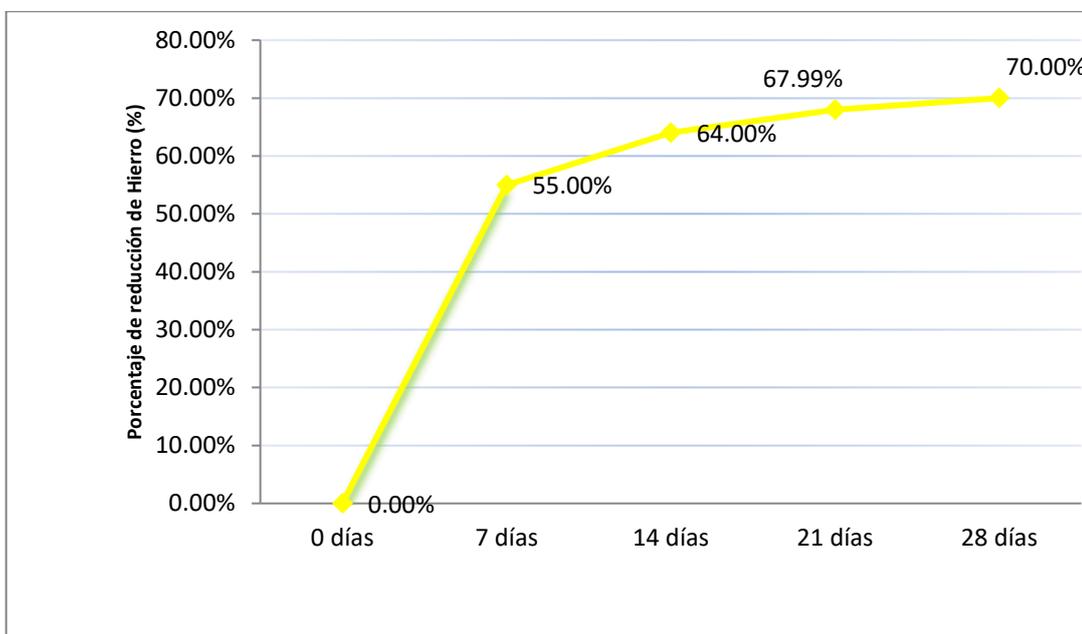


Figura 22. Porcentaje de reducción de hierro, durante 28 días de tratamiento.

