

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA

AMBIENTAL



TESIS

**Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de
efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus
californicus (totora) y festuca dolichophylla (ichu), en el Distrito de
Morococha, Yauli, Junín**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor: Bach. Alicia SUCARI LAURA

Asesor: Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Cerro de Pasco- Perú- 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA

AMBIENTAL



TESIS

**Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de
efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus
californicus (totora) y festuca dolichophylla (ichu), en el Distrito de
Morococha, Yauli, Junín**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN
PRESIDENTE

Mg. David Jhonny CUYUBAMBA ZEVALLOS
MIEMBRO

Mg. Anderson MARCELO MANRIQUE
MIEMBRO

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios por ayudarme a cumplir un objetivo más en mi vida.

A mis padres Fulgencia Laura y Benito Sucari, porque me enseñaron a nunca darme por vencida, a pesar de las dificultades de la vida. Gracias por ser mi mayor motivación de superación para ser mejor cada día.

A mi hermano Ilmer, quien siempre tuvo fe en mí, y me enseñó que la vida es fugaz, y que debemos aferrarnos a ella, más en las malas que en las buenas, y aunque ya no este, te llevo siempre en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

- A mis Padres por el apoyo en el trayecto de toda mi formación profesional y de mi vida en general.
- A los Docentes de la escuela de Ingeniería Ambiental por impartir sus conocimientos e incentivare a cumplir con los objetivos propuestos.
- Al Ing. Eliot Ríos Villanes, por el asesoramiento y apoyo para realizar el presente trabajo de investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS DE EFLUENTES MINEROS A TRAVÉS DE HUMEDALES ARTIFICIALES EMPLEANDO *Scirpus californicus* (totora) y *Festuca dolichophylla* (Ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín.” Se realizó con el objetivo de evaluar la eficiencia de remoción de metales pesados presentes en los efluentes mineros a través de la aplicación de humedales artificiales utilizando *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla* en el distrito de Morococha,

El trabajo consistió en la instalación de dos humedales con el mismo tipo y cantidad de sustrato (arena fina , gruesa , grava y caliza), se trasplantó una especie diferente en cada humedal,(*Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla*), se extrajo muestras de efluentes (agua de mina) de la Empresa Minera Austria Duvaz S.A. - Poza de bombeo N° 2-Nivel 1700 interior mina, posteriormente se evaluó los parámetros fisicoquímicos como Temperatura, PH y se envió al laboratorio CERTIMIN S.A (laboratorio acreditado por INACAL) , muestras de agua para el análisis de parámetros inorgánicos como Hierro disuelto, cobre total, zinc total, arsénico total, cadmio total y plomo total, este proceso se realizó periódicamente durante 5 meses, de la misma manera se evaluó el crecimiento y adaptabilidad de ambas especies.

Se concluyó que el agua proveniente de interior mina presenta valores que sobrepasan el LMP, mientras que los resultados del análisis en el efluente proveniente de ambos humedales (agua tratada), se contempla concentraciones significativamente bajas de metales (Hierro disuelto, cobre total, zinc total, arsénico total, cadmio total y plomo total,) que se encuentran por debajo del límite máximo permisible (LMP).

Palabras clave: Eficiencia de remoción, efluentes mineros, Tolerancia, adaptabilidad, Humedales artificiales.

ABSTRACT

The present research work "EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF REMOVAL OF HEAVY METALS FROM MINING EFFLUENTS THROUGH ARTIFICIAL WETLANDS USING *Scirpus californicus* (totora) and *Festuca dolichophylla* (Ichu), in the District of Morococha, Yauli, Junín." It was carried out with the objective of evaluating the removal efficiency of heavy metals present in mining effluents through the application of artificial wetlands using *Scirpus Californicus* and *Festuca dolichophylla* in the district of Morococha,

The work consisted in the installation of two wetlands with the same type and amount of substrate (fine, coarse sand, gravel and limestone), a different species was transplanted in each wetland, (*Scirpus Californicus* and *Festuca dolichophylla*), effluent samples were extracted (mine water) from Empresa Minera Austria Duvaz SA - Pumping pond N ° 2- Level 1700 inside the mine, subsequently the physicochemical parameters such as Temperature, Ph were evaluated and samples for the analysis of inorganic parameters such as dissolved iron, total copper were sent to the CERTIMIN SA laboratory (laboratory accredited by INACAL) , total zinc, total arsenic, total cadmium and total lead, this process was carried out periodically for 5 months, in the same way the growth and adaptability of both species was evaluated.

It was concluded that the water from the interior mine presents values that exceed the LMP, while the results of the analysis in the effluent from both wetlands (treated water), significantly low concentrations of metals are contemplated (dissolved iron, total copper, total zinc, total arsenic, total cadmium and total lead,) that are below the maximum allowable limit (MPL).

Keywords: *Removal efficiency, mining effluents, Tolerance, adaptability, Artificial wetlands*

INTRODUCCION

El distrito de Morococha se encuentra en la Provincia de Yauli, ubicada en el Departamento de Junín, a una altitud promedio de 4 240 msnm a 140 kilómetros al este de la ciudad de Lima. Según los archivos de la empresa Cerro de Pasco Corporation señalan que la explotación minera en este distrito data de 1763. Como toda empresa minera uno de los problemas más difíciles de resolver en la industria minera, es el referido al drenaje ácido o efluente, que proviene de diferentes actividades, procesos y lugares de la mina. Entre ellos:

- Trabajos en la superficie y subterráneos.
- Desechos rocosos (provenientes de la planta chancadora)
- Sitios de acopio de estériles provenientes de la molienda u otro
- Desechos provenientes de embalses de relave, flotación, otros.

La minería cumple un rol fundamental en la economía de los países del mundo, dentro de los que se encuentran el Perú y en donde constituye un gran factor de desarrollo. Siendo el primer proveedor de divisas aporta hoy más del 60% del total de nuestros ingresos por exportaciones; no obstante, es también un generador de residuos, si estos no son manejados de la manera adecuada, podrían generar impactos ambientales negativos, al medio ambiente, los cuales pueden permanecer tiempo después del cierre de operaciones de mina, en particular, los relaves y desmontes de mina pueden contener sulfuros metálicos que, al quedar expuestos al oxígeno de la atmósfera, son oxidados y generan drenaje ácido, también es el caso de los metales en solución como el plomo, iniciando una fuente de contaminación que luego es muy difícil y costoso controlar. (Rimarachin V. y Huaranga M., 2015)

A nivel internacional se puede mencionar una serie de trabajos por diversos investigadores dentro de los que se puede mencionar a quien, utilizando la viabilidad de

la cal para el tratamiento del efluente de mina, si las concentraciones para metales pesados son bajas se realiza el tratamiento clásico de oxidación, con dosis de álcalis y sedimentación.

Por otro lado (Aduvire, 2006) en su trabajo sobre prevención de la formación y tratamiento de aguas ácidas por métodos pasivos, determinó que los métodos de tratamiento pasivo se basan en los mismos principios físicos, químicos y biológicos que se dan en los humedales naturales (wetlands), y en donde se neutraliza las aguas contaminadas, y se elimina metales, asimismo, existe una gran variedad de técnicas y métodos complementarias tales como las aeróbicas, anaeróbicas, de drenajes anóxicos calizos (anoxic limestone drains) y de barreras reactivas permeables cuando son aguas subterráneas (permeable reactive barriers). Estos métodos se pueden emplear combinados o de manera individual, esto dependerá de la caracterización del efluente.

Los humedales artificiales se han considerado como una de las posibles soluciones a largo plazo del efluente de mina. Muchas investigaciones realizadas muestran resultados positivos para tratar aguas contaminadas producto de actividades mineras. Este sistema optimiza los mismos procesos que se encuentran en humedales naturales: filtración, sedimentación, inmovilización física y química, y descomposición química y biológica. Este sistema proporciona a un método efectivo y de bajo costo que remueve contaminantes del drenaje ácido de la mina

En muchos casos los tratamientos de agua contaminada en humedales construidos no logran alcanzar el estándar de efluentes (LMP), por lo que se usa este sistema para disminuir concentraciones de contaminantes de minas activas, reclamadas y abandonadas antes de que el agua sea liberada.

En ese sentido el presente proyecto de investigación pretende determinar y evaluar la capacidad de remoción de O₂ humedales artificiales, utilizando dos especies vegetales fácilmente adaptables en la zona de estudio, En cuanto a la especie vegetal, se seleccionó debido a su relativa resistencia a diversas concentraciones de metales y acides, según diversos antecedentes de estudios realizados con las especies mencionadas.

INDICE

| | |
|----------------|--|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTO | |
| RESUMEN | |
| ABSTRACT | |
| INTRODUCCIÓN | |
| INDICE | |

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

| | |
|---|---|
| 1.1. Identificación y determinación del problema..... | 1 |
| 1.2. Delimitación de la investigación..... | 3 |
| 1.2.1. Delimitación Espacial..... | 3 |
| 1.2.2. Delimitación Temporal..... | 3 |
| 1.2.3. Delimitación del Contenido..... | 3 |
| 1.3. Formulación del Problema..... | 3 |
| 1.3.1. Problema General..... | 3 |
| 1.3.2. Problemas Específicos..... | 3 |
| 1.4. Formulación de Objetivos..... | 4 |
| 1.4.1. Objetivo General..... | 4 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.5. Justificación de la investigación..... | 4 |
| 1.5.1. Teórico..... | 4 |
| 1.5.2. Metodológico..... | 5 |
| 1.5.3. Practico..... | 5 |
| 1.6. Limitaciones de la investigación..... | 5 |

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| 2.1. Antecedentes de Estudio..... | 6 |
| 2.1.1. Antecedentes Internacionales..... | 6 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales..... | 9 |
| 2.2. Bases Teóricas - Científicas..... | 12 |
| 2.2.1. Marco legal..... | 12 |
| 2.2.2. Efluentes Mineros en el Medio Ambiente..... | 13 |
| 2.2.3. Tratamiento de efluentes mineros..... | 17 |

| | |
|--|----|
| 2.2.4. Humedales naturales y artificiales..... | 18 |
| 2.2.5. Los humedales artificiales o contruidos..... | 18 |
| 2.2.6. Componentes del humedal..... | 22 |
| 2.2.7. Mecanismos de remoción de contaminantes..... | 26 |
| 2.2.8. Aspectos importantes para la construcción de humedales..... | 30 |
| 2.3. Definición de términos básicos..... | 32 |
| 2.4. Formulación de hipótesis..... | 34 |
| 2.4.1. Hipótesis general..... | 34 |
| 2.4.2. Hipótesis específicas..... | 34 |
| 2.5. Identificación de las variables..... | 34 |
| 2.5.1. Variable independiente..... | 34 |
| 2.5.2. Variable dependiente..... | 34 |
| 2.6. Definición operacional de variables e indicadores..... | 34 |

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN

| | |
|--|----|
| 3.1. Tipo de Investigación..... | 36 |
| 3.2. Nivel de investigación..... | 37 |
| 3.3. Métodos de la investigación..... | 37 |
| 3.4. Diseño de investigación..... | 38 |
| 3.5. Población y Muestra..... | 38 |
| 3.5.1. Población..... | 38 |
| 3.5.2. Muestra..... | 39 |
| 3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos..... | 39 |
| 3.6.1. Técnicas..... | 39 |
| 3.6.2. Instrumentos..... | 40 |
| 3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación..... | 41 |
| 3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos..... | 41 |
| 3.9. Tratamiento estadístico..... | 41 |
| 3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica..... | 42 |

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

| | |
|---|----|
| 4.1. Descripción del trabajo de campo..... | 43 |
| 4.1.1. Ubicación de la zona de estudio experimental..... | 43 |
| 4.1.2. Ubicación del punto de muestreo del efluente, especies a utilizar y sustratos..... | 44 |
| 4.1.3. Pre-Operación..... | 47 |
| 4.1.4. Operación y monitoreo..... | 50 |

| | |
|---|----|
| 4.1.5. Determinación de la eficiencia de remoción de cada humedal artificial..... | 54 |
| 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados..... | 55 |
| 4.2.1. Evaluación de crecimiento de las especies vegetales | 55 |
| 4.2.2. Caracterización del efluente de mina..... | 57 |
| 4.2.3. Caracterización del agua residual o efluente tratado | 58 |
| 4.2.4. Eficiencia de remoción de ambos humedales | 59 |
| 4.2.5. Parámetros físicos..... | 59 |
| 4.2.6. Parámetros inorgánicos | 61 |
| 4.3. Prueba de Hipótesis..... | 73 |
| 4.4. Discusión de Resultados..... | 74 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

INDICE DE CUADROS

| | | |
|----------------------|--|-----------|
| CUADRO N° 1. | Mecanismos de eliminación de contaminantes en los humedales construidos. | 27 |
| CUADRO N° 2. | Mecanismos e interacción entre los componentes del humedal y el proceso de eliminación de contaminantes..... | 27 |
| CUADRO N° 3. | Comparación de mecanismo remoción del humedal superficial y subsuperficial ... | 29 |
| CUADRO N° 4. | Operación de las variables | 34 |
| CUADRO N° 5. | Datos geográficos del distrito de Morococha | 44 |
| CUADRO N° 6. | Cuadro resumen de los puntos de muestreo y parámetros | 51 |
| CUADRO N° 7. | Fechas de monitoreo..... | 54 |
| CUADRO N° 8. | Reporte de medición de crecimiento de las especies vegetales. | 55 |
| CUADRO N° 9. | Resumen de caracterización del efluente de mina | 57 |
| CUADRO N° 10. | Resumen de valores de parámetros del efluente de los humedales de ambas especies vegetales. | 58 |
| CUADRO N° 11. | Resumen de valores de porcentaje de remoción del efluente de los humedales de ambas especies vegetales. | 59 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|-------------------------|---|----|
| ILUSTRACIÓN° 1. | Modelo de humedales artificiales superficial | 20 |
| ILUSTRACIÓN° 2. | Humedal de flujo superficial (blanco rubio, 2014) | 21 |
| ILUSTRACIÓN° 3. | Modelo de humedales subsuperficial | 22 |
| ILUSTRACIÓN° 4. | Humedales de flujo subsuperficial (blanco rubio, 2014) | 22 |
| ILUSTRACIÓN° 5. | Aguas residuales de diferentes actividades | 23 |
| ILUSTRACIÓN° 6. | Sustratos para un humedal artificial | 24 |
| ILUSTRACIÓN° 7. | Especies vegetales de un humedal artificial | 25 |
| ILUSTRACIÓN° 8. | Componentes de un humedal artificial..... | 26 |
| ILUSTRACIÓN° 9. | Mecanismos de remoción en un humedal artificial..... | 30 |
| ILUSTRACIÓN° 10. | Dibujo esquemático del mecanismo de depuración en un humedal artificial. imagen de salas y otros (2007). | 30 |
| ILUSTRACIÓN° 11. | Recolección de la especie scirpus californicus (totora)..... | 45 |
| ILUSTRACIÓN° 12. | Recolección del (ichu o paja brava) | 46 |
| ILUSTRACIÓN° 13. | Recolección de los sustratos | 47 |
| ILUSTRACIÓN° 14. | Armado de concreto de las estructuras de ambos humedales..... | 47 |
| ILUSTRACIÓN° 15. | Instalación de sistema de entrada y salida de ambos humedales..... | 48 |
| ILUSTRACIÓN° 16. | Dispositivos de ingreso de agua para cada humedal - tuberías ranuradas..... | 48 |
| ILUSTRACIÓN° 17. | Dispositivos de ingreso de agua para cada humedal - tuberías ranuradas..... | 49 |
| ILUSTRACIÓN° 18. | Distribución de los sustratos en ambos humedales. | 49 |
| ILUSTRACIÓN° 19. | Trasplante de las especies vegetales en ambos humedales | 50 |
| ILUSTRACIÓN° 20. | Medición de parámetros de campo- multiparámetro hanna | 50 |
| ILUSTRACIÓN° 21. | Muestreo de aguas tratadas por ambos humedales - diciembre | 52 |
| ILUSTRACIÓN° 22. | Muestreo de aguas tratadas por ambos humedales - febrero..... | 52 |
| ILUSTRACIÓN° 23. | Muestreo de metales totales y metales disueltos. | 53 |
| ILUSTRACIÓN° 24. | Fascos de las muestras en el respectivo cooler para su conservación | 53 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|-----------------------|--|----|
| GRÁFICO N° 1. | Análisis de crecimiento de las plantas | 56 |
| GRÁFICO N° 2. | Valores de temperatura registrados al inicio y final del proyecto de investigación . | 60 |
| GRÁFICO N° 3. | Valores de ph del efluente de mina y de ambos humedales..... | 61 |
| GRÁFICO N° 4. | Análisis de resultados de arsénico total del efluente y de ambos humedales | 62 |
| GRÁFICO N° 5. | Valores de remoción de arsénico total (%) de ambos humedales | 63 |
| GRÁFICO N° 6. | Valores de cadmio total (mg/l) del efluente de mina y de ambos humedales | 64 |
| GRÁFICO N° 7. | Valores de remoción de cadmio total (%) de ambos humedales | 65 |
| GRÁFICO N° 8. | Valores de cobre total (mg/l) del efluente y de los efluentes de ambos humedales. | 66 |
| GRÁFICO N° 9. | Valores de remoción de cobre total (%) de ambos humedales | 67 |
| GRÁFICO N° 10. | Valores de hierro disuelto del efluente y de los efluentes de ambos humedales..... | 68 |
| GRÁFICO N° 11. | Valores de remoción de hierro disuelto (%) de ambos humedales | 69 |
| GRÁFICO N° 12. | Valores de plomo total (mg/l) del efluente de mina y de ambos humedales..... | 70 |
| GRÁFICO N° 13. | Valores de remoción de plomo total (%) de ambos humedales..... | 71 |
| GRÁFICO N° 14. | Valores de zinc total (mg/l) del efluente de mina y de ambos humedales..... | 72 |
| GRÁFICO N° 15. | Valores de remoción de zinc total (%) de ambos humedales | 73 |

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

El Distrito Minero de Morococha, desde sus inicios tenía una riqueza minera excepcional que le permitía explotar mineral de alta ley, se remonta por lo menos los inicios del siglo XVIII, cuando habría comenzado la actividad minera en una escala importante siendo a inicios un “caserío” de Morococha. Actualmente dentro de su jurisdicción se encuentran laborando las Empresas Mineras: Minera Chinalco S.A, Sociedad anónima Austria Duvaz S.A y Cía. Minera Argentum S.A, quienes generan residuos líquidos y sólidos producto a la actividad minera.

Producto de la extracción del mineral y de las operaciones mineras los impactos ambientales que presentan gran significancia tales como perdidas de suelo, modificación de la red de drenaje, alteración de calidad de agua, aire, suelo, sedimentos, flora y fauna, modificación del caudal de las cuencas aledañas, alteración del nivel freático, alteración del paisaje, entre otros.

En Morococha, uno de los componentes de mayor impacto, ha sido y viene siendo el agua producto de actividad mineras, que se caracterizan por alta acidez y

alta concentración de metales pesados, ya que es necesario realizar el tratamiento de aguas y los sistemas convencionales, suelen acarrear elevados costos de operación y mantenimiento, se tiende a buscar alternativas que siendo igualmente eficaces supongan un menor costo. Especialmente desde la última década del siglo pasado se ha venido estudiando con gran intensidad la posibilidad de utilización de tratamientos pasivos aplicados al agua de mina; como el tratamiento mediante humedales artificiales utilizando plantas con la capacidad de tolerar y absorber los metales y la acidez de estas aguas, el objetivo del presente trabajo es la evaluación de las posibilidades que este tipo de tratamiento ofrecen para la remoción de los metales Totales como: cobre total ,plomo total, zinc total , cadmio total, Arsénico total y Hierro disuelto, presentes en los efluentes de la actividad minera del entorno de Morococha.

En este estudio se pretende someter a evaluación dos plantas alto andinas: La *Festuca dolichophylla* (Ichu o Paja Brava) y *Scirpus californicus* (Totora), que si bien estas plantas se encuentran en el entorno y a disposición de ser fácilmente utilizadas:

- *Festuca dolichophylla*: Especie endémica del Perú, pertenece a la Familia poaceaees la misma del stypa Ichu. Es un pasto que crece en la altura, el cual sirve como alimento de animales de pastoreo. Al estar en zonas altoandinas también está sometida a climas extremos y suelos con cargas metálicas altas lo cual hace que sea un buen candidato para el estudio a realizar.

- *Scirpus californicus*: Conocida comúnmente como Totora, es una planta que crece de manera silvestre, desde la costa hasta la sierra. Esta planta ha sido utilizada como fitorremediadoras en sistemas de tratamiento de aguas contaminadas

con metales pesados, como también ha sido objeto de estudio por la capacidad que posee para absorber metales pesados.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación Espacial

El área donde se realizó la investigación fue en Nueva Morococha, Yauli, Junín.

1.2.2. Delimitación Temporal

La investigación se realizó durante un periodo de 6 meses.

1.2.3. Delimitación del Contenido

El tema de investigación realizado corresponde a la remoción de metales pesados en efluentes mineros a través de los humedales artificiales empleando *Scirpus californicus* y *Festuca dolichophylla* en el distrito de Morococha, Yauli, Junín.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿Cuál es la eficiencia de remoción de metales pesados en efluentes mineros a través de los humedales artificiales empleando *Scirpus californicus* y *Festuca dolichophylla* en el distrito de Morococha, Yauli, Junín?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cuánto es el crecimiento de las plantas *Scirpus californicus* y *Festuca dolichophylla* en el proceso de humedales artificiales empleando efluentes mineros?
- ¿Cuál es la concentración de los metales en función del tiempo (antes y después), en un proceso de humedales artificiales empleando *Scirpus californicus* y *Festuca dolichophylla*?