4.3.6 Zinc

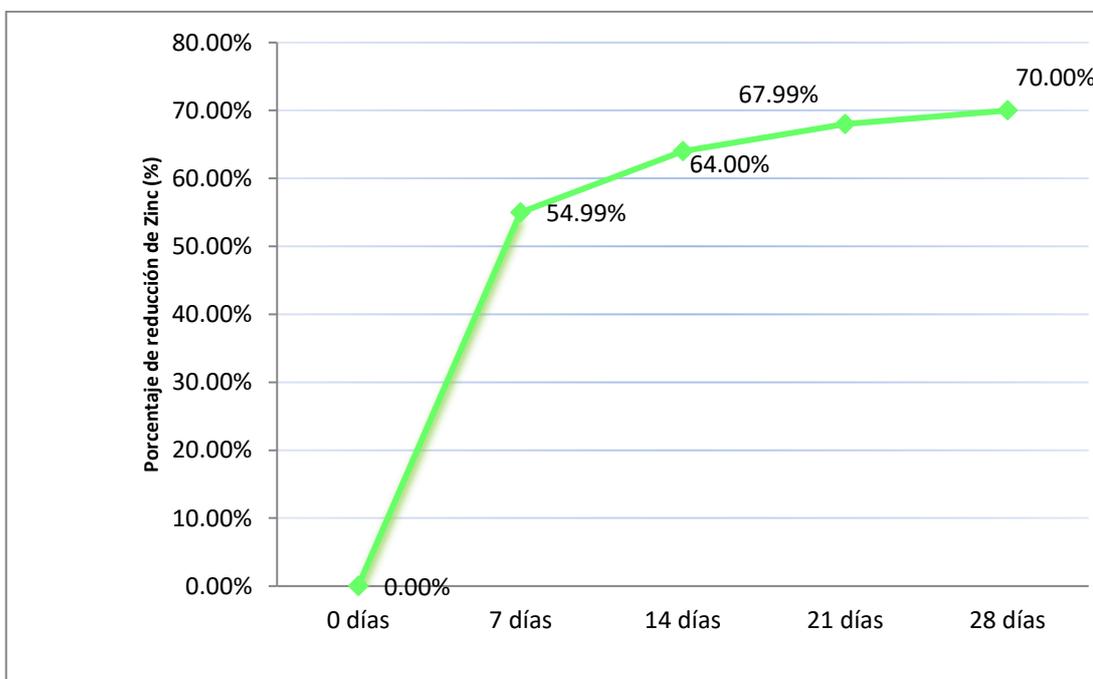


Figura 23. Porcentaje de reducción de zinc, durante 28 días de tratamiento.

En la figura 18, 19, 20, 21, 22 y 23; se observa que a medida que pasa el tiempo el porcentaje de reducción de los metales aumenta, y que la mayor reducción se obtuvo a los 28 días, además se pudo observar que los porcentajes de reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc; fueron casi los mismos valores, demostrándose *Chrysopogon zizanioides*, no tiene afinidad por algún metal, si no que los reduce por igual.

En la tabla 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se puede observar el análisis estadístico de la reducción de los metales durante los 28 días de tratamiento, donde se pudo encontrar que el porcentaje de reducción de arsénico a los 21 días (68.01%) y 28 días (70.00%) son estadísticamente iguales ($p>0.05$); pero son estadísticamente diferentes a los porcentajes obtenidos a los 7 días (55.02%) y 14 días (63.99%) con un $p<0.05$; lo mismo ocurre para todos los demás metales, encontrándose que el porcentaje de reducción de cadmio a los 21 días (67.99%) y 28 días (69.99%) son estadísticamente iguales ($p>0.05$); pero son estadísticamente diferentes a los porcentajes obtenidos a los 7 días (54.99%) y 14 días (63.98%) con un $p<0.05$, el porcentaje de reducción de cromo a los 21 días (67.80%) y 28 días (69.76%) son estadísticamente iguales ($p>0.05$); pero son estadísticamente diferentes a los porcentajes obtenidos a los 7 días (55.12%) y 14 días (63.90%) con un $p<0.05$, el porcentaje de reducción de cobre a los 21 días (68.00%) y 28 días (70.00%) son estadísticamente iguales ($p>0.05$), pero son estadísticamente diferentes a los porcentajes obtenidos a los 7 días (54.99%) y 14 días (64.00%) con un $p<0.05$, el porcentaje de reducción de hierro a los 21 días (67.99%) y 28 días (70.00%) son estadísticamente iguales ($p>0.05$); pero son estadísticamente diferentes a los porcentajes obtenidos a los 7 días (55.00%) y 14 días (64.00%) con un $p<0.05$, y el porcentaje de reducción de zinc a los 21 días (67.99%) y 28 días (70.00%) son estadísticamente iguales ($p>0.05$); pero son estadísticamente diferentes a los porcentajes

obtenidos a los 7 días (54.99%) y 14 días (64.00%) con un $p < 0.05$. En comparación con uno de los antecedentes, según Zelada, Arreola, Herrera & Ariza (2011) en la ciudad de Guatemala, el porcentaje de reducción para el arsénico a los 14 días fue de 57.34%, no existiendo una gran diferencia con el experimento realizado.

4.2 Conclusiones

Se determinó el tiempo de residencia en la reducción de metales por rizofiltración con *Chryzopogon zizanioides* en efluente minero, Algamarca, 2019; obteniendo como resultado que en los 14 primeros días de exposición se llega a tener una mayor variación en la reducción.

Se determinó las concentraciones iniciales y finales; obteniendo para el arsénico como concentración inicial $C_i=22.63$ y concentración final $C_f= 6.79$; para el cadmio como concentración inicial $C_i=2.746$ y concentración final $C_f= 0.824$; para el cromo como concentración inicial $C_i= 0.205$ y concentración final $C_f= 0.062$; para el cobre como concentración inicial $C_i= 540.6$ y concentración final $C_f= 162.2$; para el hierro como concentración inicial $C_i= 865.8$ y concentración final $C_f= 259.7$ y para el zinc como concentración inicial $C_i= 54.30$ y concentración final $C_f= 16.29$; en el efluente minero Algamarca 2019.

El tiempo óptimo de residencia en el modelo hidropónico para la reducción de arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro y zinc fue de 14 días y 336 horas; tiempo en el cual se determinó mayor variación en la reducción de los metales.

El porcentaje de reducción de los metales fueron, arsénico 70%, cadmio 69.99%, cromo 69.76%, cobre 70%, hierro 70% y zinc 70%.

REFERENCIAS

- Carpena, R., & Bernal, M. (2007). *Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos*. Madrid: Asociación Española de Ecología Terrestre.
- Carranza B. "Diagnostico Social y Económico de la minería Informal en Algamarca – Cachachi – Cajabamba": Grupo de Formacion e Intervencion para el Desarrollo Sostenible – Cajamarca (GRUFIDES). Recuperado 17 - 12 - 18 de <http://es.scribd.com/doc/91028716/DIAGNOSTICO-ALGAMARCA-GRUFIDES#scribd>
- Chiriboga Guzmán, H. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (Chrysopogon zizanioides. (L.) Roberty) y (Eleocharis elegans. (Kunth) Roem. & Schult.) en la piscina de lixiviados del botadero controlado del Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe*. Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Chiriboga Guzmán, H. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (Chrysopogon zizanioides. (L.) Roberty) y (Eleocharis elegans. (Kunth) Roem. & Schult.) en la piscina de lixiviados del botadero controlado del Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe*. Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Dekker, M. (1992). *Heavy metals. In: Toxic metal chemistry in marine environments*. New York: SADIQ.
- Dushenkov, V., Kumar, P., Motto, H., & Raskin, I. (1995). *Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams*. Environmental Science & Technology.
- Guevara, A., De la Torre, E., Villegas, A., & Criollo, E. (2009). *Uso de la rizofiltración para el tratamiento de efluentes líquidos de cianuración que contienen cromo, cobre y cadmio*. Venezuela: Universidad Simón Bolívar.

Kelley, C., Gaither, K., Baca-Spry, A., & Cruickshank, B. (2 000). *Incorporation of phytoremediation strategies into the introductory chemistry laboratory*. Chem Educator.

López, I. A. (2 014). *Adsorción de Cobre, Hierro y Mercurio Empleando *Chondracanthus chamissoi**. Trujillo.

Merkel, N., Schultze-Kraft, R., & Infante, C. (2 004). *Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils in the Tropics - Pre-Selection of Plant Species from Eastern Venezuela*. Journal of Applied Botany and Food Quality.

National Risk Management Research Laboratory. (2 000). *Introduction to Phytoremediation*. Cincinnati, Ohio - Estados Unidos: U.S. Environmental Protection Agency.

Ortega, H., Benavides, A., Arteaga, R., & Zermeño, A. (2 009). *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados*.

Ramírez Soto, J. (2 014). *Diseño de humedales flotantes con *Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash., para el tratamiento de agua residual y su reúso en actividades de pesca deportiva*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Santana Suárez, X., & Santos Tello, J. (2 016). *Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio Río Muerto, Cantón Manta*. Calceta - Ecuador: Escuela Superior Politecnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Sepúlveda Asprilla, N. (2 013). *Desarrollo de un protocolo para la rizofiltración de efluentes contaminados con mercurio mediante la aplicación de filtros vegetales con la especie vetiver (*vetiveria zizainodes*)*. Colombia: Universidad de Manizales.