- ¿Cuál es la eficiencia de remoción de los humedales artificiales empleando *Scirpus californicus* y *Festuca dolichophylla*?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de remoción de metales pesados en efluentes mineros a través de los humedales artificiales empleando *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla*, en el distrito de Morococha, Yauli, Junín.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el crecimiento de las plantas *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla*, en un entorno de humedales artificiales empleando efluentes mineros.
- Evaluar la concentración de los metales en función del tiempo (antes y después), en un proceso de humedales artificiales empleando *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla*.
- Comparar y evaluar la eficiencia de remoción de ambos humedales artificiales empleando *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla*.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Teórico

Mediante la evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando *Scirpus Californicus* (totora) y *Festuca Dolichophylla* (Ichu), Se permitirá actualizar saberes, lograr nuevos conocimientos, teórico-prácticos, acerca de posibles alternativas de tratamientos de efluentes líquidos mineros, bajos las características geográficas, climatológicas similares al del Distrito de Morococha.

1.5.2. Metodológico

El método para la remoción de metales presentes en los efluentes mineros es la aplicación de humedales artificiales, siendo este método considerado como una alternativa eficiente debido al bajo costo de implementación y mantenimiento, además de otros múltiples beneficios que ofrece, entre ellos y unos de los más relevantes, es que no produce ningún tipo de impacto visual que desentone con el concepto del lugar y no genera residuos que impliquen algún impacto negativo para el medio ambiente ni para la salud humana.

1.5.3. Practico

El resultado de investigación servirá como alternativa para futuros tratamientos de efluentes mineros, empleando especies de la zona altoandinas, con capacidad de adaptación y remoción de metales pesados. Siendo un tratamiento económico y sostenible y ambientalmente amigable.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación tiene ciertas limitaciones como el de no encontrar antecedentes realizados dentro del distrito de Morococha o en lugares con características y condiciones similares como: efluentes (pH, conductividad, concentración de metales), factores climáticos, edafológicos, adaptación de especies, Otras de la limitaciones fue el de no contar con equipos necesarios para la medición de los parámetros de campo como son : PH, Temperatura, Conductividad, y el costo que conlleva el análisis de los parámetros inorgánicos (Metales totales y disueltos).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Mónica Miranda Ríos, Víctor M. Luna Cabello, (2001) Estado del arte y perspectivas de aplicación de los humedales artificiales de flujo horizontal en México. (Miranda Rios & Luna M, 2001)

Teniendo como objetivo recabar información sobre la aplicación de humedales artificiales, así proyectar los posibles usos de los humedales artificiales en la depuración de aguas contaminadas, describir y comparar el sistema de tratamiento de humedales artificiales con otros tratamientos. Donde se recabo diversas fuentes información como textos impresos y medios electrónicos, donde se encontró las bases del desarrollo histórico de los humedales naturales y artificiales, desde culturas tan antiguas como los egipcios y aztecas hasta estudios aplicados y experimentales que se realizó con el pasar de los tiempos, buscando la manera de mejorar y optimizar este tipo de eco tecnología, se realizó diversas metodologías, usando diversas tipos de humedales, plantas, sustratos, contaminantes, entre otros

condiciones. Llegando a la conclusión que a partir de los estudios realizados por la Dra. Kathe Seidel hace más de 30 años este tipo de tratamiento ha sido estudiado para optimizar y diversificar su aplicación. En la actualidad este tipo de tecnología se ha establecido de manera significativa en Europa y Estados Unidos, Como también en países latinoamericanos y africanos se está adoptando de manera lenta, se observó que, a pesar de la aparente simplicidad estructural y funcional de los humedales artificiales, el entendimiento de su funcionamiento real resulta difícil, dado lo complejo de los fenómenos involucrados en el proceso depurativo que en ellos se realiza. La recopilación bibliográfica de la información obtenida sobre el desarrollo histórico de los humedales artificiales en el país dio como resultado observar que a más de 10 años de que se construyó el primer sistema, esta ecotecnología no se ha implantado, y no se ha dado la importancia necesaria a la publicación de información sobre estos sistemas y que la información proporcionada es difusa deficiente.

Oscar delgadillo, Alan Camacho, Luis F. Pérez, Mauricio Andrade, (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia. (Delgadillo, Camacho, Fernando Perez, & Andrade, 2010)

Con el objetivo de dar a conocer los resultados de la experiencia del proyecto de investigación humedal “zonas húmedas construidas para la depuración de aguas residuales”, que durante 3 años un grupo de docentes investigadores de la universidad de Barcelona y de la Universidad Mayor de San Simón, realizo, debido a lo escaso de agua que se observó en la zona. En la investigación se realizó la construcción de un humedal en una planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Punata, Posteriormente se construyó otros dos humedales en la comunidad de Thago y en los predios de la universidad Mayor San Simón,

complementándose con capacitaciones a organizaciones y agricultores locales, quienes eran los que se quedarían a cargo, Para la aplicación de este proyecto se utilizó la planta Fitodepuradora: la totora (*Scirpus californicus*), que fue traída del lago Titicaca, se realizó un muestreo en cada estación del año , llegando a la conclusión de que los humedales artificiales, independientemente de la especie utilizada, tienen en general baja eficiencia en la remoción de nutrientes (sobre todo en humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal), pero una alta eficiencia de remoción de DBO y DQO, así como en la fijación de metales pesados y moderada a alta eficiencia en la eliminación de Coliformes fecales. Que la adaptación de la totora es relativamente alta ya que son plantas que toleran un amplio rango de PH, y otras condiciones.

Nathalia Hernández Puerta, Juan Sebastián Luna Galvis. (2016). Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal las Tinguas, en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Bogotá. (Hernández Puerta & Luna Galvis, 2016)

Con el objetivo de evaluar la capacidad remoción de contaminantes a partir del empleo de las plantas: *Typha latifolia* (Enea), *Schoenoplectus californicus* (Junco) y *Limnobium laevigatum* (Buchón), a través del montaje de un humedal artificial a escala laboratorio. Se realizó la selección de tres especies de plantas que teóricamente presentan mayor capacidad y eficiencia en fitorremediación, Se realizaron seguimientos semanales durante 2 meses, del agua residual, los parámetros fisicoquímicos que midieron fueron: Hierro total, Nitrógeno amoniacal, Así como también los parámetros de campo: PH y conductividad, Se realizó también el análisis de las plantas, con el fin de evaluar la capacidad acumulación del contaminante en la raíz. A partir de los resultados experimentales obtenidos, se

determinará recomendaciones para un humedal a escala local. Se llegó a la conclusión que el sistema integrado por las especies vegetales Enea, Buchón y Junco, sirvió para la remoción de 93,03% de Nitrógeno amoniacal y de 75,17% de hierro total.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Elfri Ruth Inga Blancas. (2011). Tratamiento de efluentes por el método de pantanos artificiales (Wetland). Perú. (Inga Blancas, 2011)

Con el objetivo de este proyecto de investigación es la aplicación humedales artificiales para disminuir los impactos ambientales de los efluentes como parte de su cierre progresivo de mina y cumplir con los límites máximos permisibles (LMP) de la quebrada Desaguadero, el estudio se centra en la mina Comarsa , donde se propone diferentes alternativas para mejorar la calidad de las aguas acidas, producto de las filtraciones de los depósitos de desmontes en los botaderos y causando impacto a las aguas del rio Ucumal, el desmonte se encuentra en etapa de cierre progresivo. Para las pruebas experimentales para la neutralización de aguas acidas se utilizaron substratos como, caliza, aserrín, tierra negra, guano y compost, los cuales se colocó en cada celda en forma serpentin (humedal artificial), tras los resultados de los análisis de las pruebas experimentales, se diseñó y construyó las instalaciones del sistema de tratamiento (pantano artificial). Llegando a la conclusión de que el uso de los pantanos artificiales es de bajo costo y ambientalmente una firme alternativa, para el tratamiento de aguas acidas, se obtuvo como resultado que el proceso de las celdas anaeróbicas, remueven eficientemente el contenido de metales pesados presentes en el drenaje acido, para ello es importante la elección de las plantas, ya que el agua se tiene que tener en cuenta las condiciones agresivas a las que son sometidas.

Diaz Hoyos Ludwig Manuel, Peralta Rodríguez Lizette Rossana. (2017). Estudio comparativo de la capacidad de acumulación para cadmio y plomo de *Scirpus californicus* (tatora) y *Stipa Ichu* (Ichu) bajo condiciones hidropónicas. Arequipa. (Diaz Hoyos & Peralta Rodríguez , 2017)

El presente estudio tiene el objetivo de realizar un estudio comparativo de la capacidad de acumulación de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en *Scirpus californicus* (Tatora) y *Stipa Ichu* (Ichu) bajo condiciones hidropónicas. En la investigación se recolecto las especies mencionadas de su medio natural, y se sometió al contacto de agua con diferentes concentraciones (20,50,80 ppm) de plomo y cadmio, para lo cual se instaló y acondiciono de un invernadero para el desarrollo del sistema hidropónico, se realizó la distribución en bandejas con las especies y una concentración diferente de plomo y cadmio, se realizó el seguimiento por un tiempo de dos meses, se realizaron análisis de las raíces, hojas y tallos de las especies mencionadas , llegando a la conclusión que los metales a los que estuvieron expuestos las plantas causaron un deterioro progresivo tanto en los tallos y raíces, se obtuvo una mejor absorción en las raíces, la tatora tuvo mayor adaptación en un medio hidropónico, un buen crecimiento , y mayor acumulación de metales pesados, redujo la concentración presente en el medio de cultivo hidropónico; por otra parte el Ichu no presentó características de buen crecimiento en el medio de cultivo hidropónico y presenta muy baja acumulación de metales pesados.

José Luis Paredes Salazar, (2015). Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando *Eichhornia crassipes* - Jacinto de agua. Lima (Paredes Salazar, 2015)

Esta investigación tiene por objetivo optimizar la fitorremediación de mercurio (II) en solución acuosa utilizando *E. crassipes*, elevar el nivel de pH y

determinar el porcentaje de remoción del metal en función del tiempo. Para la realización de esta investigación se recolecto los jacintos de agua y se colocó a diferentes concentraciones de nitrato de potasio KNO₃ (aplicación de nutrientes), de la misma manera se preparó el agua contaminada que consistió en soluciones de cloruro de mercurio II (HgCl₂) a concentraciones de 1.3. 5 ppm de mercurio, preparación de medio ácido y básico, a fin de determinar el PH óptimo para el crecimiento del Jacinto de agua, se colocó 01 planta de Jacinto de agua para los distintos medio de PH, y concentración de mercurio, se realizó la cuantificación de la remoción de mercurio en cada tratamiento mediante el método de colorímetro de ditizona, del cual se llegó a la conclusión que la especie *Eichhornia crassipes* tiene la capacidad de amortiguamiento de PH, tanto en sistemas básico y ácidos.

Yelhsin Miguel Gómez Lordan, (2017). Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas servidas. Lima. (Gómez Lordan, 2017)

Esta investigación tiene el objetivo de evaluar la eficiencia de los humedales artificiales verticales utilizando las especies vegetales de macrófitas *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas residuales, las cuales están instaladas en el área de CEMTRAR, Universidad Nacional Agraria La Molina. Esta investigación duro un periodo de tiempo de 10 meses donde se desarrolló tres etapas: Pre-operación, operación y evaluación y mantenimiento del sistema. En estas etapas se desarrollaron las siguientes el acondicionamiento de los humedales artificiales , sembrío de las micrófitos con una distancia de 1 m entre planta y planta, al cabo de 30 días de adaptación se realizó la evaluación del desarrollo de las plantas , y la determinación de los parámetros como caudal, carga

orgánica, carga hidráulica, tiempo de retención y superficie específica y parámetros de campo (Temperatura, pH, conductividad Oxígeno disuelto) , Parámetros de Laboratorio (Sólidos suspendidos, sólidos totales , Turbidez, Nitratos y nitritos, Fosforo total, DBO, DQO, Coliformes fecales y totales), la frecuencia de muestreo fue semanal un semanal un periodo de 2 meses intercalados, Junio y Agosto respectivamente , finalmente se determinó la eficiencia de remoción, de acuerdo a los resultados obtenidos a la concentración de contaminante en la entrada y salida del humedal. Llegando a la conclusión que ambas plantas demostraron tener una buena eficiencia de remoción de parámetros fisicoquímicos, tales como Turbiedad (99.4-99.0%), Nitrógeno amoniacal (98-93%), Fósforo total (91- 89%), Demanda bioquímica de oxígeno (98-96%), Demanda química de oxígeno (92-90%); Sólidos suspendidos totales (88-85%) y Coliformes fecales (99-91%); demostrando que las aguas tratadas mediante ambos humedales pueden ser vertidos al cuerpo receptor según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Marco legal

Ley N° 29338, “Ley de Recursos Hídricos” del 31 de marzo de 2009, faculta a la Autoridad máxima del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos velar por la protección del agua.

Artículo 79: vertimiento de agua residual.

La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de

Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP).
Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización (...)

Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades Mineras, aprobado a través del D.S. 016-93-EM modificado por D.S. 059-93-EM.

Artículo 5°.- El titular de la actividad minero-metalúrgica, es responsable por las emisiones, vertimientos y disposición de desechos al medio ambiente que se produzcan como resultado de los procesos efectuados en sus instalaciones. A este efecto es su obligación evitar e impedir que aquellos elementos y/o sustancias que por sus concentraciones y/o prolongada permanencia puedan tener efectos adversos en el medio ambiente, sobrepasen los niveles máximos permisibles establecidos (...)

Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM de fecha 31 de julio de 2008, aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM publicado el 21 de agosto de 2010, aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas.

2.2.2. Efluentes Mineros en el Medio Ambiente.

La minería en todos sus procesos es causante de emitir contaminantes líquidos, gaseosos y sólidos, las cuales pasan directamente al medio ambiente, Esto sucede cuando se vierte directamente los productos líquidos y sólidos producto de las operaciones de la minera / metalúrgica, de las aguas producto de las lixiviados, escombreras, desmonteras, etc.

El impacto causado por la minería puede ser alto si no se aplica una tecnología adecuada, de tal manera prevenir la contaminación provocada por los

efluentes mineros otros contaminantes mineros, si se carecen de un marco regulador que funcione correctamente.

La minería en el Perú y en otros países cumple un rol fundamental en la economía y es gran factor de desarrollo. Ya que la minería aporta más del 60% del total de los ingresos por exportaciones. Sin embargo, es un generador de residuos líquidos y sólidos, los cuales tienden a tener impactos adversos en el medio ambiente, los cuales seguirán afectando al medio ambiente después del cierre de operaciones, ya sea por los relaves, desmontes de mina, ya que pueden contener sulfuros metálicos, los principales generadores de acidez, también en el caso de contener metales en solución como el plomo. (Rimarachin Varas, & Huaranga Moreno, 2015)

El costo de la rehabilitación de los componentes del medio ambiente que fueron impactados puede resultar bastante altos. Un ejemplo es en los Estados Unidos en la mina Summitville en Colorado, en el cual el costo de rehabilitación ascendería los ciento veinte millones de dólares. Otro ejemplo es en Canadá en la gran mina de oro Royal Oak en los territorios del noreste que ocasiono contaminación por arsénico, este costo ascendería los doscientos cincuenta y los mil millones de dólares. En el Perú, las estimaciones para limpiar la contaminación dejada por la empresa Centromin se calcula que son alrededor de los quinientos millones de dólares.

A) Efluentes Líquidos Mineros

Los efluentes mineros líquidos, según el Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos para las actividades minero-metalúrgicas) Artículo 3º, inciso 3.2, lo define así: Efluente

líquido de actividades minero-metalúrgicos: es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

- Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte o cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de aguas o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público) y otros.
- Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, fundición, refinación, lixiviación, electrodeposición y otros.
- Todo sistema de tratamiento de aguas residuales relacionadas con actividades mineras o conexas, incluido plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos.
- Todo depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros.
- Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras.

B) Drenaje Acido de Mina (DAM)

Drenaje ácido de mina es el agua contaminada producto de las actividades mineras, ya sea superficial o subterránea, están se caracterizan por su alta acidez, alto contenido de sulfato y niveles elevados de metales pesados, principalmente hierro, manganeso y aluminio, el color rojizo coloreado se debe a la alta cantidad de hierro oxidado. El Drenaje Acido de Mina se refiere al agua contaminada, que contiene altos niveles de cualquier elemento o contaminante que no se encuentre

dentro de los límites reglamentarios y que podría ocasionar un impacto ambiental adverso. (HUIZA MATAMOROS & RELLANA ORELLANA, 2015, pág. 27)

C) Aguas generadas en las actividades mineras

Se pueden dividir en dos grupos fundamentales, las cuales son las siguientes:

- **Aguas Alcalinas:** Las alcalinas son producto de la solubilización de las aguas superficiales o subterráneas a través de materiales con contenidos de caliza o materiales dolomíticos.
- **Aguas Ácidas:** Las aguas acidas se producen por la oxidación química y biológica de sulfuros metálicos, en su mayoría suelen ser piritita, pirrotita, estos se encuentran en algunos componentes como son: botaderos, relaves, etc.

Las Características de las aguas ácidas son los siguientes:

- Tienen valores de pH menores de 7 y pueden llegar hasta 1.5.
- Suelen tener una acidez elevada y una alcalinidad mínima
- Pueden tener grandes concentraciones de sulfato
- Tienen concentraciones altas de metales (disueltos o totales)
- Tienen concentraciones altas de sólidos disueltos totales.

Fuentes principales de generación de aguas ácidas:

- Botaderos de material estéril (<0,2% Cu).
- Botaderos de sulfuros de baja ley (0,2- 0,4% Cu).
- Relaves y eventuales derrames de concentrados.
- Zonas fracturadas (cráter) en superficies de minas subterráneas.
- Grandes tajos de la minería a cielo abierto.

2.2.3. Tratamiento de efluentes mineros

El tratamiento de efluentes mineros puede ser realizado por diferentes métodos ya sea físico, químicos y biológicos; uno de los procesos más aplicados en la industria minera es de neutralización – precipitación.

A) Sistemas de tratamiento activo

Este sistema neutraliza el efluente proveniente de mina y de sus operaciones, el proceso se realiza mediante la adición de un álcali; ya sea cal, soda caustica, caliza, carbonato de sodio, coagulantes inorgánicos y floculantes orgánicos, mediante el cual se logra obtener un agua tratada que cumple con los estándares de la legislación nacional. Este tratamiento requiere de la participación de fuentes de energía artificiales y/o activos (bio) químicos.

Uno de los métodos con mayor aceptación y más común es la Neutralización/Precipitación con cal. Este método neutraliza la acidez; logra precipitar los metales con contenido de SO_4 y la Cal se transforma de CaO o $Ca(OH)_2$ en $CaSO_4$.

B) Sistemas de tratamiento pasivo

Este sistema de tratamiento ha tenido buenos rendimientos en la eliminación metales pesados y en la neutralización del pH, según las investigaciones realizadas los últimos años. Estos métodos requieren poco mantenimiento y conllevan un bajo costo, que puede ser asumido durante mucho tiempo una vez clausurada las instalaciones de la empresa minera. Los métodos de tratamiento pasivo constan de procesos físicos, químicos y biológicos similares a los que tienen los humedales naturales, en el cual se modifican de manera favorable ciertas características de las aguas contaminadas, consiguiendo la eliminación de metales y otras sustancias, además de la neutralización del pH. Se pueden clasificar en tres grupos: tratamientos

para flujos superficiales, tratamientos de aguas de mina de flujos subterráneos y tratamientos de lagos mineros ácidos. (Botrán Morillo, 2015, pág. 19)

2.2.4. Humedales naturales y artificiales

Los humedales son sistemas con un elevado grado de humedad y una abundante vegetación, estos reúnen ciertas características biológicas, físicas y químicas, las cuales hacen que este sistema sea un sistema con un elevado potencial autodepurador. Los humedales naturales son sistemas complejos que cuenta con un mosaico de lámina de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático.

2.2.5. Los humedales artificiales o construidos

Son sistemas que son diseñados y construidos por el hombre con la finalidad de tratar aguas residuales o aguas contaminadas, mediante este proceso se aumentan la capacidad depuradora o eficiencia de tratamiento mediante la optimización de los procesos físicos, químicos y biológicos (producción de biomasa) que ocurre en los ecosistemas de humedales naturales.

Los sistemas de humedales artificiales son complejos e integrados en los que el agua las plantas animales, microorganismos y ambiente (sol, aire, y suelo) interactúan para tratar aguas contaminadas, aguas provenientes de mina, dentro del cual normalmente ocurren procesos físicos, químicos y biológicos, procesos naturales al interactuar agua, suelo plantas microorganismos y atmosfera, estos procesos son:

Físicos: sedimentación, filtración, transferencia de gases, adsorción, intercambio iónico

- Químicos: Precipitación química, oxido –reducción

- Biológicos: Descomposición biológica, fotosíntesis, fotooxidación y asimilación de compuestos por parte de las plantas.

Según (Delgadillo, Camacho, Fernando Perez, & Andrade, 2010, pág. 7) Los humedales artificiales se han utilizado para tratar una gran variedad de agua residuales:

- Aguas domésticas y urbanas.
- Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.
- Aguas de drenaje de procesos mineros.
- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.
- Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan.

El método de funcionamiento del sistema de humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica que se da lugar por la presencia de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte (sustrato), que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. Estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos.

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos

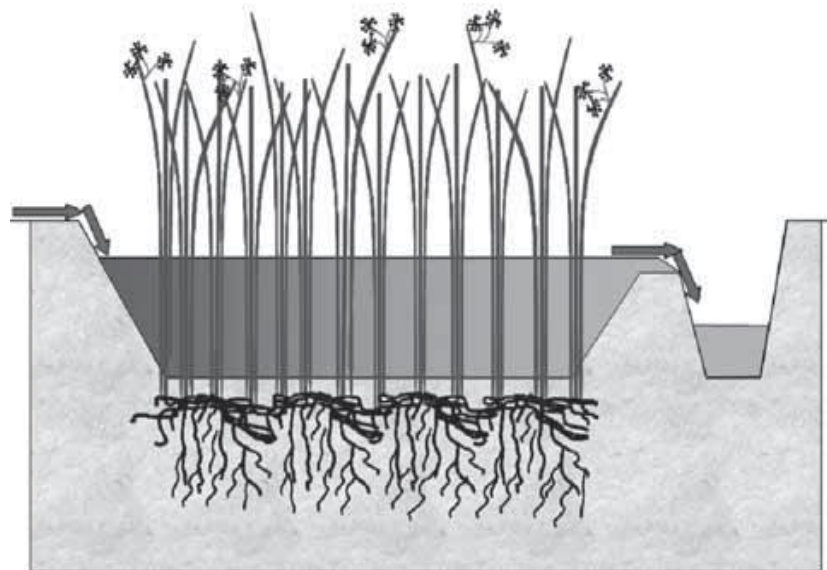
por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento ((Lara Borreno, 1999)

Tipos de Humedales artificiales

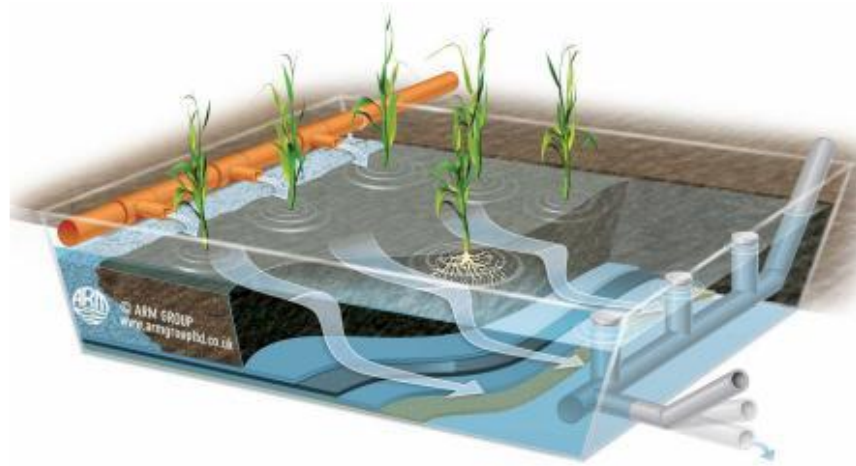
a) Humedales artificiales de flujo superficial

En los humedales artificiales de flujo superficial el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula a través de los tallos y hojas de las especies vegetales. Estos tipos de humedales es como una modificación del lagunaje natural que tiene una lámina de agua con una profundidad entre 0,3 y 0,4 m, y plantas. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora. (Angélica Corzo Hernández, Joan García Serrano, 2008, pág. 11)

Es un sistema recomendable desde el punto de vista paisajístico, ya que alberga distintas especies de peces, anfibios, aves, etcétera. Se pueden construir en lugares turísticos y en sitios de estudio de diferentes disciplinas por las complejas interacciones biológicas que se generan.



ILUSTRACIÓN° 1. Modelo de humedales artificiales superficial

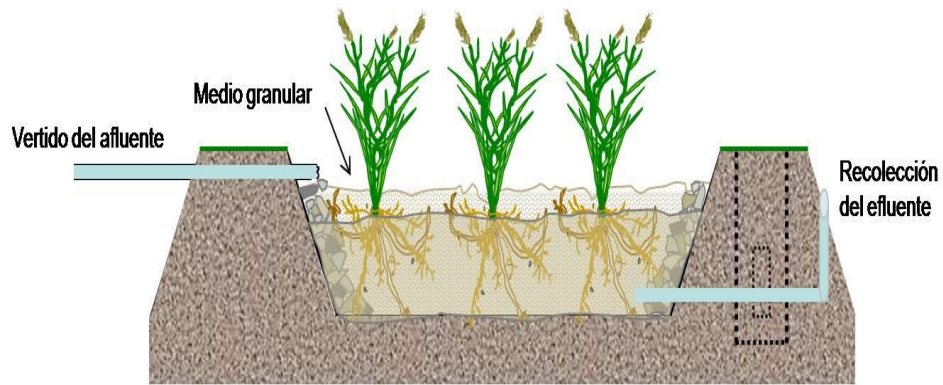


ILUSTRACIÓN° 2. Humedal de flujo superficial (Blanco Rubio, 2014)

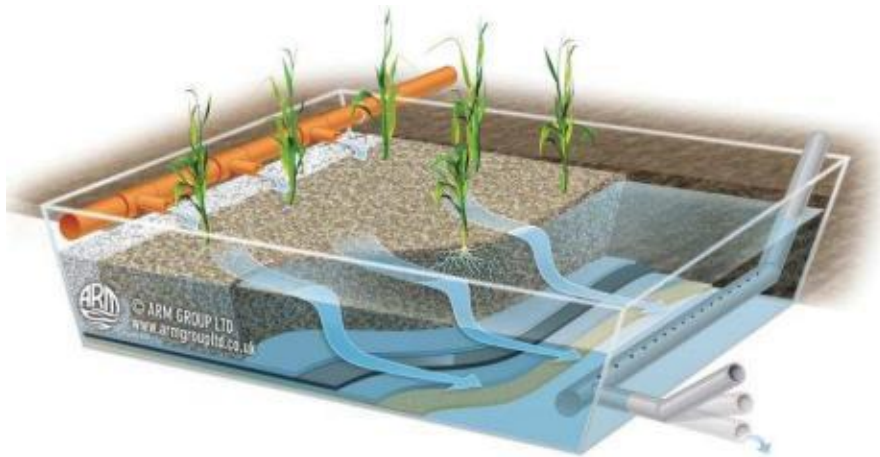
b) Humedales de flujo subsuperficial

En los humedales de flujo subsuperficial la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular (sustrato) este flujo tiene contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. Este tipo de humedal se emplea con mayor incidencia como tratamiento secundario para menores cantidades de agua.

Los sistemas de flujo subsuperficial son diferentes con respecto a los superficiales en que estos tienen mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica), y menor utilidad para proyectos de restauración ambiental debido a la falta de lámina de agua accesible.



ILUSTRACIÓN° 3. Modelo de humedales subsuperficial



ILUSTRACIÓN° 4. Humedales de flujo subsuperficial (Blanco Rubio, 2014)

2.2.6. Componentes del humedal

Los humedales artificiales constan de 4 elementos: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos. Otros componentes importantes de los humedales, son las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos, que se desarrollan naturalmente en el humedal.

a) Agua residual

Las aguas residuales son todo tipo de agua cuya calidad se ve negativamente impactada. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados.



ILUSTRACIÓN° 5. Aguas residuales de diferentes actividades

b) Sustrato (medio granular)

El sustrato (medio granular) está formado por el suelo de diferentes granulometrías los cuales pueden ser: arena, grava, gravillas, rocas, sedimentos y restos de vegetación. El sustrato es necesario ya que es el medio que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él.

El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales tienen las siguientes ventajas:

- Es un medio donde viven gran variedad de organismos.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- Proporciona almacenamiento y remueven muchos contaminantes.

Mediante la acumulación de restos de vegetación se aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal (Lara Borreno, 1999)

El medio es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacciones físicas y químicas. De una forma indirecta, el sustrato contribuye a la eliminación de contaminantes ya que es el soporte para el crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora (biopelículas).



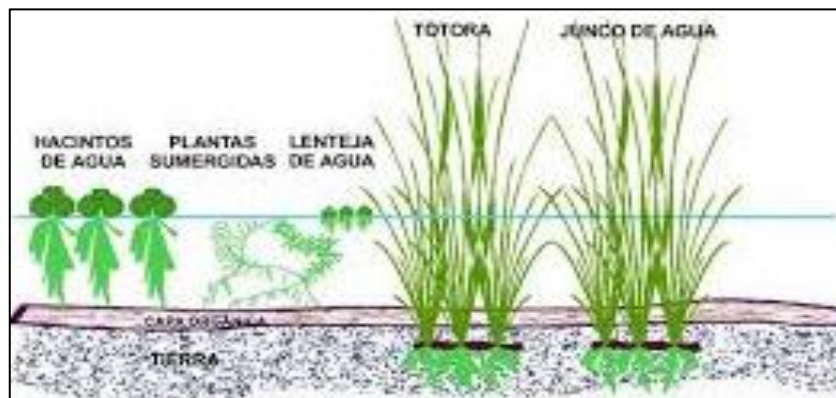
ILUSTRACIÓN° 6. Sustratos para un humedal artificial

c) Vegetación

La función de la vegetación dentro de los humedales es fundamental, ya que las plantas son organismos foto autótrofos, captan energía solar para luego transformarla el carbono inorgánico en carbono orgánico, las plantas cumplen la función de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta las raíces y rizomas. Donde el oxígeno crea regiones aerobias, regiones donde los

microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diferentes reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación. las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y esorrentía de las siguientes maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan que el flujo se canalice.
- Dan lugar a que la velocidad de agua sea baja, permitiendo que los materiales suspendidos se depositen en el sustrato.
- Captura el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y la raíz dan lugar a sitios donde los microorganismos puedan fijarse.



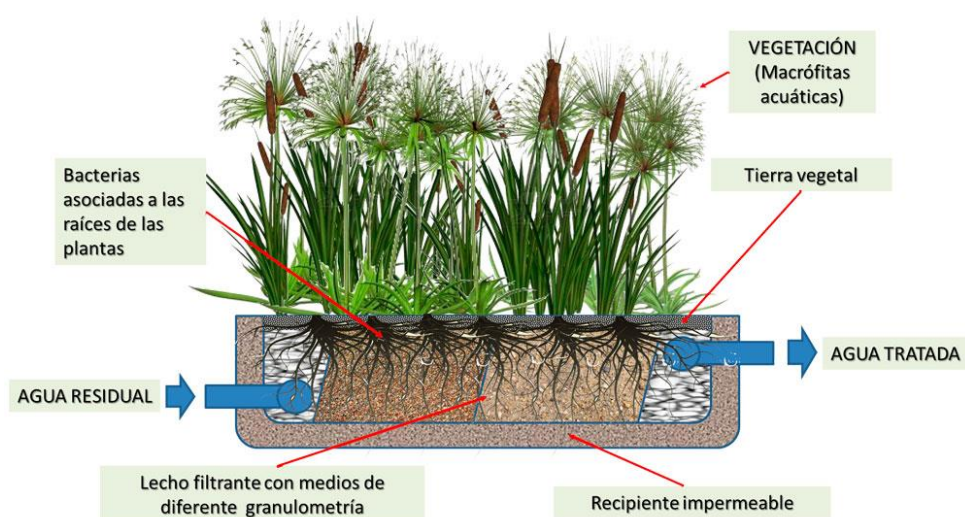
ILUSTRACIÓN° 7.Especies vegetales de un humedal artificial

d) Microorganismos

El papel de los microorganismos es de realizar el tratamiento biológico en el agua residual. En la zona donde existe mayor cantidad de oxígeno proveniente de la atmosfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia

orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Arias Trigueño, 2004)

Los microorganismos más resaltantes presentes en la biopelícula de los humedales son: las levaduras, bacterias, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana que se crea en el humedal consume gran parte del carbono y muchos otros nutrientes. La función principal es de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles, de esa manera alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato. Asimismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera (Lara Borreno, 1999)



ILUSTRACIÓN^o 8. Componentes de un humedal artificial

2.2.7. Mecanismos de remoción de contaminantes

Los mecanismos de depuración que se dan en los sistemas de humedales contruidos para la depuración de aguas residuales son complejos e incluyen procesos químicos, físicos y biológicos (Salgot y Torrens, 2008). En el cuadro N^o 1 se indican los principales mecanismos de eliminación y transformación de los contaminantes en ambos humedales.

CUADRO N° 1. Mecanismos de eliminación de contaminantes en los humedales
construidos.

| CONTAMINANTES | MECANISMO DE ELIMINACION |
|---------------------------------------|--|
| Materia en suspensión | Sedimentación y filtración |
| Materia orgánica biodegradables (DBO) | Degradación microbiana aerobia y anaerobia |
| Nitrógeno | Amonificación seguida por nitrificación Microbiana y desnitrificación. Asimilación por parte de las plantas. Volatilización de amoniaco. |
| Fosforo | Adsorción por parte del lecho. Asimilación por parte de las plantas. |
| Metales | Asimilación por parte de plantas. Intercambio iónico |
| Patógenos | Sedimentación Filtración Muerte natural Irradiación ultravioleta (UV) |

Fuente: (Salgot y Torrens, 2008).

En los sistemas de humedales artificiales la remoción de contaminantes tales como, compuestos orgánicos (DQO, DBO), sólidos suspendidos, nitrógeno, fosforo, metales y microorganismos patógenos, se realiza por una compleja variedad de procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactúan en el suelo, las plantas y el medio acuoso, en la siguiente cuadro resume los mecanismos y se muestra la interacción entre los componentes del humedal y el proceso de eliminación de contaminantes.

CUADRO N° 2. Mecanismos e interacción entre los componentes del humedal y el
proceso de eliminación de contaminantes.

| MECANISMO | CONTAMINANTE AFECTADO | DESCRIPCIÓN |
|------------------|------------------------------|--------------------|
|------------------|------------------------------|--------------------|

| FISICOS | | |
|-------------------|--|--|
| Sedimentación | Solidos sedimentables solidos coloidales DBO, nitrógeno, fosforo, metales pesados, bacterias y virus | Sedimentación por gravedad y constituyentes contaminantes |
| Filtración | Solidos sedimentables Solidos coloidales | Partículas retenidas mecánicamente a medida que pasa el agua por el substrato y masa de raíces. |
| Adsorción | Solidos coloidales | Fuerzas de atracción entre partículas (Van Der Walls) |
| Volatilización | Nitrógeno | Volatilización del NH ₃ de agua residual |
| QUIMICOS | | |
| Precipitación | Fosforo y metales pesados | Formación o co- precipitación con compuestos insolubles. |
| Adsorción | Fosforo metales pesados | Adsorción sobre superficie de substrato y planta. |
| Descomposición | Orgánicos refractarios | Descomposición o alteración de compuestos menos estables por fenómenos como irradiación por luz ultravioleta, oxidación y reducción |
| BIOLOGICOS | | |

| | | |
|------------------------|--|--|
| Metabolismo microbiano | Solidos coloidales. DBO, Nitrógeno, Orgánicos refractarios, metales pesados. | Remoción de solidos coloidales y orgánicos solubles por bacterias suspendidas, bentónicas y adheridas a las plantas. |
|------------------------|--|--|

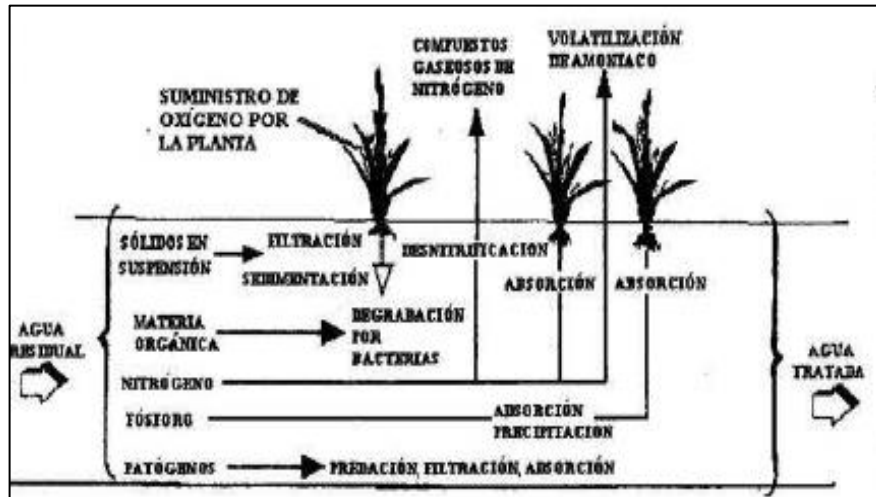
Fuente: (Miranda Rios & Luna M, 2001)

CUADRO N° 3. Comparación de mecanismo de remoción del humedal superficial y subsuperficial

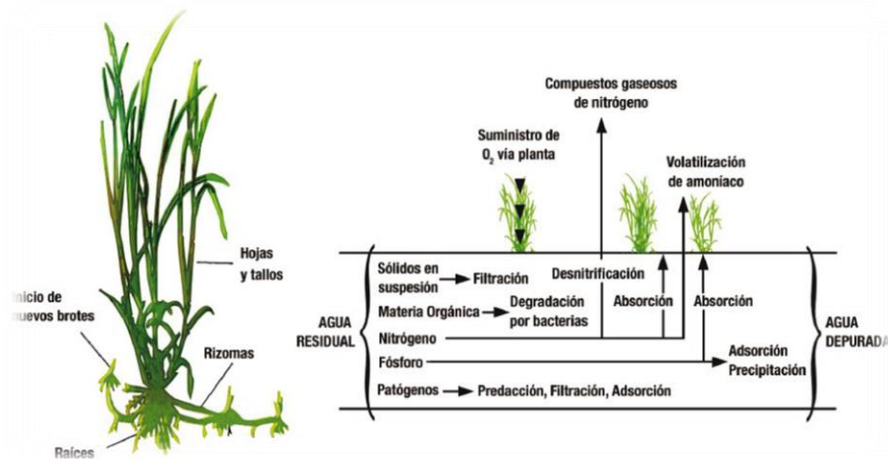
| CONSTITUYENTE | HUMEDAL ARTIFICIAL SUPERFICIAL | HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL |
|-------------------------------------|---|---|
| Compuestos orgánicos biodegradables | Bioconversión por bacterias aerobias, facultativas y anaerobias de DBO soluble, filtración y sedimentación de la DBO particulado. | Bioconversión por bacterias aerobias, anaerobias y facultativas en las plantas y detritos de la superficie. |
| Sólidos Suspendidos totales | Sedimentación, filtración. | Sedimentación, filtración |
| Fósforo | Sedimentación, asimilación vegetal. | Sedimentación, asimilación vegetal. |
| Nitrógeno | Nitrificación/ desnitrificación, asimilación vegetal, Volatilización | Nitrificación/desnitrificación, asimilación vegetal, volatilización. |
| Metales pesados | Adsorción de las plantas y detritos de la superficie, sedimentación. | Adsorción de las plantas y detritos de la superficie, sedimentación. |

| | | |
|-----------------------------|---|----------------------------|
| Componentes orgánicos traza | Volatilización adsorción biodegradación | Adsorción, biodegradación. |
|-----------------------------|---|----------------------------|

Fuente: (Miranda Ríos & Luna M, 2001)



ILUSTRACIÓN° 9. Mecanismos de remoción en un humedal artificial



ILUSTRACIÓN° 10. Dibujo esquemático del mecanismo de depuración en un humedal artificial. Imagen de Salas y otros (2007).

2.2.8. Aspectos importantes para la construcción de humedales

a) Impermeabilización del humedal

En ambos humedales se requirió impermeabilizar la base del humedal, de esa manera evitar que el agua contaminada pueda llegar al subsuelo, o al agua subterránea. Existe diferentes maneras de impermeabilizar el terreno, puede ser de manera natural para lo cual se usó arcilla y otros materiales que encontramos in situ, otra manera es usando capa de bentonita, asfalto o algún tipo de membrana.

b) Topografía del terreno

Para ambos humedales se tuvo en cuenta la topografía del terreno por lo que ambos se construyeron con una ligera pendiente, de tal manera se asegura el flujo del sistema. De igual manera cada sistema de humedal conto con un dispositivo de salida que regule el paso del agua.

c) Selección del material granular

Para la selección del material granular para ambos humedales se optó por agregados de diferentes granulometrías, también se puede utilizar roca triturada y seca, pero es preferible la utilización de piedra lavada o grava.

d) Selección de las especies vegetales

Para la selección de las especies vegetales que se utilizó en ambos humedales, primero se evaluó si estas especies están adaptadas al lugar (Morococho), y a las condiciones propias de la zona de estudio, por lo que se optó por especies locales. Debido a que a siembra por el método de semillas tarda más tiempo y requiere un control estricto del agua, se optó por el trasplante de ambas especies. Especies vegetales típicamente utilizadas

- Carrizo (*Phragmites australis*)
- La espadaña (*Typha spp*)
- Totorá (*Scirpus Californicus*).

- Entre otros

e) Estructuras de entrada y salida

Ambos humedales requieren que el flujo de agua sea uniforme de ese modo alcanzar el rendimiento que se espera. Por lo que es necesario que ambos sistemas cuenten con un sistema de entrada de tuberías de dimensión pequeña o moderado, por lo que se instaló en la entrada tuberías ranuradas tipo flauta, de tal manera la entrada del agua sea de uniforme.