The Vetiver Network International. (2 009). *Aplicaciones del sistema vetiver. Manual técnico de referencia*. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.

Vetiver Perú. (2 011). *Red Vetiver - Perú*. Recuperado el 25 de Enero de 2018, de http://www.vetiverperu.org/textos_detalle.php?id_seccion=12&id_texto=32

Wildschut, L. (2 013). *Mercados potenciales de tecnologías de biorremediación con Vetiver* (Primera ed.). Madrid - España: EOI.

Zelada, J., Arreola Martínez, H., Herrera García, J., & Ariza Salazar, M. (2 011). Remoción de metales pesados del agua por ninfa (*Eichhornia cassipes* (Mart.) Solms) y vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

ANEXOS

Anexo N° 01. Fotos de la ubicación geográfica de Algamarca, distrito de Cajabamba, Provincia de Cajamarca.

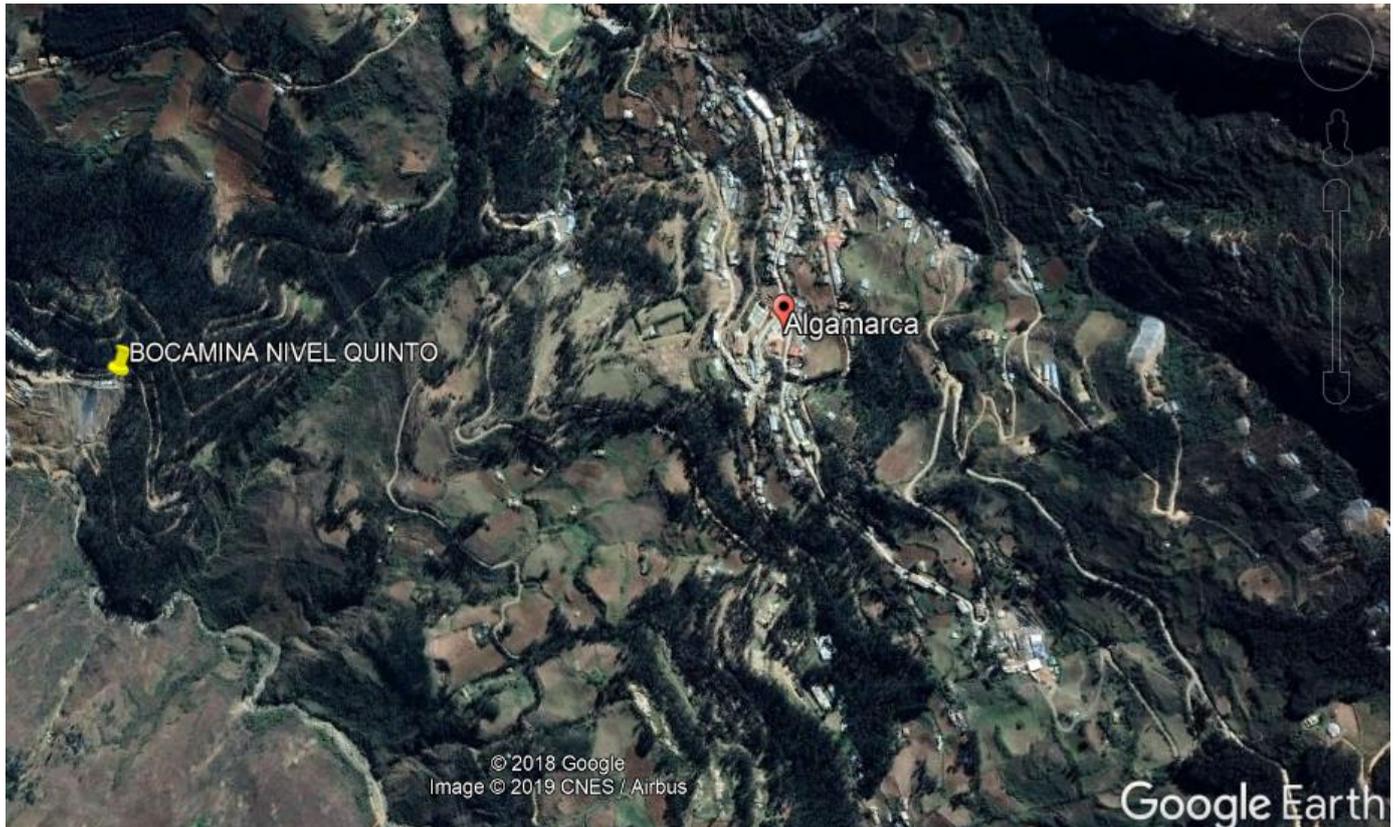


Figura 24. Punto de toma de muestra y ubicación de Algamarca, distrito de Cajabamba, Provincia de Cajamarca

Fuente: Google Earth, 2019.

Anexo N° 02. Modelo experimental.



Figura 25. Fotografía del modelo hidropónico experimental para el tratamiento del efluente minero.

Anexo N° 03. Informe de resultados de análisis químicos de la caracterización de la muestra.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0319085

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO			
Razon Social/Usuario	Fátima de Lourdes Villar Boza / Rocio Ocas Jave.		
Dirección	Av. Mario Urteaga N° 349		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	-

DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha y Hora del Muestreo	19.03.19	Hora:	11:55 a 14:00
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestra	05 Muestras	N° Frascos x muestra	01
Ensayos solicitados	Fisicoquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el usuario		
Procedencia de la Muestra:	Proyecto De Tesis "Influencia del tiempo de residencia en la reducción de Hierro por rizofiltración en efluente minero, algamarca, 2019"		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC - 050	Cadena de Custodia	CC -085 - 18
N° Orden de Trabajo	0319085		
Fecha y Hora de Recepción	19.03.19	15:30	Inicio de Ensayo 19.03.19 15:30
Reporte Resultado	28/03/2019	16:30	