2.3. Definición de términos básicos

- Efluentes: Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua.
- Metales totales: Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan densidad relativamente alta y cierto grado de toxicidad para las plantas y animales. Se pueden distinguir dos subgrupos: el primero comprende aquellos que son necesarios para la vida (Zn y Cu), mientras que el segundo subgrupo lo forman los que no tienen ninguna función biológica conocida, como es el caso del Pb y Cd. Sin embargo, todos tienen en común que en ciertas concentraciones pueden llegar a ser tóxicos para las plantas y animales.
- Metales disueltos: Incluyen todos los iones metálicos cuyo tamaño de partícula sea menor de 0.45 μm (Al, B, Ca, Mg, Ag, Ni, K, Si, Ba, Cd, Cr, Pb, Zn, Mn, Fe, Cu, Hg y As).
- LMP: Es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una

emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente

- **Monitoreo:** Es la determinación continua o periódica de la cantidad de contaminantes, físicos, químicos, biológicos o su combinación en un recurso hídrico.
- **Parámetros de Medición en Campo:** Son parámetros que por su naturaleza cambiante deben ser medidos in situ, los cuales nos permiten hacer un pre diagnóstico de la calidad del agua, estos son: pH, Temperatura, Conductividad, Oxígeno Disuelto, la medición de estos se realiza con el equipo multiparamétrico; también debe ser medido la turbiedad.
- **Adsorción:** La adsorción es un proceso en el cual, por ejemplo, un contaminante soluble (adsorbato) es eliminado del agua mediante el contacto con una superficie sólida (adsorbente)
- **Impermeabilización:** Impermeabilizar o impermeabilización es el sistema de protección y sellamiento de las superficies para que la humedad o agua no se filtre en la superficie donde se aplica la impermeabilización.
- **Remoción de contaminantes:** La eficiencia de remoción de carga contaminante en un sistema de tratamiento de aguas residuales viene dada por: $E = (C_i - C_f) / C_i \times 100$.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Los humedales artificiales removerán los metales pesados presentes en los efluentes mineros empleando *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla* en el distrito de Morococha, Yauli, Junín.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El crecimiento de las plantas de *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla* es óptima.
- La concentración de los metales en función del tiempo (antes y después), en un proceso de humedales artificiales empleando *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla* disminuye y se encuentra dentro del LMP.
- La eficiencia de remoción del humedal artificial empleando *Scirpus Californicus* es menor que empleando *Festuca dolichophylla*.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variable independiente

Humedales artificiales empleando *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla*.

2.5.2. Variable dependiente

Remoción de metales pesados presentes en los efluentes mineros.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

CUADRO N° 4. Operación de las variables

| VARIABLE INDEPENDIENTE: Humedales artificiales empleando <i>Scirpus Californicus</i> y <i>Festuca dolichophylla</i>. | | | |
|---|------------------|-------------------------------|--------------------|
| Dimensión | Indicador | Técnica de recolección | Instrumento |

| | | | |
|--|--|--|--|
| Humedales artificiales | Concentración de metales presentes en el agua tratada con ambas especies vegetales. | Análisis Fisicoquímicos e Inorgánico. | Multiparámetro Hanna |
| | Adaptabilidad y crecimiento de las especies vegetales. | Toma de parámetros de campo. | Análisis de parámetros inorgánicos (metales) por ICP. Fichas de campo |
| VARIABLE DEPENDIENTE: Remoción de metales pesados presentes en los efluentes mineros. | | | |
| Remoción de metales pesados | Eficiencia de remoción de carga contaminante en un sistema de tratamiento de aguas residuales. | Variación de la concentración inicial y final de cada parámetro y cada humedal | Cálculo de la eficiencia de remoción de contaminante que está dada por: $E = (C_i - C_f) / C_i \times 100.$ |

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación que se utilizó en el presente estudio es de tipo Pre experimental de nivel pretest y posttest con un solo grupo. Puesto que se realizó un test previo al tratamiento experimental que es el análisis de calidad de agua del efluente de mina, después se aplicó un estímulo que es la instalación de humedales artificiales con las especies de *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla*, finalmente, se realizó un test posterior al tratamiento experimental que viene a ser el análisis de calidad de agua del efluente de ambos humedales, siendo estas variables no manipulables como los parámetros fisicoquímicas e inorgánicas (metales) de los efluentes ya que estas dependen de una compleja variedad de procesos físicos, químicos y biológicos que ocurre dentro del sistema de humedal artificial. Se observo y analizo el comportamiento del grupo respecto a la variable dependiente (Remoción de metales), con referencia al test realizado antes del tratamiento.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación de la presente tesis viene a ser investigación exploratoria, puesto que este estudio es poco estudiado y tiene por objetivo ayudar a definir el problema y determinar la metodología pertinente para formular un estudio de investigación definitivo en otros estudios futuros.

3.3. Métodos de investigación

Para esta investigación se hizo uso de método analógico, siendo que se basan en la experimentación y se estudian las semejanzas y diferencias, realizando una comparación.

El método consta de:

1. La determinación de la ubicación de la zona de estudio experimental.
2. Ubicación del punto de muestreo del efluente, especies a utilizar y sustratos.
3. PRE-OPERACIÓN: Construcción, instalación y acondicionamiento de los humedales artificiales
4. Armado de las estructuras impermeables de los humedales.
5. Instalación de las conexiones de las Tuberías de entrada / salida.
6. Incorporación de los sustratos (arena, gravas de diferentes granulometrías y caliza)
7. Implantación y trasplante de las especies vegetales en el humedal artificial.
8. Primer riego con aguas del efluente, y homogeneización de la superficie.
9. OPERACIÓN Y MONITOREO de los humedales artificiales en el cual consta del monitoreo periódico de los parámetros de campo (PH, Conductividad, Temperatura, STD), Análisis para metales pesados y disueltos según el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM- límites máximos permisibles para la descarga

de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas, asimismo se tomarán datos de manera periódica del crecimiento de las especies empleadas.

10. Cálculo de la eficiencia de remoción mediante la aplicación de fórmulas y posteriormente se realizó la interpretación de cada uno de los datos obtenidos, se determinará cuál de los humedales (Totora o Ichu), tienen mayor eficiencia de remoción de metales.

3.4. Diseño de investigación

La presente investigación es de diseño experimental, tipo preexperimental, cuantitativa, Arias (1997) señala que el diseño experimental es el "proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones o estímulos (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente)".

Este tipo de investigación se enfoca en emplear las especies *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla.*, comúnmente conocidas como totora y paja brava someterlos a la presencia de efluentes mineros originados por las empresas mineras de Morococha, mediante la instalación humedales artificiales (variable independiente), para finalmente evaluar la eficiencia de remoción de metales (cobre total, plomo total, zinc total, cadmio total, Arsénico total y Hierro disuelto) (variable dependiente). Los datos se recolectaron del análisis y monitoreo de parámetros inorgánicos y fisicoquímicos de aguas, y fueron comparados con los límites máximos permisibles (DS N.º 010-2010-MINAM).

3.5. Población y Muestra

3.5.1. Población

La población para el presente proyecto de investigación comprende las empresas y/o unidades mineras que se encuentran dentro de la jurisdicción del

distrito de Morococha: Unidad minera Yauli –Volcán compañía minera S.A.A, Compañía minera Argentum S.A., Sociedad minera Austria Duvaz S.A. y Minera Chinalco Perú S.A, las cuales originan efluentes mineros.

3.5.2. Muestra

La muestra para la presente investigación está representada por el efluente líquido proveniente de las labores subterráneas de la Sociedad Minera Austria Duvaz (Nivel 2- 1700- Interior mina)

3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.6.1. Técnicas

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

- Observación directa: Consiste precisamente en observar el desarrollo del trabajo de investigación, las cuales se encuentran registrados mediante fotografías y fichas de registros de datos de campo.
- Recolección de datos de campo: Consiste en recolectar datos directamente del trabajo de investigación, como:
 - Parámetros de campo (PH, Temperatura)
 - Datos de la medición del crecimiento de las especies vegetales (Altura en centímetros)
- Muestreo y monitoreo: El muestreo consiste en el proceso de tomar una porción representativa de agua (efluente de mina y efluente de humedales artificiales), que permitirá medir los parámetros de que representa la calidad de un cuerpo de agua. De la misma manera se realiza el monitoreo que consiste en determinar continua o periódicamente la cantidad de contaminantes, físicos - químicos (PH, conductividad temperatura y TDS) e inorgánicos (Metales totales y disueltos).

- **Análisis de contenido:** Esta técnica nos permite minimizar y reducir y metodizar la información contenida en los registros escritos, visuales o auditivos en datos o valores objetivos, sistemáticos y cuantitativos. La técnica mediante el cual se realiza la interpretación de datos obtenidos durante la duración de la investigación (datos de campo, resultados de análisis del laboratorio), de esa manera se determina la eficiencia de remoción de metales pesados en efluentes mineros empleando humedales artificiales.

3.6.2. Instrumentos

Los instrumentos de recolección de datos utilizados son los siguientes:

- Aparatos de medición - Multiparámetro
- Cámara fotográfica
- Computadora laptop.
- Formato: Reporte de parámetros de campo.
- Informe de ensayo con valor oficial No. 129565L/19-MA (Emitido por BUREAU VERITAS) De la estación de monitoreo PB2-Nv 1700 (Poza de bombeo N° 2 nivel 1700- Efluente de interior mina de la Sociedad Minera Austria Duvaz SAC.)
- Informes de ensayo N°FEB1007.R20 y FEB1173.R20 (Emitido por CERTIMIN SA.), De la estación de monitoreo efluente de los humedales artificiales de Las especies vegetales Festuca y totora (durante y después del proceso)
- Cuaderno de campo y apuntes

Asimismo, se realizó la revisión bibliográfica de libros, Guías, revistas y trabajos de investigación nacionales e internacionales referentes al trabajo de investigación que se realizaron en diferentes épocas y contextos.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Dentro de los instrumentos utilizados en la presente investigación, las cuales cuentan con validez y confiabilidad, son los informes de ensayo: No. 129565L/19-MA (Emitido por BUREAU VERITAS) y los Informes de ensayo N° FEB1007.R20 y N° FEB1173.R20 (Emitido por CERTIMIN SA.), siendo ambos laboratorios (BUREAU VERITAS Y CERTIMIN SA) acreditados por el Organismo Peruano de acreditación INACAL. Véase ANEXO II.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de datos que se siguió para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue la siguiente:

- Revisión bibliográfica y literaria sobre el tema en desarrollo.
- Síntesis del material recolectado; información y datos obtenidos.
- Se realizó la instalación de los humedales artificiales y componentes.
- Toma de datos de campo.
- Envío de muestras de agua del efluente de los humedales a un laboratorio acreditado, para obtención de datos de la concentración de metales según DS 010-2010-MINAM
- Procesamiento de datos obtenidos mediante la hoja de cálculo Excel (Gráficos y cuadros)
- El análisis de los datos obtenidos se realizó tomando en cuenta el LMP para efluentes especificado en DS 010-2010-MINAM.

3.9. Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos fueron consolidados, procesados y analizados usando el programa Excel, mediante el uso de las herramientas para análisis de Excel, del

cual se obtuvo cuadros de resultados y gráficos estadísticos, a fin de determinar el grado de remoción de metales pesados para cada humedal artificial.

3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica

El presente trabajo de investigación está orientado al desarrollo sostenible que debe tener una empresa minera, mediante la adopción de métodos pasivos, naturales para el tratamiento de efluentes mineros.

La tendencia epistemológica es ayudar a obtener conocimientos válidos, que gocen de solidez científica a través de los resultados de la presente tesis, de tal modo validar la viabilidad de la tecnología de tratamiento de efluentes mineros mediante humedales artificiales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en el muestreo y monitoreo de parámetros de campo, monitoreo del crecimiento de especies utilizadas, resultado del laboratorio CERTIMIN SA, el cual realizo el análisis de efluente para Metales totales y disueltos (Arsénico total, Cadmio total, Cobre total, Hierro disuelto, Plomo total, y Zinc total), para finalmente realizar la interpretación y análisis de los datos y determinar el grado de remoción de ambos humedales.

4.1.1. Ubicación de la zona de estudio experimental.

La zona de experimentación está ubicada en la Nueva ciudad de Morococha Dirección MZ 02 LT 30.

a) Datos generales:

El distrito de Morococha se encuentra a una distancia de 140 Km de la ciudad de Lima, a 39 Km de la ciudad de La Oroya, a una distancia de 91 Km de la ciudad de Tarma y a una distancia de 117 Km y 162 Km de la ciudad de Jauja y Huancayo respectivamente; presenta los siguientes datos geográficos.

CUADRO N° 5. Datos geográficos del Distrito de Morococha

| DATOS GEOGRÁFICOS | |
|--------------------------|--|
| Altitud | 4240 msnm |
| La latitud Sur | 11°35'51 |
| Longitud Oeste | 76° 08' 08" |
| Extensión | 265.7 Km ² |
| Temperatura | Temperaturas altas 12 °C Temperatura bajas -2°C |

Fuente: elaboración propia

b) Clima y meteorología

Uno de los factores que más influye en el clima en un lugar es la altitud (msnm) viene a ser aproximadamente 4500 msnm de altitud. Otro de los factores que influye a la determinación del clima es la latitud del lugar (entre los 11 y 12° de latitud sur).

El distrito de Morococha tiene un clima montañoso típico de ambientes ubicados a grandes alturas como la sierra del Perú el clima Es principalmente por ser frío y seco, la época de lluvias, empieza entre los meses de octubre y marzo; y la época seca, los de acuerdo meses del año. Con una temperatura promedio Anual de 5,0°C.

4.1.2. Ubicación del punto de muestreo del efluente, especies a utilizar y sustratos

a. Ubicación y recolección del efluente minero

Para la recolección del efluente minero se utilizó bidones de plástico en los cuales se llenó directamente del efluente, para posteriormente ser transportado hacia

la zona de experimentación. Las muestras se tomaron periódicamente, ya sea semanal o quincenal o en caso se acabe antes de tiempo.

La ubicación de la zona de recolección del efluente es: Poza de bombeo N° 02 del Nv. 1700, zona Victoria, de la Unidad Minera Austria Duvaz.

| COORDENADAS UTM | |
|--------------------------------|-----------|
| Ubicación: Poza de bombeo N°02 | |
| ESTE | NORTE |
| 376845 E | 8717781 S |

b. Ubicación de puntos de recolección de las especies de plantas

***Scirpus californicus* (Totora):** La totora fue recolectada de la ciudad de La Oroya, Yauli, Junín (Detrás del Parque ecológico Tacarpana)

| COORDENADAS UTM – WGS84 | |
|--------------------------------|-----------|
| Ubicación: Tacarpana- La Oroya | |
| ESTE | NORTE |
| 396347 E | 8722153 S |



ILUSTRACIÓN° 11. Recolección de la especie *Scirpus californicus* (Totora)

Festuca dolichophylla (Ichu o paja brava): El Ichu fue recolectado de ciudad de La Oroya, Distrito de Huaynacancha. Cabe mencionar que esta especie crece por alrededores del distrito de Morococha.

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| COORDENADAS UTM – WGS84 | |
| Ubicación: Huaynacancha- La Oroya | |
| ESTE | NORTE |
| 395149 E | 8718736 S |



ILUSTRACIÓN° 12. Recolección del (Ichu o paja brava)

c. Ubicación de puntos de recolección de sustratos, sedimentos

Los sustratos en los humedales construidos incluyen arena fina, grava de diferentes granulometrías. Los cuales fueron extraídos del Rio Pucara, que se encuentra en la nueva Ciudad de Morococha.

Dentro de los sustratos se utilizó Piedras de caliza, con la finalidad que el PH del efluente aumente y pueda acercarse al PH neutro.

| | |
|--------------------------------------|----------------|
| COORDENADAS UTM – WGS84 | |
| Ubicación: Nueva Ciudad de Morococha | |
| ESTE | NORTE |
| 383832.46 m E | 8719385.07 m S |

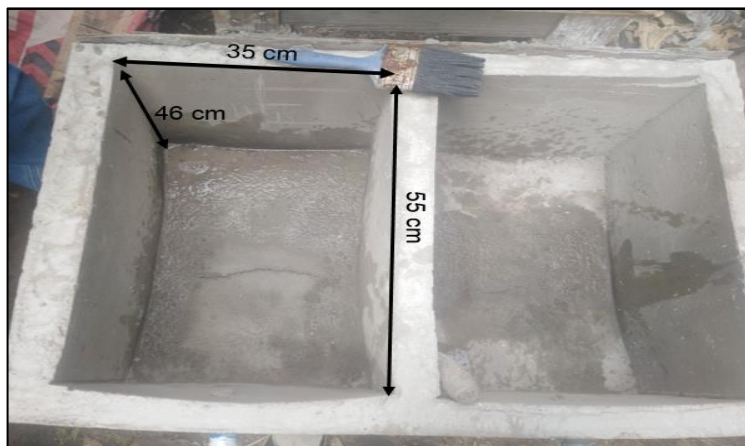


ILUSTRACIÓN° 13. Recolección de los substratos

4.1.3. Pre-Operación

La presente sección detalla cada una de las cinco (05) etapas de la construcción e instalación de los humedales artificiales

- **Etapa 1:** Armado de concreto, de las estructuras de los 2 humedales, de dimensiones 55 cm de largo, 35 cm de ancho, y 46 cm de altura, cada uno.



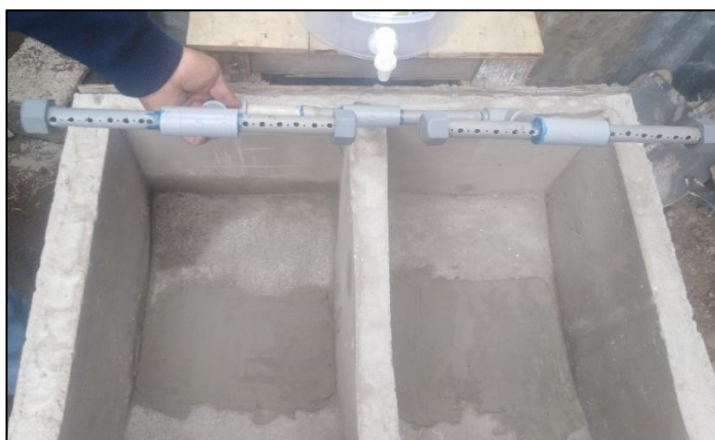
ILUSTRACIÓN° 14. Armado de concreto de las estructuras de ambos humedales

- **Etapa 2:** Instalación de las estructuras de entrada y salida, con llaves de paso plásticas, para la descarga del agua residual del humedal, se diseñó también tubos ranurados tipo flauta dispersora en forma de PVC.



ILUSTRACIÓN° 15. Instalación de sistema de entrada y salida de ambos humedales

Los humedales artificiales cuentan con dispositivos de ingreso, conformado por tuberías PVC de 1/2" con perforaciones de 1.0mm de para una mejor distribución del afluente.



ILUSTRACIÓN° 16. Dispositivos de ingreso de agua para cada humedal -
tuberías ranuradas

- **Etapa 3:** Incorporación de los substratos en el humedal. Se realizo un previo lavado y se separó **según** las dimensiones de las gravas para posteriormente ubicarlas de manera distribuida en el humedal, La grava utilizada es de diferente tamaño, y se han considerado para este caso 03 rangos diferentes 3/4" -1", 1.1/2"- 2", 2" - 2.1/2".



ILUSTRACIÓN° 17. Dispositivos de ingreso de agua para cada humedal -
tuberías ranuradas

Estas se ubicaron de manera distribuida en todo el humedal y en la zona de entrada y salida del humedal con gravas de 2" a 2.1/2". Con el fin de evitar taponamientos y posibles obstrucciones en estos puntos, de la misma manera se ubicó las piedras calizas en la salida de cada humedal.



ILUSTRACIÓN° 18. Distribución de los sustratos en ambos humedales.

- **Etapa 4:** Se realizó la implantación y el trasplante de ambas especies en los respectivos humedales. Las especies vegetales fueron trasplantadas con el mismo suelo de origen.



ILUSTRACIÓN° 19. Trasplante de las especies vegetales en ambos humedales

- **Etapa 5:** Primer riego con el agua del efluente y homogeneización de la superficie.

4.1.4. Operación y monitoreo

Después de haber realizado el sembrado de las plantas, se esperó un tiempo de 60 días (tiempo de adaptación de las plantas) para iniciar su monitoreo.

- a) Monitoreo de la calidad del agua y determinación de los parámetros de campo del humedal artificial:** Se evaluó la calidad del agua residual (antes, durante y después) de ambos humedales (totora e Ichu).



ILUSTRACIÓN° 20. Medición de parámetros de campo- Multiparámetro HANNA

b) Monitoreo: El monitoreo para ambos humedales se realizó de acuerdo al siguiente cuadro:

CUADRO N° 6. Cuadro resumen de los puntos de muestreo y parámetros

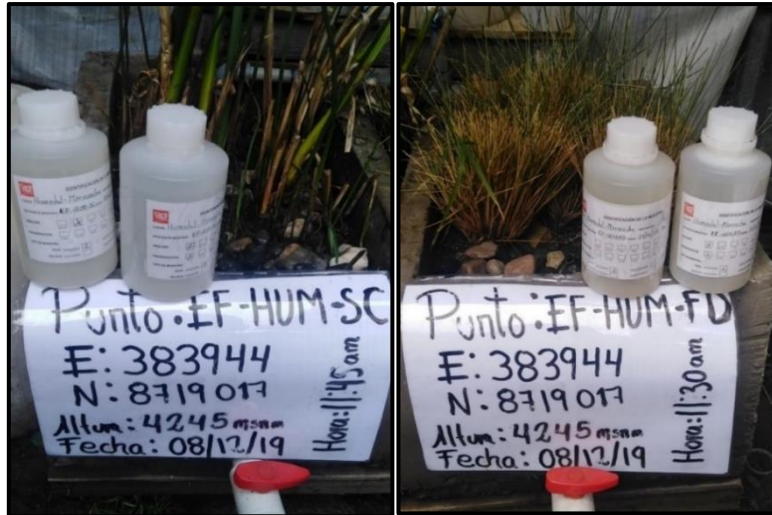
| Parámetros efluente de humedales artificiales | | | |
|---|---|-------------------|---|
| Punto de muestreo | Descripción | Norma Referencial | Parámetros |
| EF-HUM-FD | Descarga de efluente proveniente del humedal artificial con la especie <i>Festuca dolichophylla</i> (Ichu o paja brava) | DS-010-MINAM-2010 | Metales Totales (ICP - MS) mg/L Metales disueltos (ICP - MS) mg/l Parámetros de campo (Ph, T°, CE, TDS) |
| EF-HUM-SC | Descarga de Efluente proveniente del humedal artificial con la especie <i>Scircus californicus</i> (Totora) | | |

El análisis del efluente se realizó través de un laboratorio acreditado por INACAL, Para lo cual se envió las muestras de ambos humedales a la ciudad de Lima, Los parámetros de campo se determinaron directamente en campo (Multiparámetro)

Fuente: elaboración propia

c) Procedimiento del muestreo: El muestreo del efluente de cada humedal se realizó en base al protocolo de monitoreo de aguas (MINAM). Los materiales (frascos, conservantes) fueron enviados por el laboratorio acreditado por INACAL.