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Tl, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2014. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

Cajamarca, 30 de Marzo de 2019.

Página: 1 de 1

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA



Juan V. Díaz Saenz



INFORME DE ENSAYO N° IE 0319085

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente			Drenaje Inicial 19/02/19	D1. Drenaje Inicial 19/02/19	D2. Drenaje Inicial 19/02/19	T1 26/02/19	D1. T1 26/02/19	D2. T1 26/02/19
Código Laboratorio			0319085-01	0319085-02	0319085-03	0319085-04	0319085-05	0319085-06
Matriz de Agua			Efluente	Efluente	Efluente	Efluente Tratado	Efluente Tratado	Efluente Tratado
Descripción			-	-	-	7 días	7 días	7 días
Localización de la Muestra			-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	100.50	98.80	103.20	45.29	48.65	42.12
Arsénico (As)	mg/L	0.003	23.10	22.95	21.84	10.15	10.40	9.98
Berilio (Be)	mg/L	0.002	0.004	0.005	0.005	0.002	0.002	0.002
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	158.6	155.4	156.7	72.40	68.80	70.50
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	2.74	2.71	2.79	1.21	1.26	1.24
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.857	0.903	0.892	0.405	0.398	0.390
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	0.201	0.206	0.207	0.085	0.092	0.098
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	535.4	542.6	543.8	235.40	242.60	251.80
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	858.70	860.40	878.40	389.10	383.90	395.70
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	1.62	1.61	1.65	0.719	0.741	0.735
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.002	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	0.6	0.6	0.6	0.248	0.255	0.270
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	1.02	1.03	1.03	0.464	0.450	0.468
Azufre (S)	mg/L	0.085	555.10	558.70	567.30	247.40	255.33	253.80
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	0.654	0.661	0.669	0.288	0.295	0.307
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.2	0.2	0.2	0.077	0.081	0.083
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	54.10	53.44	55.48	24.82	22.89	25.61

Leyenda: LCM: Límite de cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 30 de Marzo de 2019.