Primer muestreo de agua tratada mediante humedales artificiales (Fecha 08/12/19)



ILUSTRACIÓN° 21. Muestreo de aguas tratadas por ambos humedales - diciembre

Segundo muestreo de agua tratada mediante humedales artificiales

(Fecha 20/02/20)



ILUSTRACIÓN° 1. Muestreo de aguas tratadas por ambos humedales - febrero



ILUSTRACIÓN° 2. Muestreo de metales totales y metales disueltos.

Se realizó él envió en cajas de Tecnopor para conservar su temperatura (Hacia laboratorio CERTIMIN SA-LIMA)



ILUSTRACIÓN° 3. Frascos de las muestras en el respectivo cooler para su conservación

d) Frecuencia de Monitoreo:

La frecuencia de monitoreo para parámetros de campo, metales totales y disueltos fue cada dos meses.

CUADRO N° 7. Fechas de monitoreo

| Fecha de muestreo | Punto de muestreo |
|--------------------------|---|
| 12 de octubre de 2019 | Estación de muestreo Poza de Bombeo N° 2 Nivel 1700, Interior mina –Sociedad minera AUSTRIA DUVAZ SAC (Agua de efluente minero –Antes del tratamiento) |
| 08 de diciembre de 2019 | Estación de muestreo: Humedales artificiales ubicados en Morococha, Yauli, Junín. (Agua proveniente de los humedales artificiales, durante el tratamiento) |
| 20 de febrero de 2020 | Estación de muestreo: Humedales artificiales ubicados en Morococha, Yauli, Junín. (Agua proveniente de los humedales artificiales, al finalizar el tratamiento) |

Fuente: elaboración propia

4.1.5. Determinación de la eficiencia de remoción de cada humedal artificial.

Consiste en calcular el porcentaje de remoción de contaminantes (Metales totales y disueltos) de acuerdo con los resultados que serán emitidos por el laboratorio a la entrada y salida del humedal, según la frecuencia de monitoreo mencionado.

Se determino la eficiencia de remoción de ambos humedales por separado, de tal manera al finalizar la etapa de monitoreo se realizó la comparación de ambos y se determinó finalmente, que especie tienen mayor eficiencia de remoción de metales totales y disueltos.

La eficiencia de remoción de contaminantes se expresa en unidades de porcentaje, usando la Siguiete fórmula:

$$E = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Dónde:

- **E:** Eficiencia de remoción de contaminantes (porcentaje)
- **Ci:** Concentración inicial de contaminante
- **Cf:** Concentración final del contaminante

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Evaluación de crecimiento de las especies vegetales

El desarrollo de las plantas fue evaluado semanalmente, el primero se realizó 30 días después de la siembra, las siguientes mediciones se realizaron de manera semanal.

CUADRO N° 8. Reporte de medición de crecimiento de las especies vegetales.

| Mes | Fecha | Altura (Cm) | |
|-----------|------------|---|--|
| | | <i>Scirpus californicus</i> (totora) | <i>Festuca dolichophylla</i> (Ichu) |
| OCTUBRE | 05/10/2019 | 20 cm | 15 cm |
| | 12/10/2019 | 20.3 cm | 15.5 cm |
| | 19/10/2019 | 20.4 cm | 15.8 cm |
| | 26/10/2019 | 20.6 cm | 15.9 cm |
| | 02/11/2019 | 20.7 cm | 16.1cm |
| NOVIEMBRE | 09/11/2019 | 20.9 cm | 16.2 cm |
| | 16/11/2019 | 21.0 cm | 16.5 cm |
| | 23/11/2019 | 21.2 cm | 16.8 cm |
| DICIEMBRE | 07/12/2019 | 21.8 cm | 17.1 cm |
| | 14/12/2019 | 22.1 cm | 17.6 cm |
| | 21/12/2019 | 22.9 cm | 18.0 cm |

| | | | |
|---------|------------|---------|---------|
| | 28/12/2019 | 23.0 cm | 18.7 cm |
| | 04/01/2020 | 24.7 cm | 19.5 cm |
| ENERO | 11/01/2020 | 25.3 cm | 20 cm |
| | 18/01/2020 | 25.9 cm | 22.0 cm |
| | 25/01/2020 | 26.7 cm | 23.6 cm |
| | 01/02/2020 | 27.8 cm | 24.5 cm |
| FEBRERO | 08/02/2020 | 28.8 cm | 25.1 cm |
| | 15/02/2020 | 29.6 cm | 26.0 cm |
| | 22/02/2020 | 31.6 cm | 27.5 cm |

Fuente: elaboración propia

En el Gráfico N° 1. se puede observar que el crecimiento de ambas especies tuvo un comportamiento ascendente, se puede notar que la especie *Festuca dolichophylla* tuvo un crecimiento ascendente mayor que la especie *Scirpus californicus*.

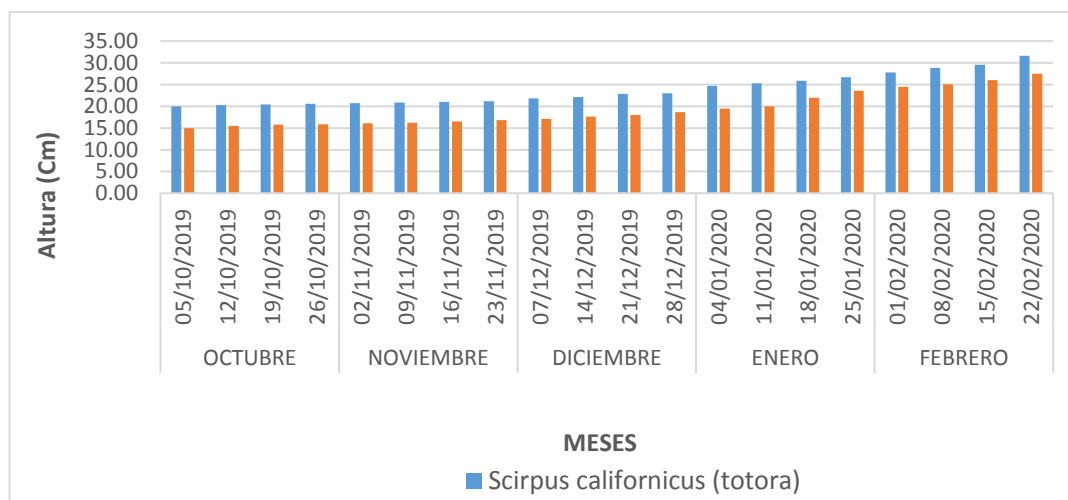


GRÁFICO N° 1. Análisis de crecimiento de las plantas

Comparando las alturas de las plantas en un periodo de 5 meses la especie de *Scirpus californicus* llegó hasta un máximo de 31.6 cm, mientras que la especie *Festuca dolichophylla* llegó a un máximo de 27.5 cm. Este comportamiento de las plantas se relaciona con el clima y altura del lugar. La *Festuca dolichophylla* tuvo

un mayor crecimiento ya que es una especie adaptada al clima del lugar. En cuanto a la *Scirpus californicus* la velocidad de crecimiento es más pausada en invierno.

4.2.2. Caracterización del efluente de mina

El agua residual o efluente fue tomado de la Empresa minera AUSTRIA DUVAZ de la poza de bombeo N° 2, ubicada en el nivel 1700 en interior mina, proveniente de drenajes ácidos mineros, el muestreo fue realizado en el mes de octubre de 2019, el análisis fue realizado por el laboratorio Bureau Veritas.

CUADRO N° 9. Resumen de caracterización del efluente de mina

| Parámetros | Unidad de medida | Estación de muestreo | D.S. N° 010-2010-MINAM | |
|-----------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | | Nv- 1700 – Pz 2. Austria Duvaz | Límite en cualquier momento | Límite para el Promedio anual |
| Físicos- Químicos | | | | |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | Unidad de pH | 4.6 | 6.0-9.0 | 6.0-9.0 |
| Inorgánicos | | | | |
| Arsénico Total (As) | mg/L | 1.5 | 0.1 | 0.08 |
| Cadmio Total (Cd) | mg/L | 0.27 | 0.05 | 0.04 |
| Cobre Total (Cu) | mg/L | 3.49 | 0.5 | 0.4 |
| Hierro Disuelto (Fe) | mg/L | 3.79 | 2 | 1.6 |
| Plomo Total (Pb) | mg/L | 2.56 | 0.2 | 0.16 |
| Zinc Total (Zn) | mg/L | 6.21 | 1.5 | 1.2 |

Se observa en el cuadro N° 09. que, para los parámetros fisicoquímicos e inorgánicos, el efluente supera el límite máximo permisible establecido. Lo que indica alta presencia de metales pesados y Hierro disuelto.

4.2.3. Caracterización del agua residual o efluente tratado

En el cuadro N° 10, se muestran las características del agua residual las cuales fueron tratadas en cada humedal, con respecto a cada parámetro. El muestreo y análisis se realizó cada dos meses dentro de un periodo de 5 meses correspondiendo a los meses de octubre 2019 y febrero 2020, el laboratorio que realizó el análisis fue CERTIMIN S.A.

CUADRO N° 10. Resumen de Valores de parámetros del efluente de los humedales de ambas especies vegetales.

| Parámetros | Unidad | Valores – | | Valores - | | Promedio | |
|-----------------------------|--------------|-----------|-------|-----------|-------|----------|--------|
| | | DICIEMBRE | | FEBRERO | | | |
| | | 2019 | | 2020 | | | |
| | | Totora | Ichu | Totora | Ichu | Totora | Ichu |
| Potencial de Hidrógeno (pH) | Unidad de pH | 6.39 | 5.97 | 6.43 | 6.33 | 6.41 | 6.15 |
| Arsénico Total (As) | mg/l | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.008 |
| Cadmio Total (Cd) | mg/l | 0.006 | 0.013 | 0.001 | 0.003 | 0.0035 | 0.008 |
| Cobre Total (Cu) | mg/l | 0.209 | 0.341 | 0.024 | 0.028 | 0.1165 | 0.1845 |
| Hierro disuelto (Fe) | mg/l | 0.01 | 2.3 | 0.14 | 1.4 | 0.075 | 1.85 |
| Plomo Total (Pb) | mg/l | 0.15 | 0.29 | 0.01 | 0.01 | 0.08 | 0.15 |
| Zinc Total (Zn) | mg/l | 2.1 | 4.17 | 0.261 | 0.363 | 1.1805 | 2.2665 |

Fuente: Informes de ensayo CERTIMIN SA

4.2.4. Eficiencia de remoción de ambos humedales

En el cuadro N° 11. se muestran el porcentaje de la eficiencia de remoción de contaminante para cada humedal.

CUADRO N° 11. Resumen de valores de porcentaje de remoción del efluente de los humedales de ambas especies vegetales.

| Parámetros | Unidad | Remoción (%)- DICIEMBRE 2019 | | Remoción (%) - FEBRERO 2020 | | Promedio | |
|----------------------|--------|------------------------------------|-------|--------------------------------|-------|----------|-------|
| | | Totora | Ichu | Totora | Ichu | Totora | Ichu |
| | | Arsénico Total (As) | mg/l | 99.47 | 99.47 | 99.47 | 99.47 |
| Cadmio Total (Cd) | mg/l | 97.78 | 95.19 | 99.63 | 98.89 | 98.70 | 97.04 |
| Cobre Total (Cu) | mg/l | 94.01 | 90.23 | 99.31 | 99.20 | 96.66 | 94.71 |
| Hierro disuelto (Fe) | mg/l | 99.74 | 39.31 | 96.31 | 63.06 | 98.02 | 51.19 |
| Plomo Total (Pb) | mg/l | 94.14 | 88.67 | 99.61 | 99.61 | 96.88 | 94.14 |
| Zinc Total (Zn) | mg/l | 66.18 | 32.85 | 95.80 | 94.15 | 80.99 | 63.50 |

Fuente: elaboración propia

4.2.5. Parámetros físicos

a) Temperatura

En el Grafico N° 2 se observan los valores de temperatura registrados por el multiparámetro de campo.

El rango de temperatura de la muestra del agua residual va entre 9.0°C y 11.0°C, temperatura que resulta tolerable para el crecimiento de las plantas en estudio. La *Festuca dolichophylla* soporta tanto el sol y altas temperaturas, mientras que *Scirpus californicus* tiene un crecimiento lento en épocas de invierno.

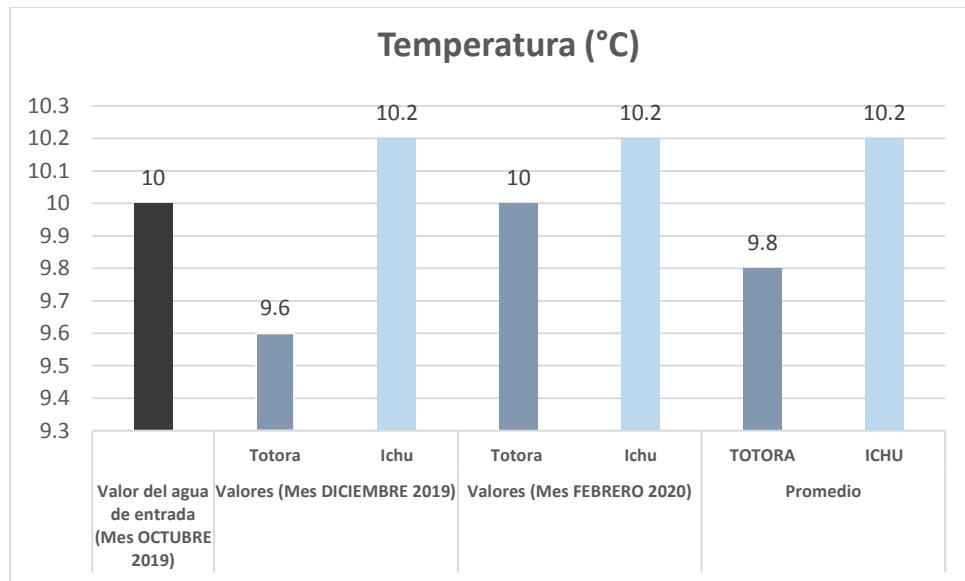


GRÁFICO N° 2. Valores de temperatura registrados al inicio y final del proyecto de investigación

b) PH

En la Gráfico N° 3. se muestran los valores de pH del efluente y de ambos humedales, Se observa que el efluente de mina al inicio tuvo el valor de 4.6, mientras que al salir de los humedales el valor aumenta con promedios de 6.41 y 6.15 para el *Scirpus californicus* (Totora) y *Festuca dolichophylla* (Ichu) respectivamente.

Se observa que el valor obtenido en el efluente de mina se encuentra fuera del LMP (debajo de 6), mientras que en el mes de octubre el pH de ambos humedales aumento, llegando el *Scirpus californicus* (Totora), a cumplir el LMP, mientras que el *Festuca dolichophylla* (Ichu o paja brava) se encuentra por debajo del LMP, En el mes de febrero 2020 ambos humedales presentan valores de pH que cumplen el LMP establecido.

Estadísticamente existe diferencia significativa del pH entre el efluente inicial y los efluentes tratados, El aumento de pH después del tratamiento con humedales, se explicaría por el uso de piedras calizas (molidas) que contiene 80 a 95

% de CaCO₃, en la salida de cada humedal, Según (Hedin, R.S., 1994) Cuando un agua ácida tiene alto contenido metálico y entra en contacto con la caliza, la primera reacción que ocurre es la neutralización de la acidez muestra y esta reacción tiende a elevar el pH.

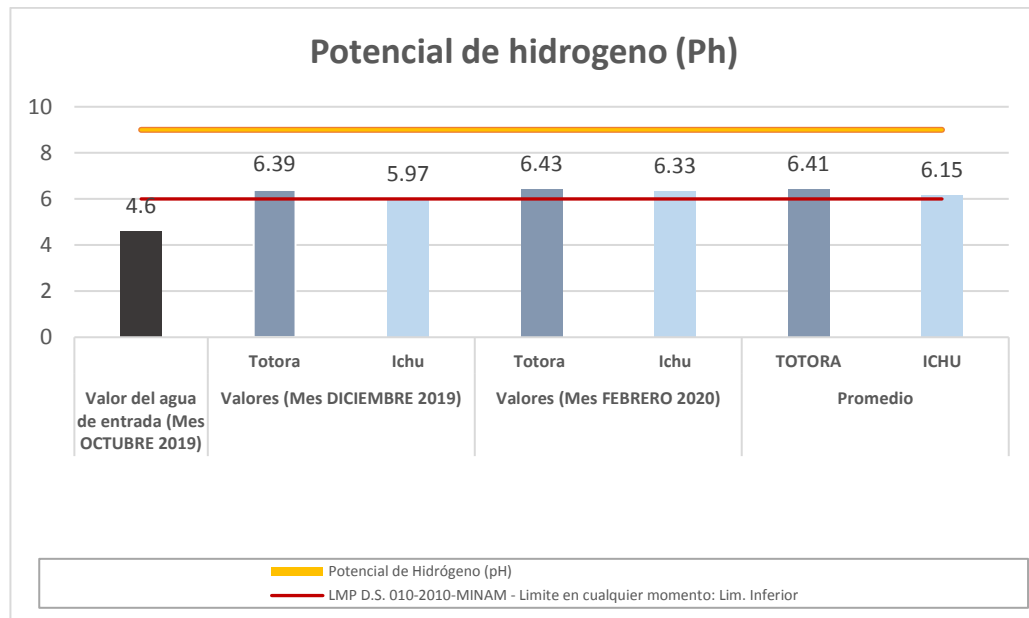


GRÁFICO N° 3. Valores de PH del efluente de mina y de ambos humedales

4.2.6. Parámetros inorgánicos

a) Arsénico total

En la Gráfico N° 4. se observan en primera instancia que el resultado del efluente de mina excede el LMP según el DS N° 010-2010-MINAM, para arsénico total llegando a 0.2 mg/l, siendo el Límite en cualquier momento y de promedio anuales son de 0.1 y 0.08 mg/l, respectivamente mientras que los resultados en ambos humedales *Scirpus californicus* (Totorá) y *Festuca dolichophylla* (Ichu) , tanto en el mes de Octubre 2019 y Febrero 2020, se encuentran dentro del límite permisible establecido, llegando a <0.008 mg/l.

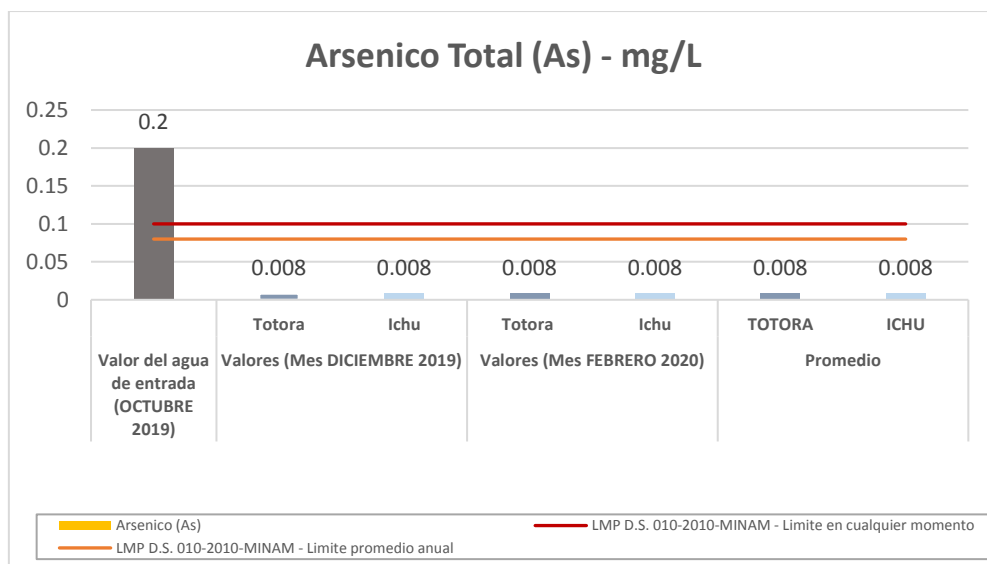


GRÁFICO N° 4. Análisis de Resultados de Arsénico Total (mg/l) del efluente de mina y de ambos humedales

En Gráfico N° 5 se observan los valores de remoción de Arsénico Total (%) calculados según la ecuación N°01, de ambos humedales, presentando los siguientes resultados:

- Para *Scirpus californicus* (Totora), el promedio de Remoción de Arsénico Total es de 96% mientras que;
- *Festuca Dolichophylla* (Ichu), el promedio de Remoción de Arsénico Total es de 96%;

Por lo tanto, se puede decir que ambas especies presentaron la misma capacidad de remoción de Arsénico Total.