Página: 2 de .

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Rocio Jave Villar Boza



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA**
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° **IE 0319085**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente	T2 05/03/19	D1. T2 05/03/19	D2. T2 05/03/19	T3 12/03/19	D1. T3 12/03/19	D2. T3 12/03/19		
Código Laboratorio	0319085-07	0319085-08	0319085-09	0319085-10	0319085-11	0319085-12		
Matriz de Agua	Efluente Tratado	Efluente Tratado	Efluente Tratado	Efluente Tratado	Efluente Tratado	Efluente Tratado		
Descripción	14 días	14 días	14 días	21 días	21 días	21 días		
Localización de la Muestra	-	-	-	-	-	-		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	36.54	35.64	36.67	33.45	31.25	32.05
Arsénico (As)	mg/L	0.003	8.15	8.19	8.12	7.30	7.17	7.24
Berilio (Be)	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	53.90	55.80	59.70	48.85	53.61	48.18
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.985	0.988	0.994	0.87	0.88	0.89
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.31	0.32	0.33	0.29	0.28	0.28
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	0.08	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	198.60	190.50	194.70	168.00	177.00	174.00
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	307.20	315.90	311.90	269.40	278.40	283.60
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	0.58	0.59	0.58	0.49	0.54	0.53
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Niquel (Ni)	mg/L	0.002	0.210	0.205	0.207	0.176	0.192	0.185
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.363	0.375	0.368	0.338	0.327	0.318
Azufre (S)	mg/L	0.085	198.45	205.80	200.84	172.40	180.50	184.90
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	0.236	0.238	0.241	0.205	0.213	0.219
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.066	0.063	0.064	0.061	0.051	0.058
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	19.87	20.12	18.65	17.51	17.15	17.49

Leyenda: LCM: Límite de cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 30 de Marzo de 2019.

Página: 3 de 4

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
Juan V. Díaz Sotelo
Dir. Juan V. Díaz Sotelo



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° **IE 0319085**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente	T4 19/03/19		D1. T4 19/03/19	D2. T4 19/03/19	-	-	-	
Código Laboratorio	0319085-13		0319085-14	0319085-15	-	-	-	
Matriz de Agua	Efluente Tratado		Efluente Tratado	Efluente Tratado	-	-	-	
Descripción	28 días		28 días	28 días	-	-	-	
Localización de la Muestra	-		-	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	30.9	30.4	29.4	-	-	
Arsénico (As)	mg/L	0.003	6.9	6.8	6.7	-	-	
Berilio (Be)	mg/L	0.002	0.0	0.0	0.0	-	-	
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	44.6	50.7	46.1	-	-	
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.8	0.8	0.8	-	-	
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.3	0.3	0.3	-	-	
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	0.1	0.1	0.1	-	-	
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	157.9	159.8	168.9	-	-	
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	266.7	258.8	253.7	-	-	
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	0.465	0.498	0.501	-	-	
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.001	0.001	0.001	-	-	
Níquel (Ni)	mg/L	0.002	0.166	0.178	0.171	-	-	
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.300	0.305	0.318	-	-	
Azufre (S)	mg/L	0.085	164.1	173.2	167.1	-	-	
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	0.2	0.2	0.2	-	-	
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.1	0.1	0.1	-	-	
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	15.8	17.0	16.0	-	-	

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Cajamarca, 30 de Marzo de 2019.

Página: 4 de 4

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA



Juan V. Díaz Saenz