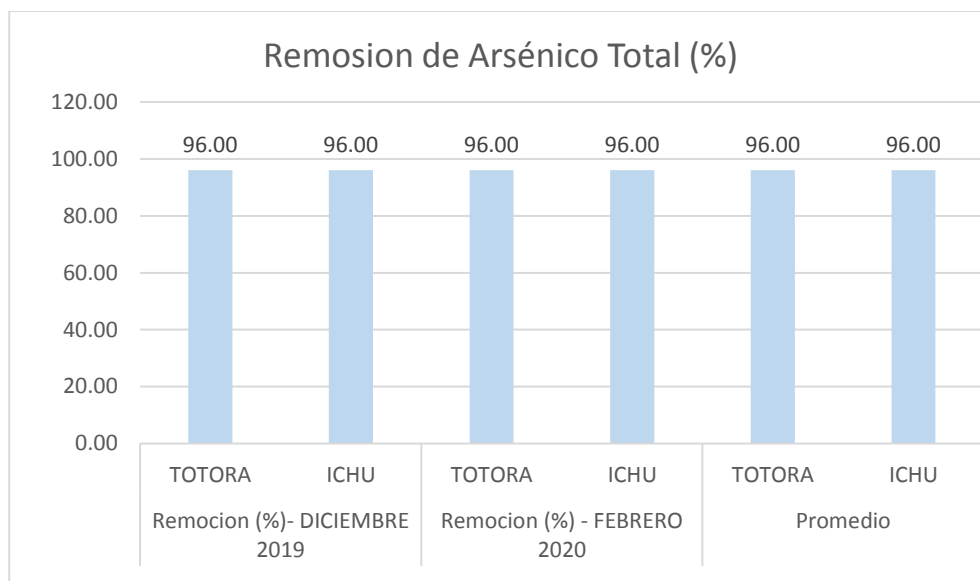


GRÁFICO N° 5. Valores de remoción de Arsénico Total (%) de ambos humedales

b) Cadmio total

En la Gráfico N° 6 se observan que el resultado de Cadmio Total (mg/l) del efluente de mina excede el LMP para Cadmio Total llegando a 0.13 mg/l, siendo el límite en cualquier momento y el límite promedio anual de 0.05 y 0.04 mg/l, respectivamente, mientras que en los resultados de ambos humedales fueron los siguientes;

- Para *Scirpus californicus* (Totora), presento un valor de 0.006 mg/l en el mes de octubre 2019, presentando una reducción en el mes de febrero 2020 con un valor de 0.001 mg/L.
- *Festuca Dolichophylla* (Ichu), presento un valor de 0.013 mg/l en el mes de diciembre 2019, presentando una reducción en el mes de febrero 2020 con un valor de 0.003 mg/L.

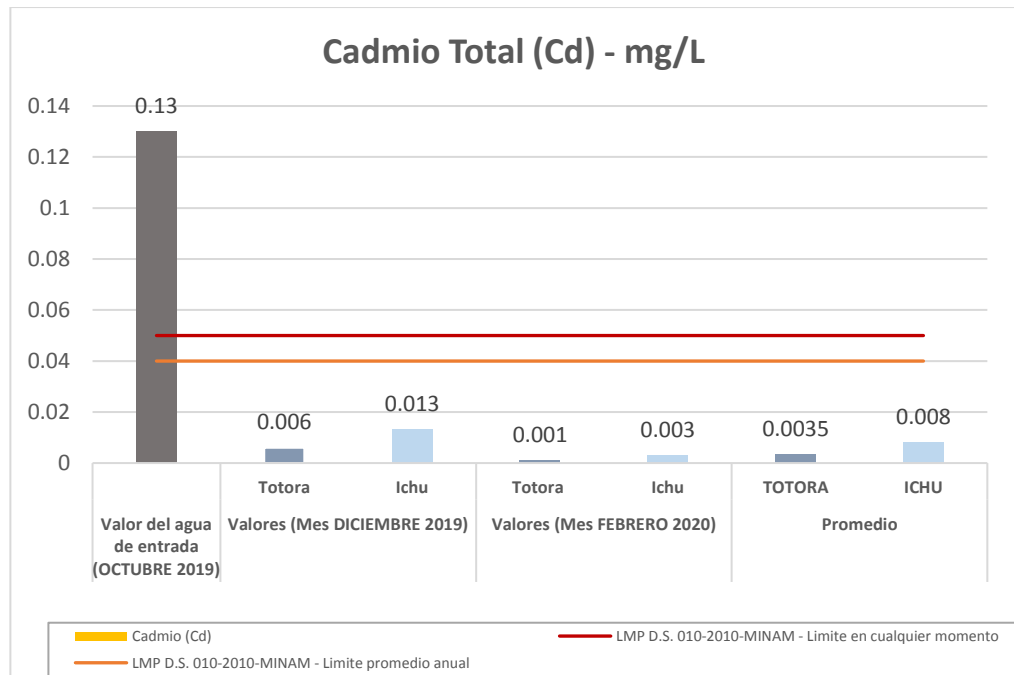


GRÁFICO N° 6. Valores de Cadmio Total (mg/l) del efluente de mina y de ambos humedales

En Gráfico N° 07 se observan los valores de remoción de Cadmio Total (%), calculados según la ecuación N° '01, de ambos humedales, presentando los siguientes resultados:

- Para *Scirpus californicus* (Totora), el promedio de Remoción de Cadmio Total es de 97.31% mientras que;
- *Festuca Dolichophylla* (Ichu), el promedio de Remoción de Cadmio Total es de 93.85%;

Por lo tanto, se puede decir que el humedal con la especie de *Scirpus californicus* (Totora) presenta una mayor capacidad de remoción de Cadmio Total, con respecto al humedal de *Festuca Dolichophylla* (Ichu)

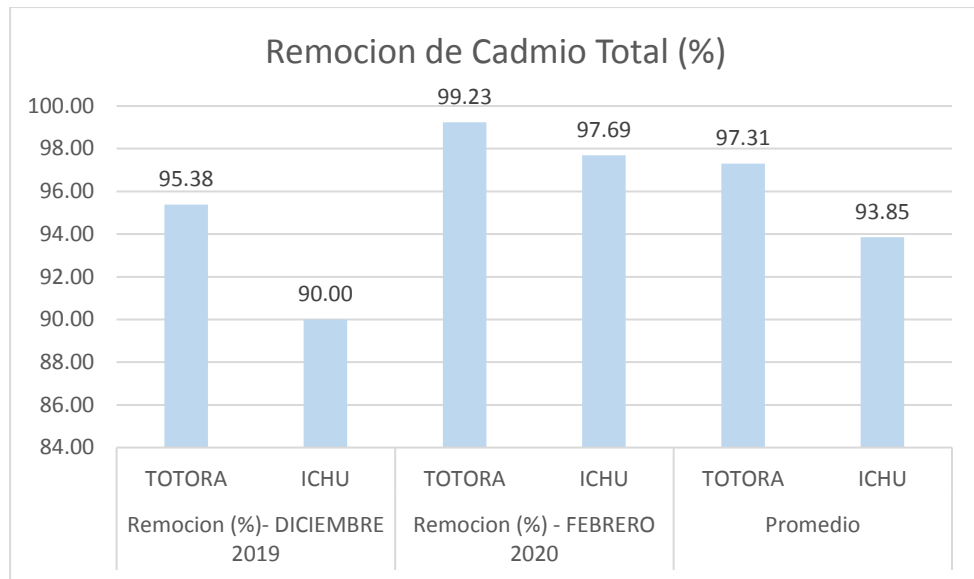


GRÁFICO N° 7. Valores de remoción de Cadmio Total (%) de ambos humedales

c) Cobre total

En la Gráfico N° 08 se observan que el resultado de Cobre Total (mg/l) del efluente de mina, llega a 1.59 mg/l, este resultado excede el LMP para Cobre Total en cualquier momento y el límite promedio anual de 0.5 y 0.4 mg/l, respectivamente, mientras que en los resultados del efluente de ambos humedales fueron los siguientes;

- Para Scirpus californicus (Totora), presento un valor de 0.209 mg/l en el mes de diciembre 2019, presentando una reducción en el mes de febrero 2020 con un valor de 0.024 mg/L.
- Festuca Dolichophylla (Ichu), presento un valor de 0.341 mg/l en el mes de diciembre 2019, presentando una reducción en el mes de febrero 2020 con un valor de 0.028 mg/L.

El resultado de los efluentes de ambos humedales en el mes de diciembre excede el LMP, según el DS. 010-2010-MINAM, mientras que estos resultados disminuyen en el mes de febrero.

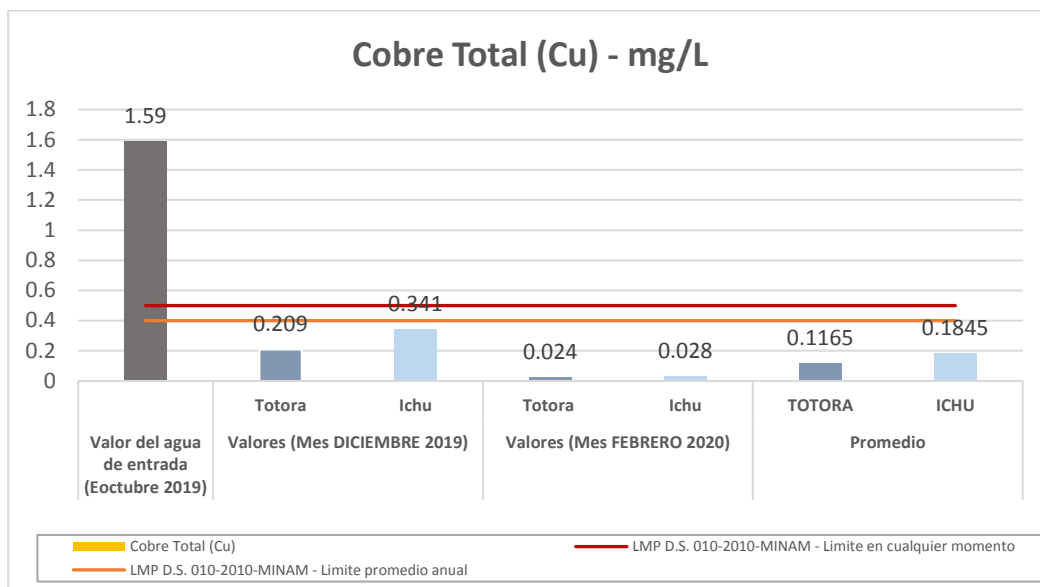


GRÁFICO N° 8. Valores de Cobre Total (mg/l) del efluente de mina y de los efluentes de ambos humedales

En Gráfico N° 9 muestra los valores de remoción de Cobre Total (%), calculados según la ecuación N° 01, los cuales presentan los siguientes resultados:

- Para *Scirpus californicus* (Totora), el promedio de Remoción de Cadmio Total es de 92.67% mientras que;
- *Festuca Dolichophylla* (Ichu), el promedio de Remoción de Cadmio Total es de 88.40%;

Por lo tanto, se concluye que el humedal con la especie de *Scirpus californicus* (Totora) presenta levemente mayor capacidad de remoción de Cobre Total, con respecto al humedal de *Festuca Dolichophylla* (Ichu)

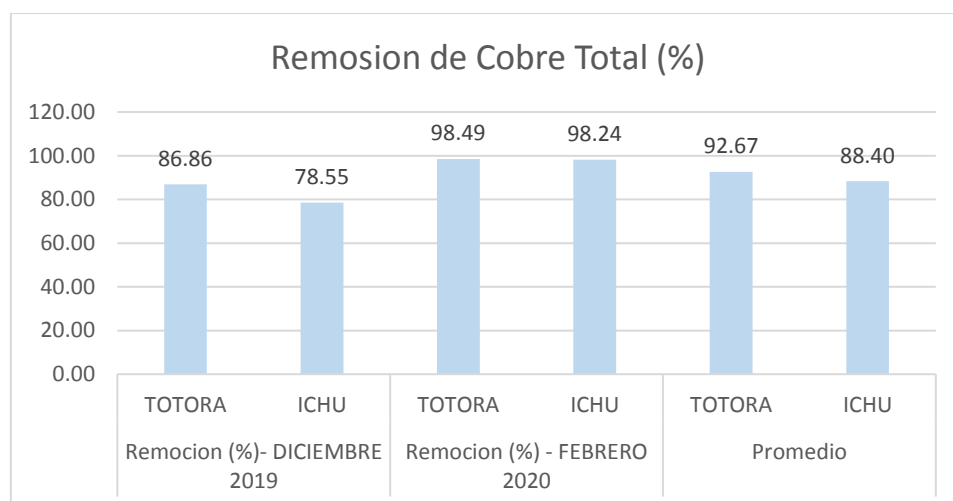


GRÁFICO N° 9. Valores de remoción de Cobre Total (%) de ambos humedales

d) Hierro disuelto

El Gráfico N° 10 muestra los valores obtenidos en el análisis de efluentes. El resultado de Hierro Disuelto (mg/l) del efluente de mina, llega a 3.79 mg/l, este resultado excede el LMP para Hierro Disuelto en cualquier momento y el límite promedio anual de 2 y 1.6 mg/l, respectivamente, mientras que en los resultados del efluente de ambos humedales fueron los siguientes;

- El humedal con la especie de *Scirpus californicus* (Totora), presento un valor de 0.01 mg/l de Hierro Disuelto, en el mes de diciembre 2019, presentando un leve aumento en el mes de febrero 2020 con un valor de 0.14 mg/L, lo que podría estar relacionado con la precipitación propia del distrito, ya que en el mes de diciembre y enero se presenta una alta tasa de precipitación en comparación a los meses de febrero y marzo.
- El humedal con la especie de *Festuca Dolichophylla* (Ichu), presento un valor de 2.3 mg/l de Hierro Disuelto, en el mes de diciembre 2019, presentando una reducción en el mes de febrero 2020 con un valor de 1.4 mg/L, El resultado

obtenido en el mes de diciembre excede el LMP para efluentes minero metalúrgicos, el cual logra estar dentro del LMP en el mes de febrero.

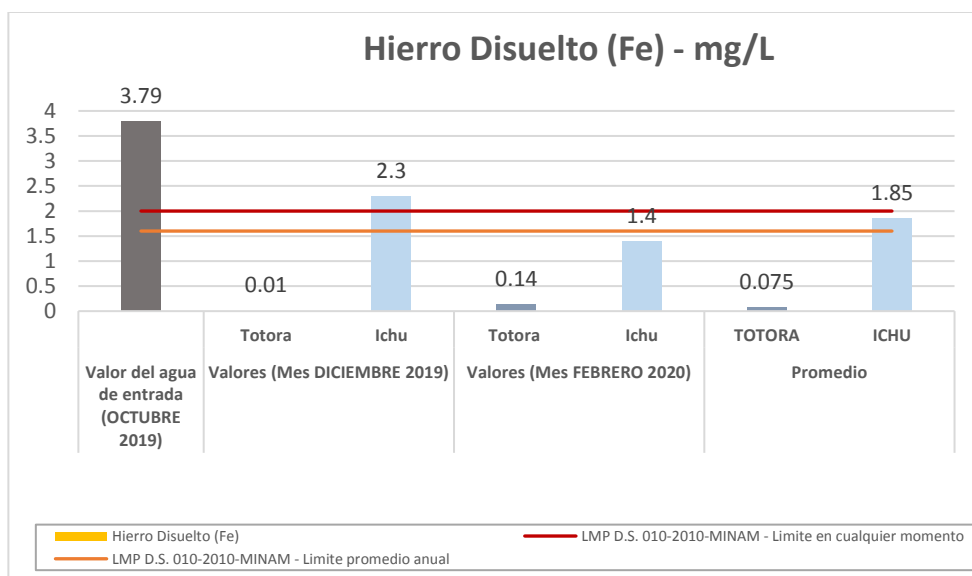


GRÁFICO N° 10. Valores de Hierro Disuelto (mg/l) del efluente de mina y de los efluentes de ambos humedales

El Gráfico N° 11, muestra los valores de remoción de Hierro Disuelto (%), calculados según la ecuación N° 01, los cuales presentan los siguientes resultados:

- Para *Scirpus californicus* (Totorá), el promedio de Remoción de Hierro Disuelto es de 98.02 % mientras que;
- *Festuca Dolichophylla* (Ichu), el promedio de Remoción de Hierro Disuelto es de 51.19%;

Por lo tanto, se concluye que el humedal con la especie de *Scirpus californicus* (Totorá) presenta una mayor capacidad de remoción de Hierro Disuelto, con respecto al humedal de *Festuca Dolichophylla* (Ichu)

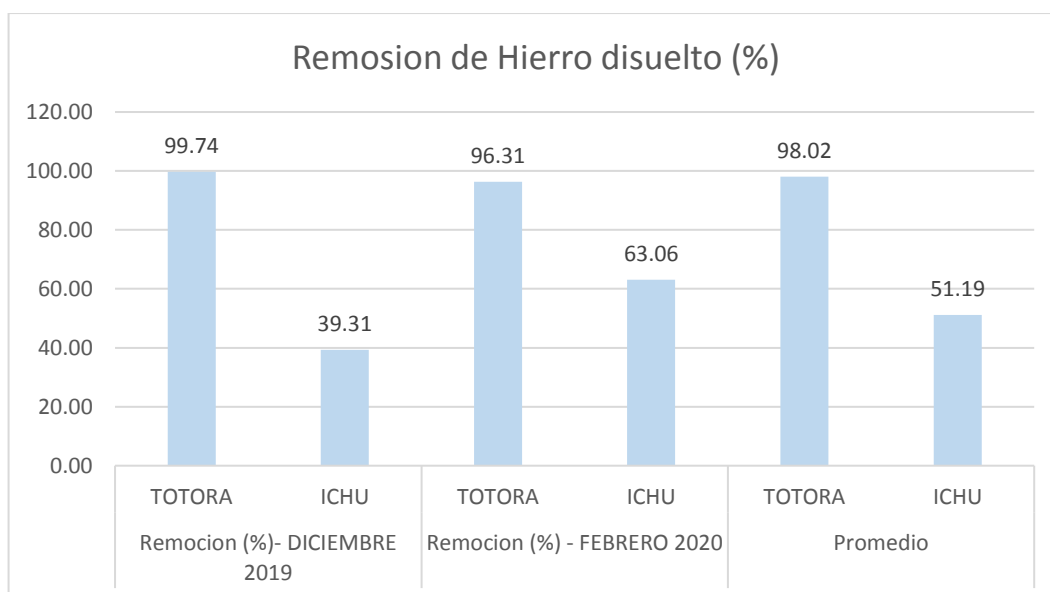


GRÁFICO N° 11. Valores de remoción de Hierro Disuelto (%) de ambos humedales

e) Plomo total

El Gráfico N° 12. muestra que el resultado de Plomo Total (mg/l) del efluente de mina, llega a 1.49 mg/l, este resultado excede el LMP para Plomo Total en cualquier momento y el límite promedio anual de 0.2 y 0.16 mg/l, respectivamente, mientras que en los resultados del efluente de ambos humedales fueron los siguientes;

- El humedal con la especie de Scirpus californicus (Totora), presento un valor de 0.15 mg/l en el mes de diciembre 2019, presentando una reducción en el mes de febrero 2020 con un valor de 0.001 mg/L.
- El humedal con la especie de Festuca Dolichophylla (Ichu), presento un valor de 0.29 mg/l en el mes de diciembre 2019, presentando una reducción en el mes de febrero 2020 con un valor de 0.01 mg/L.

El resultado del efluente del humedal con Ichu excede el LMP en el mes de diciembre, según el DS. 010-2010-MINAM, mientras que estos resultados disminuyen en el mes de febrero.

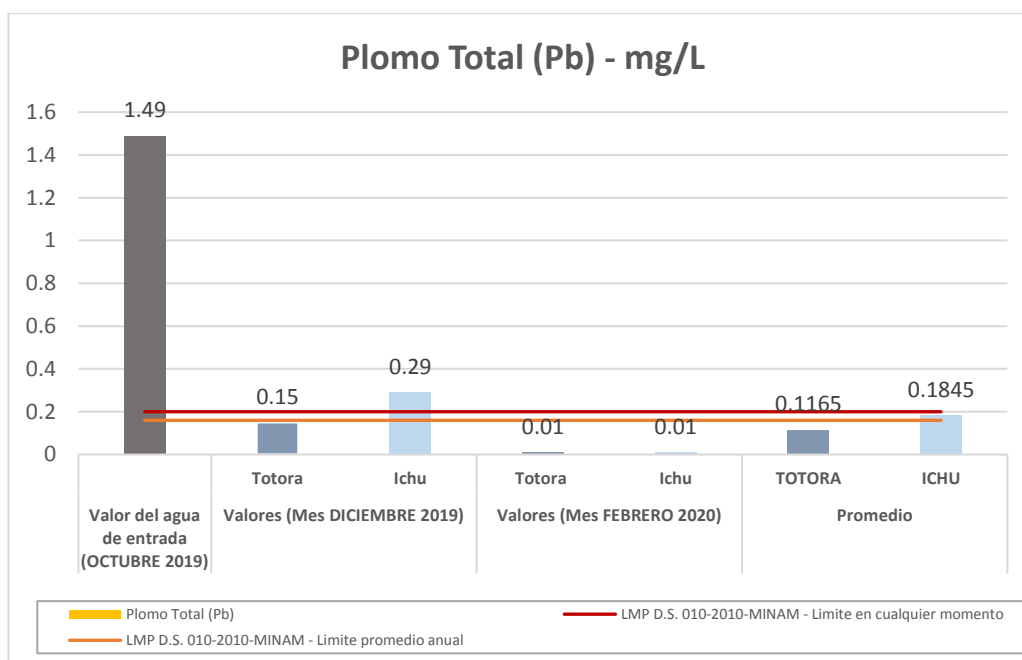


GRÁFICO N° 12. Valores de Plomo Total (mg/l) del efluente de mina y de ambos humedales

El Gráfico N° 13, muestra los valores de remoción de Plomo total (%), calculados según la ecuación N° 01, los cuales presentan los siguientes resultados:

- Para Scirpus californicus (Tatora), el promedio de Remoción de Plomo total es de 94.63 % mientras que;
- Para Festuca Dolichophylla (Ichu), el promedio de Remoción de Plomo total es de 89.93%;

Por lo tanto, se concluye que el humedal con la especie de Scirpus californicus (Tatora) presenta levemente mayor capacidad de remoción de Plomo Total, con respecto al humedal de Festuca Dolichophylla (Ichu)

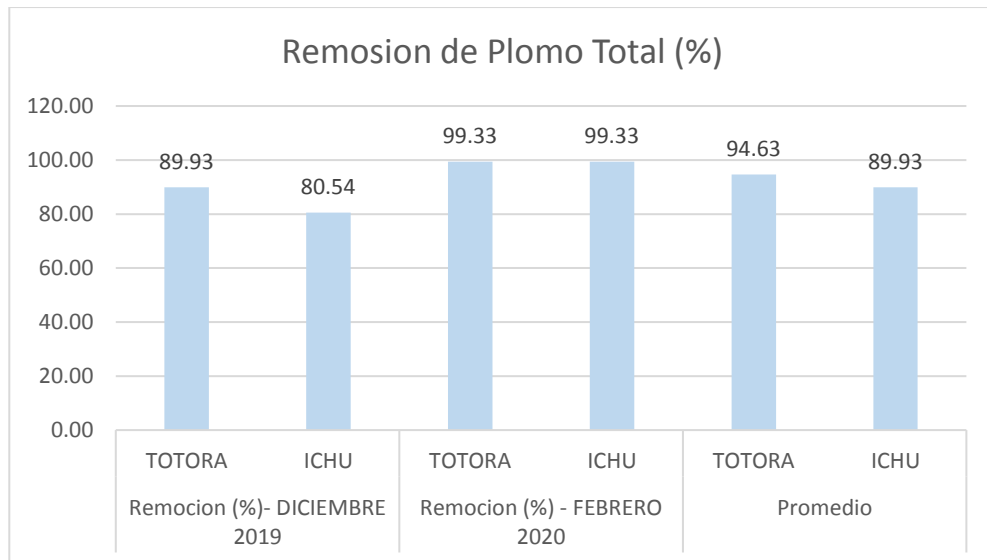


GRÁFICO N° 13. Valores de remoción de Plomo Total (%) de ambos humedales

f) Zinc total

El Gráfico N° 14. muestra que el resultado de Zinc Total (mg/l) del efluente de mina, llega a 6.21 mg/l, siendo este resultado excesivo al LMP para Zinc Total en cualquier momento y el límite promedio anual que son 1.5 y 1.2 mg/l, respectivamente, mientras que en los resultados del efluente de ambos humedales fueron los siguientes;

- El humedal con la especie de Scirpus californicus (Totora), presento un valor de 2.1 mg/l en el mes de diciembre 2019, presentando una reducción en el mes de febrero 2020 con un valor de 0.26 mg/L.
- El humedal con la especie de Festuca Dolichophylla (Ichu), presento un valor de 4.17 mg/l en el mes de diciembre 2019, presentando una reducción en el mes de febrero 2020 con un valor de 0.36 mg/L.

Los resultados de ambos efluentes en el mes de diciembre de 2019 exceden el LMP, según el DS. 010-2010-MINAM, mientras que estos resultados disminuyen en el mes de febrero.

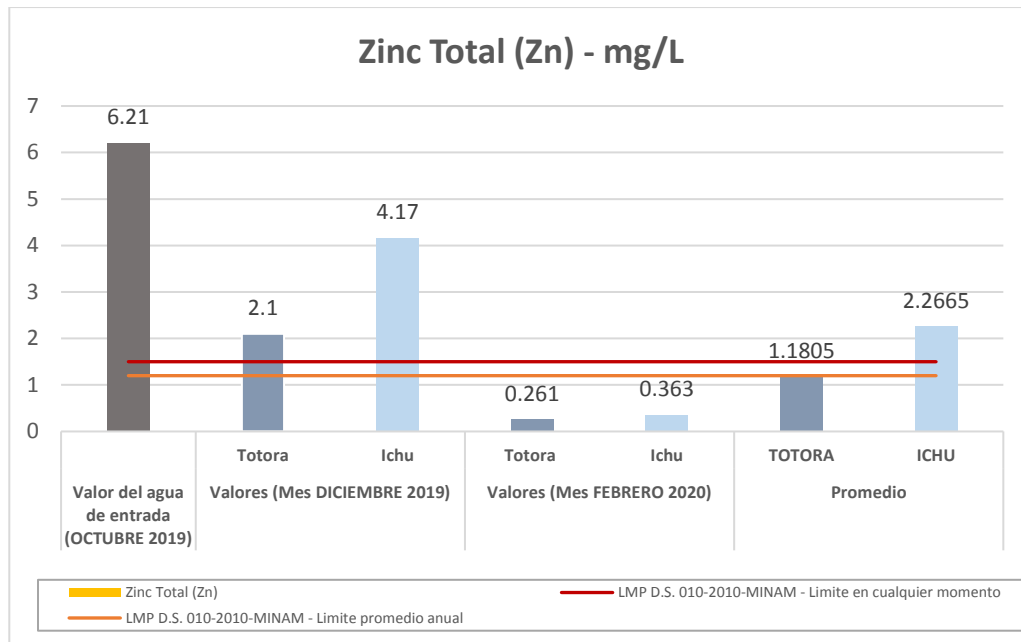


GRÁFICO N° 14. Valores de Zinc Total (mg/l) del efluente de mina y de ambos humedales

El Gráfico 15, muestra los valores de remoción de Zinc total (%), calculados según la ecuación N° 01, los cuales presentan los siguientes resultados:

- Para Scirpus californicus (Totora), el promedio de Remoción de Zinc total es de 80.99 % mientras que;
- Para Festuca Dolichophylla (Ichu), el promedio de Remoción de Zinc total es de 63.50%;

Por lo tanto, se concluye que el humedal con la especie de Scirpus californicus (Totora) presenta mayor capacidad de remoción de Zinc Total, con respecto al humedal de Festuca Dolichophylla (Ichu)

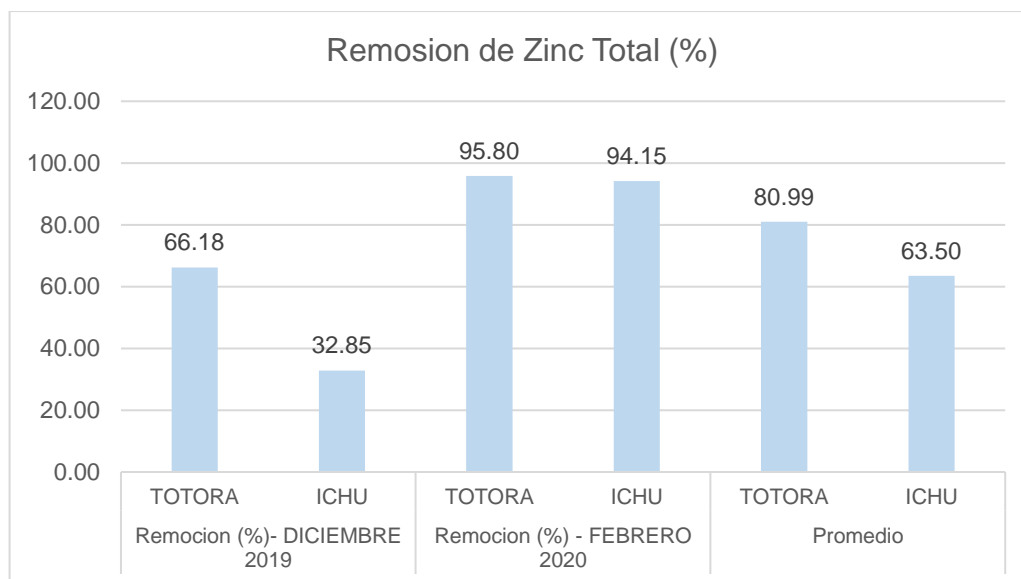


GRÁFICO N° 15. Valores de remoción de Zinc Total (%) de ambos humedales

4.3. Prueba de Hipótesis

Para el presente trabajo de investigación se formuló la hipótesis:

Los humedales artificiales removerán los metales pesados presentes en los efluentes mineros empleando Scirpus Californicus y Festuca dolichophylla en el distrito de Morococha, Yauli, Junín.

Concluido el trabajo de investigación podemos decir que la hipótesis formulada es válida, ya que después de analizar los resultados se determinó que los humedales artificiales empleando Scirpus Californicus y Festuca dolichophylla, tienen un alto y moderado grado de remoción de metales totales y disueltos, llegando a cumplir con el límite máximo permisible, establecido para efluentes mineros y metalúrgicos.

4.4. Discusión de Resultados

En la presente investigación se evaluó los parámetros de campo y se realizó los análisis para metales totales y disueltos, de los humedales empleando *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla*. De los cuales se muestra los resultados obtenidos:

En el crecimiento de las especies vegetales, se observó que ambas especies tuvieron un comportamiento ascendente, la especie de *Scirpus californicus* llegó hasta un máximo de 31.6 cm, teniendo un crecimiento de 11.6 cm, durante los 5 meses; mientras que la especie *Festuca dolichophylla*, llegó a un máximo de 27.5 cm, creciendo 12.5 cm durante 5 meses. Este comportamiento de las plantas se relaciona con el clima y altitud del lugar. La *Festuca dolichophylla* tuvo un mayor crecimiento ya que es una especie adaptada al clima y altitud del Distrito de Morococha. En cuanto a la *Scirpus californicus* la velocidad de crecimiento es más pausada en invierno.

En cuanto a la evaluación de parámetros físicos - químicos e inorgánicos, Según los resultados del análisis el efluente de mina de Austria Duvaz SA, exceden el Límite Máximo Permisible según indica el DS. 010-2010-MINAM, lo cual, después del tratamiento mediante los efluentes artificiales, muestran valores de PH ligeramente neutros y dentro de lo establecido en el LMP para efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicos, que varían desde 6.39 a 6.43 para el humedal de Totorá y de 5.97 a 6.33 para el humedal con Ichu. Estadísticamente existe diferencia significativa del pH entre el efluente inicial y los efluentes tratados, El aumento de PH después del tratamiento con humedales, se debe al uso de piedras calizas (molidas) en la salida de cada humedal, la caliza contiene 80 a 95 % de CaCO_3 , Según (Hedin, R.S., 1994) Cuando un agua ácida y con alto contenido metálico entra

en contacto con la caliza, la primera reacción que ocurre es la neutralización de la acidez protónica y esta reacción eleva el pH.

En el caso de los parámetros inorgánicos: Arsénico total, Cadmio total, Cobre total, Plomo total, Zinc total y Hierro disuelto, los resultados de los análisis de los efluentes de los humedales con ambas especies vegetales, muestran valores cercanos y dentro del límite permitido, lo cual se debe a la naturaleza propia de los humedales y a los mecanismos de tratamiento que incluyen sedimentación, precipitación química, absorción, e interacción biológica así como la captación por parte de la vegetación, puesto que el humedal fija físicamente los contaminantes en la superficie de los sustratos y la materia orgánica, de la misma forma la vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilitando la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual (metales totales y disueltos), y los microorganismos son los que transforman un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.

CONCLUSIONES

Se analizó el efluente de la poza de bombeo N° 2, de la compañía minera Austria Duvaz S.A. Con resultados de PH de 4.6, lo cual representa un agua acida, fuera del límite para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas.

Se diseñó y construyó dos humedales artificiales con dimensiones de 0,2 m de diámetro, 0,8 m de altura. Con lo cual se logró llevar el pH de 4.6 a 6.41 en el caso del humedal empleando *Scirpus californicus* (Totorá) y de 4.6 a 6.15 en el caso del humedal empleando *Festuca Dolichophylla* (Ichu), obteniendo así que el efluente de ambos humedales cumpla con Límites Máximos Permisibles.

Se redujo la concentración de metales totales (Arsénico total, Cadmio total, Cobre total, Plomo total, Zinc total), y metales disueltos (Fe) en ambos sistemas de tratamiento.

No todos los valores lograron ser disminuidos hasta cumplir el LMP, tal es el caso del Hierro disuelto (humedal con Ichu – Mes de diciembre 2019), Plomo total (Humedal con Ichu - Mes de diciembre 2019), Zinc total (En ambos humedales - Mes de diciembre 2019); pero sí tuvieron una disminución significativa en comparación al efluente de mina (Inicial).

El humedal con la especie vegetal *Festuca Dolichophylla* (Ichu), tiene menor eficiencia de remoción de metales, en comparación al humedal con la especie vegetal *Scirpus californicus* (Totorá). En ambos humedales se obtuvo menor eficiencia de remoción para los metales: Zinc Total y Hierro Disuelto.

En cuanto al rendimiento de los humedales (Remoción de contaminantes %) se puede decir que la especie de *Scirpus californicus* (Totorá) tiene mayor rendimiento en remoción de metales.

La adaptación y crecimiento de las especies vegetales plantadas en ambos sistemas de tratamientos, son ascendentes y positivos.

RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios de humedales con especies altoandinas, ya que algunos de estos tienen la capacidad de absorber y tolerar los metales.
- Realizar estudios en el accionar de las bacterias en un sistema de humedal e investigar la forma de potenciar su rendimiento.
- Se recomienda tener en cuenta el uso de caliza u otro material para la regulación del PH, en el caso el agua sea ácido.
- Tener en cuenta que los humedales se instalaron en la intemperie a condiciones de ambiente, por lo que también la precipitación juega un papel importante.
- Se recomienda realizar un pretratamiento de efluentes antes de utilizar el sistema de humedales artificiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje Acido de mina - Generacion y tratamiento*. España.
- Angélica Corzo Hernández, Joan García Serrano. (2008). *Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Catalunya.
- Arias Trigueño, O. (2004). *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Barcelona: Tesina.
- Blanco Rubio, I. (2014). *Aplicación de humedales artificiales para la depuración de purines de granjas porcinas*. Ciudad deLeon: tesis doctoral.
- Botrán Morillo, M. C. (2015). *Recuperación de aguas ácidas de minería de sulfuros por métodos naturales*. Sevilla.
- Delgadillo, O., Camacho, A., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Bolivia. Bolivia.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Fernando Perez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio*. Cochabamba, Bolivia.
- Diaz Hoyos, M. L., & Peralta Rodríguez , L. R. (2017). *Estudio comparativo de la capacidad de acumulación para cadmio y plomo de scirpus californicus (totora) y Stipa Ichu (Ichu) bajo condiciones hidropónicas*. Arequipa. Perú: Tesis.
- Gómez Lordan, Y. M. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando cyperus alternifolius y chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas*. Lima. Perú: Tesis.
- Hernández Puerta, N., & Luna Galvis, J. S. (2016). *Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal las Tinguas, en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Bogota.

HUIZA MATAMOROS, A., & RELLANA ORELLANA,, W. (2015). “*REMOCIÓN DE METALES DEL DRENAJE ACIDO DE MINA MEDIANTE LECHO PULSADO DE CALIZA DEL PASIVO AMBIENTAL MINERO* . Huancayo.Perú.

Inga Blancas, E. R. (2011). *Tratamiento de efluentes por el metodo de pantanos artificiales* . Perú: Tesis .

Lara Borreno, J. (1999). *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales*. Cataluña, Barcelona: tesis de maestria.

M, R. V. (2015). *efluentes mineros*.

Miranda Rios , M., & Luna M, V. (2001). *Estado del arte y perspectivas de aplicación de los humedales artificiales de flujo horizontal en México*. Mexico.

Paredes Salazar, J. L. (2015). *Estudio comparativo de la capacidad de acumulación para cadmio y plomo de scirpus californicus (totora) y Stipa Ichu (Ichu) bajo condiciones hidropónicas*. Lima. Perú: Tesis.

Rimarachin Varas,, P., & Huaranga Moreno, F. (2015). Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. *SCIENDO*, 20-29.

MINAM-PERÚ. (2010) Ministerio del Ambiente del Perú. *D.S. 003-2010-MINAM*.

ANEXOS

ANEXO I:

INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS:

1. FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 01: Recolección de especies a utilizar: Totora e Ichu



Fotografía N°02: Acondicionamiento de los humedales artificiales



Fotografía N°03: Monitoreo de parámetros de campo con el multiparámetro



Fotografía N°04: Primer muestreo de agua de los humedales artificiales

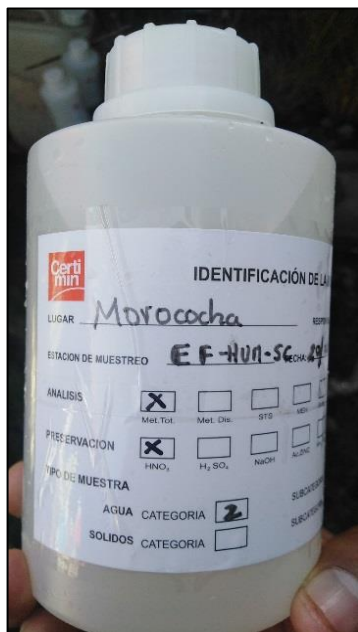


Fotografía N°05: Segundo muestreo de agua de los humedales artificiales



Fotografía N°06: Etiquetado y enviado de las muestras hacia la ciudad de Lima- CERTIMIN

S.A



Fotografía N°07: Vista de los humedales artificiales el último mes del proyecto de investigación



INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS:

2. INFORMES DE ENSAYO



**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 1 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 129565L/19-MA

ORGANISMO ACREDITADO : INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C.
REGISTRO DE ACREDITACIÓN : N° LE - 031
CLIENTE : SOCIEDAD MINERA AUSTRIA DUVAZ SAC
DIRECCIÓN : Av. El Derby N° 254 Oficina N° 405 Santiago de Surco
PRODUCTO : Agua residual
MATRIZ : Agua residual industrial
NÚMERO DE MUESTRAS : 2
PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : Frascos de plástico
PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS : Muestras recolectadas por Inspectorate Services Perú S.A.C.
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : P-OMA-003 Muestreo de Agua, Conservación y Transporte
FECHA DE MUESTREO : 2019-10-11
LUGAR DE MUESTREO : Yauli - La Oroya - Junín
REFERENCIA DEL CLIENTE : La Oroya - Yauli
FECHA DE RECEPCIÓN DE LAS MUESTRAS : 2019-10-12
FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : 2019-10-12
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2019-10-19
ORDEN DE SERVICIO : OS/O-19-11145

Callao, 12 de Octubre de 2019

**Inspectorate Services Perú S.A.C.
A Bureau Veritas Group Company**


Firmado Digitalmente por:
EVELYN PATRICIA GUISEP LOROÑA
Fecha: 27/12/2019 09:41:08

C.I.P. 98232
JEFE DE LABORATORIO MEDIO AMBIENTE

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.
Se declara que los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo y muestreo (la declaración aplica a muestreo en caso el laboratorio sea responsable de este).
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió (aplica en caso el laboratorio no haya sido responsable de la etapa de muestreo).
< "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.
> "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.
A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis. Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

**Av. Elmer Faucett N° 444 distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central : 51 (1) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com**





**BUREAU
VERITAS**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 129565L/19-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

| | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------|--------|----------------|
| Estación de Muestreo | | | | PB2-Nv 1700 |
| Fecha de Muestreo | | | | 2019-10-11 |
| Hora de Muestreo | | | | 13:00 |
| Código de Laboratorio | | | | 16674 00001 |
| Matriz | | | | ARI |
| Ensayo | Unidad | L.C. | L.D. | |
| Sólidos Totales Suspendedos | mg/L | 3.0 | 1.3 | 99.0 |
| Metales Totales / Disueltos ICP-MS | | | | |
| Cu (Tot) | mg/L | 0.0001 | 0.0001 | 1.5917 |
| Zn (Tot) | mg/L | 0.0002 | 0.0001 | 6.2104 |
| As (Tot) | mg/L | 0.0004 | 0.0002 | 0.1951 |
| Cd (Tot) | mg/L | 0.0002 | 0.0001 | 0.1369 |
| Hg (Tot) | mg/L | 0.0001 | 0.0001 | <0.0001 |
| Pb (Tot) | mg/L | 0.0002 | 0.0001 | 1.4965 |
| Fe (Tot) | mg/L | 0.0001 | 0.0001 | 1.0258 |
| Fe (Dis) | mg/L | 0.0001 | 0.0001 | 3.7890 |
| Ensayos de Campo | | | | |
| pH | Unidad de pH | -- | -- | 4.6 |
| Temperatura | °C | -- | -- | 10.0 |

**BUREAU
VERITAS**



**BUREAU
VERITAS**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 3 / 3

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 129565L/19-MA

MÉTODOS DE ENSAYO

| ENSAYO | NORMA DE REFERENCIA |
|---|--|
| pH | EPA Method 150.1 1999. pH (Electrometric), Approved for NPDES (Editorial Revision 1978, 1982). |
| Temperatura | EPA Method 170.1. 1999. Temperature(Thermometric) Approved for NPDES (issued 1974). |
| Sólidos Totales Suspendidos | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C |
| METALES TOTALES Y DISUELTOS EN AGUA POR ICP MS: Al, Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Hg, Mo, Ni, Se, Ag, Ti, Th, U, V, Zn. METALES TOTALES Y DISUELTOS VALIDADOS: B, P, Sr, Li, Bi, Na, Ca, Ti, Sn, Ce, Mg, Fe, K. | EPA Method 200.8, Revision 5.4 1999 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry |

MATRICES

| MATRIZ | DESCRIPCIÓN |
|--------|--------------------------|
| ARI | Agua residual industrial |

NOTAS

Las muestras ingresaron al Laboratorio en condiciones adecuadas para la realización de los análisis solicitados.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

"L.D." significa Límite de detección.



**BUREAU
VERITAS**



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 022



Página 1 de 11

Registro N°LE -022

INFORME DE ENSAYO N° FEB1007.R20

| | |
|--|--|
| SOLICITANTE : | ALICIA SUCARI LAURA |
| DOMICILIO LEGAL : | Alejandria S/N Morococha, Yauli, Junin |
| SOLICITADO POR : | Alicia Sucari Laura |
| SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL: | SSA N° 49-20 Cadena de custodia N° 196-20/CERTIMIN |
| REFERENCIA : | Morococha / Yauli / Junin Monitoreo Calidad de Agua |
| FECHA DE MUESTREO : | 2019/12/08 |
| MUESTRA TOMADA POR : | EL CLIENTE |
| PROTOCOLO : | -- |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua Residual Industrial |
| NUMERO DE MUESTRAS : | 2 |
| PRESENTACION DE LAS MUESTRAS : | Frascos de polietileno refrigerados y sellados. |
| CONDICION DE LAS MUESTRAS : RECEPCIONADAS | Muestra en buena condición para el análisis solicitado |
| FECHA DE RECEPCION : | martes, 10 de Diciembre de 2019 |
| IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS : | Según se indica |
| FECHA DE EJECUCION DE ENSAYO : | 2019-12-10 al 2019-12-17 |
| FECHA DE REPORTE : | lunes, 17 de Diciembre de 2019 |
| PERIODO DE CUSTODIA : | Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la metodología o norma empleada. |

EDGAR NINA VELÁSQUEZ
Jefe Ambiental
CQP. 729

Lima, 17 de Diciembre de 2019

"Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A."
"Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce".
Los resultados corresponden a las muestras indicadas.
El laboratorio no es responsable de la información proporcionada por el cliente.
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió por parte del cliente.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Registro N° LA - 022

**INFORME DE ENSAYO
N° FEB1007.R20**

RESULTADOS

| Muestras | | Elementos | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|-------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| N° | Codigo de Servicio Elemento Unidad Límite de Detección ID | MON0000 Fecha Monitoreo | MON0000 Tipo Muestra | MA1000 Nor* WGS-84 | MA1000 Est* WGS-84 | MA1000 Altitud* msnm | MA1000 Temperatura* °C | MA1000 pH* Unid de pH | MA1000 Conductiv.* µS/cm | MA1000 TSD* mg/L | MA0121 Ag (t) mg/L | MA0113 Ag (d) mg/L | MA0121 Al (t) mg/L | MA0113 Al (d) mg/L | MA0121 As (t) mg/L | MA0113 As (d) mg/L |
| 1 | EF-HUM-FD | 2019-12-08 11:30 | Agua Residual Industrial | 8719017 | 383944 | 4245 | 10.2 | 5.97 | 2092 | 1046 | <0.002 | <0.002 | 1.59 | 0.21 | <0.008 | <0.008 |
| 2 | EF-HUM-SC | 2019-12-08 11:45 | Agua Residual Industrial | 8719017 | 383944 | 4245 | 9.6 | 6.39 | 1854 | 927 | <0.002 | <0.002 | 0.82 | 0.05 | <0.008 | <0.008 |

LD: Límite de Detección (Límite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.
Las Coordenadas*, Altitud*, Temperatura*, pH*, Conductiv.*, TSD*: son datos proporcionados por el cliente

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Registro N° LE - 022

**INFORME DE ENSAYO
N° FEB1007.R20**

| Muestras | | Elementos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | MA0121 Ba (t) mg/L | MA0113 Ba (d) mg/L | MA0121 Be (t) mg/L | MA0113 Be (d) mg/L | MA0121 B (t) mg/L | MA0113 B (d) mg/L | MA0121 Ca (t) mg/L | MA0113 Ca (d) mg/L | MA0121 Cd (t) mg/L | MA0113 Cd (d) mg/L | MA0121 Ce (t) mg/L | MA0113 Ce (d) mg/L | MA0121 Co (t) mg/L | MA0113 Co (d) mg/L | MA0121 Cr (t) mg/L | MA0113 Cr (d) mg/L | MA0121 Cu (t) mg/L | MA0113 Cu (d) mg/L | MA0121 Fe (t) mg/L | MA0113 Fe (d) mg/L | MA0121 K (t) mg/L |
| 1 | EF-HUM-FD | 0.116 | 0.104 | <0.0003 | <0.0003 | 0.032 | 320.71 | 312.48 | 0.013 | 0.011 | 0.04 | 0.02 | 0.023 | 0.021 | <0.004 | <0.004 | 0.341 | 0.094 | 15.04 | 2.30 | 23.09 | 20.28 |
| 2 | EF-HUM-SC | 0.091 | 0.085 | <0.0003 | <0.0003 | 0.040 | 479.65 | 470.12 | 0.006 | <0.001 | 0.04 | 0.02 | 0.005 | 0.003 | <0.004 | <0.004 | 0.209 | 0.006 | 7.57 | <0.01 | 21.48 | 20.49 |

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



INFORME DE ENSAYO
N° FEB1007.R20

Registro N° LE-022

| N° | Codigo de Servicio | Elementos | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | MA0113 Li (d) mg/L | MA0121 Mg (t) mg/L | MA0113 Mg (d) mg/L | MA0121 Mn (t) mg/L | MA0113 Mn (d) mg/L | MA0121 Fe (t) mg/L | MA0113 Fe (d) mg/L | MA0121 Ni (t) mg/L | MA0113 Ni (d) mg/L | MA0121 P (t) mg/L | MA0113 P (d) mg/L | MA0121 Pb (t) mg/L | MA0113 Pb (d) mg/L | MA0121 Sb (t) mg/L | MA0113 Sb (d) mg/L | MA0121 Se (t) mg/L | MA0113 Se (d) mg/L | MA0121 Sr (t) mg/L |
| 1 | EF-HUM-FD | 0.009 | 34.23 | 32.81 | 31.364 | 30.779 | <0.004 | 29.06 | 24.07 | 0.017 | 0.013 | 0.19 | <0.06 | 0.29 | <0.01 | <0.008 | <0.008 | <0.02 | <0.007 |
| 2 | EF-HUM-SC | 0.013 | 39.77 | 34.75 | 15.940 | 9.612 | <0.004 | 35.53 | 31.23 | 0.010 | <0.002 | 0.14 | <0.06 | 0.15 | <0.01 | <0.008 | <0.02 | <0.007 | <0.007 |

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022

Página 5 de 11



INFORME DE ENSAYO
N° FEB1007.R20

Registro N° LE - 022

| N° | Codigo de Servicio | Elementos | | | | | | | | | | | |
|----|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | MA0113 Sn(d) mg/L | MA0121 Sr(t) mg/L | MA0113 Sr(d) mg/L | MA0121 Ti(t) mg/L | MA0113 Ti(d) mg/L | MA0121 Ti(t) mg/L | MA0113 Ti(d) mg/L | MA0121 V(t) mg/L | MA0113 V(d) mg/L | MA0121 V(t) mg/L | MA0113 Zn(d) mg/L | MA0121 Zn(t) mg/L |
| 1 | EF-HUM-FD | <0.007 | 1.5507 | 1.2650 | <0.01 | <0.01 | <0.05 | <0.05 | <0.003 | <0.003 | <0.003 | 4.172 | 3.744 |
| 2 | EF-HUM-SC | <0.007 | 2.3701 | 2.0541 | <0.01 | <0.01 | <0.05 | <0.05 | <0.003 | <0.003 | <0.003 | 2.102 | 0.197 |

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 022



Página 1 de 11

Registro N° LE -022

INFORME DE ENSAYO N° FEB1173.R20

| | |
|--|--|
| SOLICITANTE : | ALICIA SUCARI LAURA |
| DOMICILIO LEGAL : | Alejandria S/N Moroccocha, Yauli, Junín |
| SOLICITADO POR : | Alicia Sucari Laura |
| SOLICITUD DE SERVICIO AMBIENTAL: | SSA N° 114-20 Cadena de custodia N° 374-20/CERTIMIN |
| REFERENCIA : | Moroccocha / Yauli / Junín Monitoreo Calidad de Agua |
| FECHA DE MUESTREO : | 2020/02/20 |
| MUESTRA TOMADA POR : | EL CLIENTE |
| PROTOCOLO : | -- |
| TIPO DE MUESTRA: | Agua Residual Industrial |
| NÚMERO DE MUESTRAS : | 2 |
| PRESENTACIÓN DE LAS MUESTRAS : | Frascos de polietileno refrigerados y sellados. |
| CONDICIÓN DE LAS MUESTRAS : RECEPCIONADAS | Muestra en buena condición para el análisis solicitado |
| FECHA DE RECEPCIÓN : | sábado, 22 de Febrero de 2020 |
| IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS : | Según se indica |
| FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYO : | 2020-02-22 al 2020-02-27 |
| FECHA DE REPORTE : | jueves, 27 de Febrero de 2020 |
| PERIODO DE CUSTODIA : | Hasta un mes. De acuerdo a las recomendaciones de la metodología o norma empleada. |

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

EDGAR NINA VELEZQUEZ
Jefe Ambiental
CQ P. 729

Lima, 27 de Febrero de 2020

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIMIN S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Los resultados corresponden a las muestras indicadas.
El laboratorio no es responsable de la información proporcionada por el cliente.
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió por parte del cliente.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Registro N° LE - 022

**INFORME DE ENSAYO
N° FEB1173.R20**

RESULTADOS

| Muestras | | Elementos | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|------------------------|--------------------|--------------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| N° | Código de Servicio Elemento Unidad Límite de Detección LD | MOR000 Fecha Monitoreo | MOR000 Tipo Muestra | MA1000 Nor* WGS-84 | MA1000 Est* WGS-84 | MA1000 Altitud* mslm | MA1000 Temperatura* °C | MA1000 Unid. de pH | MA1000 Conductiv.* µS/cm | MA1000 TSD* mg/L | MA0121 Ag (t) mg/L | MA0113 Ag (d) mg/L | MA0121 Al (t) mg/L | MA0113 Al (d) mg/L | MA0121 As (t) mg/L | MA0113 As (d) mg/L |
| 1 | EF-HUM-FD | 2020-02-20 10:00 | Agua Residual Industrial | 8719017 | 383944 | -- | 10.2 | 6.33 | 1753 | 903 | <-0.002 | <-0.002 | 0.18 | 0.06 | <-0.008 | <-0.008 |
| 2 | EF-HUM-SC | 2020-02-20 10:20 | Agua Residual Industrial | 8719017 | 383944 | -- | 10.0 | 6.43 | 1508 | 751 | <-0.002 | <-0.002 | 0.09 | <-0.02 | <-0.008 | <-0.008 |

LD: Límite de Detección (Límite Reportable) que es tomado en base al Límite de Cuantificación del Método LCM.
Las Cordenadas ; Temperatura ; pH ; Conductiv. ; TSD* son datos proporcionados por el cliente.

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Registro N° LE-022

**INFORME DE ENSAYO
N° FEB1173.R20**

| Muestras | | Elementos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------------|-----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|------|
| | | MA0121 | MA0113 | MA0121 | MA0113 | MA0121 | MA0113 | MA0121 | MA0113 | MA0121 | MA0113 | MA0121 | MA0113 | MA0121 | MA0113 | MA0121 | MA0113 | | | | | | | |
| N° | Código de Servicio | Ba (t) | Ba (d) | Be (t) | Be (d) | B (t) | B (d) | Ca (t) | Ca (d) | Cd (t) | Cd (d) | Ce (t) | Ce (d) | Co (t) | Co (d) | Cz (t) | Cz (d) | Cu (t) | Cu (d) | Fe (t) | Fe (d) | K (t) | K (d) | |
| | Elemento | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L |
| | Unidad | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Limite de Detección | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID | ID |
| 1 | EF-HUM-FD | 0.091 | 0.066 | <0.0003 | <0.0003 | 0.022 | 0.003 | 525.79 | 499.50 | 0.003 | 0.003 | 0.05 | 0.03 | <0.002 | <0.002 | <0.004 | <0.004 | 0.028 | 0.008 | 1.47 | 1.40 | 20.75 | 19.71 | |
| 2 | EF-HUM-SC | 0.067 | 0.064 | <0.0003 | <0.0003 | 0.037 | 0.037 | 501.40 | 476.33 | <0.001 | <0.001 | 0.05 | 0.04 | <0.002 | <0.002 | <0.004 | <0.004 | 0.024 | 0.007 | 0.58 | 0.14 | 15.65 | 14.86 | |

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



Registro N° LE - 022

**INFORME DE ENSAYO
N° FEB1173.R20**

| N° | Codigo de Servicio Elemento Unidad Limite de Detección ID | Elementos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | MA0121 Li (t) mg/L | MA0113 Li (d) mg/L | MA0121 Mg (t) mg/L | MA0113 Mg (d) mg/L | MA0121 Mn (t) mg/L | MA0113 Mn (d) mg/L | MA0121 Mo (t) mg/L | MA0113 Mo (d) mg/L | MA0121 Na (t) mg/L | MA0113 Na (d) mg/L | MA0121 Ni (t) mg/L | MA0113 Ni (d) mg/L | MA0121 P (t) mg/L | MA0113 P (d) mg/L | MA0121 Pb (t) mg/L | MA0113 Pb (d) mg/L | MA0121 Sb (t) mg/L | MA0113 Sb (d) mg/L | MA0121 Se (t) mg/L | MA0113 Se (d) mg/L |
| 1 | EF-HUM-FD | 0.012 | 0.012 | 33.56 | 31.89 | 8.604 | 8.174 | <0.004 | 45.08 | 42.83 | <0.002 | <0.002 | <0.06 | <0.06 | <0.01 | <0.01 | <0.008 | <0.008 | <0.02 | <0.02 | <0.007 |
| 2 | EF-HUM-SC | 0.010 | 0.009 | 30.47 | 28.94 | 3.491 | 3.309 | <0.004 | 33.07 | 31.41 | <0.002 | <0.002 | <0.06 | <0.06 | <0.01 | <0.01 | <0.008 | <0.008 | <0.02 | <0.02 | <0.007 |

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



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 022



**INFORME DE ENSAYO
N° FEB1173.R20**

| N° | Muestras | Elementos | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| | | MA0113 Sn (d) mg/L | MA0121 Sr (t) mg/L | MA0113 Sr (d) mg/L | MA0121 Ti (t) mg/L | MA0113 Ti (d) mg/L | MA0121 Ti (t) mg/L | MA0113 Ti (d) mg/L | MA0121 V (t) mg/L | MA0113 V (d) mg/L | MA0121 Zn (t) mg/L | MA0113 Zn (d) mg/L | |
| 1 | EF-HUM-FD | <0.007 | 2.2607 | 2.1477 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.05 | <0.05 | <0.003 | 0.363 | 0.345 | |
| 2 | EF-HUM-SC | <0.007 | 2.2185 | 2.1076 | <0.01 | <0.01 | <0.05 | <0.05 | <0.003 | <0.003 | 0.261 | 0.188 | |

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

ANEXO II:
PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y
CONFIABILIDAD:



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombres del experto:** Ben Giancarlo Ricaldi Tinoco
1.2. Grado académico: MAGISTER
1.3. Cargo e institución donde labora: Especialista e geoquímica ambiental - ARCADIS PERU SAC
1.4. Título de la Investigación: “Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus californicus (tatora) y festuca dolichophylla (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín”
1.5. Autor del instrumento: Alicia Sucari Laura
1.6. Nombre del instrumento:
- Informes de ensayo de laboratorio: No. 129565L/19-MA -BUREAU VERITAS.
 - Informes de ensayo de laboratorio N°FEB1007.R20 y N° FEB1173.R20 -CERTIMIN SA

II. ASPECTOS DE VALIDACION

La evaluación consiste en marcar y valorar cada indicador según la escala que se indica:

| INDICADORES | CRITERIOS | Deficiente 0-20% | Regular 21-40% | Bueno 41-60% | Muy Bueno 61- 80% | Excelente 81-100% |
|--------------------------|--|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|----------------------|
| CLARIDAD | Esta formulado con lenguaje apropiado | | | X | | |
| OBJETIVIDAD | Esta expresado en conductas observables | | | | X | |
| ACTUALIDAD | Acorde al avance de la ciencia y tecnología | | | | X | |
| ORGANIZACIÓN | Existe una organización lógica | | | | X | |
| SUFICIENCIA | Comprende los aspectos de cantidad y calidad | | | | X | |
| INTENCIONALIDAD | Adecuado para valorar aspectos del estudio | | | | X | |
| CONSISTENCIA | Basado en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio | | | | X | |
| COHERENCIA | Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables | | | | | X |
| METODOLOGIA | La estrategia responde al propósito del estudio | | | | X | |
| CONVENIENCIA | Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías | | | | X | |
| PROMEDIO DE VALIDACION | | 16 | | | | |
| OPINION DE APLICABILIDAD | Los instrumentos de investigación utilizados son validados por INACAL ya que estos los laboratorios son acreditados por la misma. Por otro lado este instrumento muestra resultados favorables en el tratamiento de efluentes mineros. | | | | | |

Lugar y fecha: Lima, 23 de febrero del 2022

Firma del experto
DNI: 43726175

N° Celular 945479657



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres del experto: BRAVO ASTETE CARLOS GUSTAVO

1.2. Grado académico: INGENIERO CIVIL

1.3. Cargo e institución donde labora: Ministerio del Ambiente - Unidad Ejecutora 003
Gestión De La Calidad Ambiental- Administrador De Contratos De La Supervison De Las Obras Norte.

1.4. Título de la Investigación: "Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus californicus (totora) y festuca dolichophylla (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín"

1.5. Autor del instrumento: Alicia Sucari Laura

1.6. Nombre del instrumento:

- Informes de ensayo de laboratorio: No. 129565L/19-MA -BUREAU VERITAS.
- Informes de ensayo de laboratorio N°FEB1007.R20 y N° FEB1173.R20 -CERTIMIN SA

II. ASPECTOS DE VALIDACION

La evaluación consiste en marcar y valorar cada indicador según la escala que se indica:

| INDICADORES | CRITERIOS | Deficiente 0-20% | Regular 21-40% | Buena 41-60% | Muy Buena 61-80% | Excelente 81-100% |
|--------------------------|--|---------------------|-------------------|-----------------|---------------------|----------------------|
| CLARIDAD | Esta formulado con lenguaje apropiado | | | | X | |
| OBJETIVIDAD | Esta expresado en conductas observables | | | | X | |
| ACTUALIDAD | Acorde al avance de la ciencia y tecnología | | | | X | |
| ORGANIZACIÓN | Existe una organización lógica | | | | X | |
| SUFICIENCIA | Comprende los aspectos de cantidad y calidad | | | | X | |
| INTENCIONALIDAD | Adecuado para valorar aspectos del estudio | | | | | X |
| CONSISTENCIA | Basado en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio | | | | | X |
| COHERENCIA | Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables | | | | | X |
| METODOLOGIA | La estrategia responde al propósito del estudio | | | | | X |
| CONVENIENCIA | Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías | | | | X | |
| PROMEDIO DE VALIDACION | | 18 | | | | |
| OPINION DE APLICABILIDAD | El instrumento que se muestra en la presente investigación evidencia claramente los resultados del sistema de tratamiento utilizado. Siendo estos datos acreditados por el laboratorio que lo analizo. | | | | | |

Lugar y fecha: Lima, 23 de febrero 2022

Firma del experto
DNI: 40321740

N° Celular: 964919410



VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres del experto: **Rios Villanes, Orlando Eliot**

1.2. Grado académico: **INGENIERO AMBIENTAL**

1.3. Cargo e institución donde labora: **Jefe de Asuntos Ambientales - AMG Auplata Mining Group S.A.C.**

1.4. Título de la Investigación: "Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus californicus (totora) y festuca dolichophylla (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín"

1.5. Autor del instrumento: **Alicia Sucari Laura**

1.6. Nombre del instrumento:

- Informes de ensayo de laboratorio: No. 129565L/19-MA -BUREAU VERITAS.
- Informes de ensayo de laboratorio N°FEB1007.R20 y N° FEB1173.R20 -CERTIMIN SA

II. ASPECTOS DE VALIDACION

La evaluación consiste en marcar y valorar cada indicador según la escala que se indica:

| INDICADORES | CRITERIOS | Deficiente 0-20 % | Regular 21-40% | Bueno 41-60% | Muy Bueno 61- 80% | Excelente 81-100 % |
|--------------------------|---|----------------------|-------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| CLARIDAD | Esta formulado con lenguaje apropiado | | | X | | |
| OBJETIVIDAD | Esta expresado en conductas observables | | | X | | |
| ACTUALIDAD | Acorde al avance de la ciencia y tecnología | | | X | | |
| ORGANIZACIÓN | Existe una organización lógica | | | | X | |
| SUFICIENCIA | Comprende los aspectos de cantidad y calidad | | | X | | |
| INTENCIONALIDAD | Adecuado para valorar aspectos del estudio | | | | X | |
| CONSISTENCIA | Basado en aspectos teóricos – científicos y del tema de estudio | | | | X | |
| COHERENCIA | Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables | | | | X | |
| METODOLOGIA | La estrategia responde al propósito del estudio | | | | X | |
| CONVENIENCIA | Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías | | | | X | |
| PROMEDIO DE VALIDACION | | 15 | | | | |
| OPINION DE APLICABILIDAD | Los instrumentos de investigación demuestran que el tratamiento de efluentes mineros con humedales son posibles y tienen un grado moderado - alto grado de efectividad. | | | | | |

Lugar y fecha: **Cerro de Pasco, 23 de febrero del 2022**

Firma del experto
DNI: **41998893**

N° Celular **989 760 993**