



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DISEÑO DE UN HUMEDAL COMO TÉCNICA DE
REMEDIACIÓN PARA LAS AGUAS ÁCIDAS DEL
PASIVO AMBIENTAL EL DORADO DE
HUALGAYOC”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autora:

Yaceli Maribel Delgado Espinoza

Asesor:

Mg. Betzabé Sulma Churampi Casas

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a Dios y a mis padres, a Dios porque ha estado conmigo en cada paso que he dado, cuidándome y dándome fortaleza para continuar; a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi mayor apoyo en todo momento, depositando entera confianza en cada reto que se me ha presentado sin dudar ni un solo momento en la inteligencia y capacidad que tengo, es por ello que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradecida con Dios y con la vida por la bendición de vivir y ser capaz de lograr mis sueños y metas propuestas, un profundo agradecimiento a Mg. Betzabe Curampi, por encaminar mi investigación por el camino correcto de la ingeniería; su experiencia y criterio ha dado forma y coherencia a la presente investigación. Agradezco a mis padres, hermanos y amigos por brindarme soporte psicológico durante el proceso de desarrollo de mi Tesis de grado, agradezco al estado peruano por apostar al talento mediante sus modalidades de becas en conjunto con PRONABEC sin sus recursos económicos y sociales mi formación no estaría completa.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	2
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema.....	28
1.3. Objetivos	28
1.4. Hipótesis	29
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	30
2.1. Tipo de investigación.....	30
2.2. Población y muestra	31
2.3. Técnicas de Recolección de Datos.....	33
2.4. Procedimiento	34
CAPÍTULO III. RESULTADOS	36
3.1. Caracterización del agua	36
3.2. Resultados para el Dimensionamiento.....	39
3.3. Diseño del Humedal.....	42
3.4. Costeo del Humedal Diseñado.....	49
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	51
4.1 Discusión	51
4.2 Conclusiones	55
REFERENCIAS	56
ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especies Vegetales	24
Tabla 2 Profundidad de Caliza Estándar	32
Tabla 3 Resumen de Ensayos ICP	36
Tabla 4 Comparativa de Concentraciones Metálica VS LMP	37
Tabla 5 Medición del Caudal.....	38
Tabla 6 Estándar de Profundidad de Caliza.....	40
Tabla 7 Masa de Caliza	41
Tabla 8 Presupuesto de Humedal	50
Tabla 9 Consideraciones de Costeo.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diseño en AutoCAD del Humedal.....	43
---	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Carga Metálica de Fe por día.....	32
Ecuación 2 Área Mínima de un Humedal - USBM.....	32
Ecuación 3 Carga Metálica de Fe por día - USBM.....	34
Ecuación 4 Área Minina de un Humedal - USBM.....	34
Ecuación 5 Procedimiento de Cálculo Carga Metálica de Fe por día - USBM.....	39
Ecuación 6 Procedimiento de Cálculo de área mínima de Humedal - USBM.....	39

RESUMEN

La presente investigación es proyectiva que ofrece una solución a nivel de ingeniera que significa una propuesta viable para el tratamiento de aguas ácidas producidas de los Pasivos Ambientales Mineros El Dorado en la provincia de Hualgayoc (Cajamarca). El objetivo de la investigación es diseñar un humedal en base a las características de concentraciones metálicas del hierro presentes en las aguas muestreadas (Ensayo ICP) por AMSAC, también se da un alcance del presupuesto de costeo de aplicación a escala real en campo, el proceso de recolección de datos es de tipo prospectivo ya que se toma una data proporcionada por AMSAC ideal para la clasificación de aguas en parámetros de pH y concentraciones metálicas. El dimensionamiento se calcula con el método de “Área Mínima de un Humedal” (USBM), también hacemos uso del valor estándar proporcionado por Pearson y McDonnell de 3 ft para calcular la cantidad de caliza en masa. Finalmente, los cálculos realizados en base a la concentración de Fe de 53.084 ppm nos resultan un área de 100 m², asumiendo una longitud de 12 m y un ancho de 8.33 m, con estas dimensiones se procede a realizar los metrados estimando la inversión de implementación de S/. 54923.04.

Palabras clave: Humedal, Tratamiento, Aguas Ácidas, Pasivos Ambientales Mineros y Concentración Metálica.

1.1. Realidad problemática

El segundo problema ambiental del Perú es el tema de Pasivos Ambientales Mineros (PAM), estos generados producto de la minería sin fiscalización establecida años atrás; pero desde qué fecha tenemos registros de estos PAMs, pues el desarrollo histórico nos dice que aproximadamente en los años 50 y 60 se tuvo la llegada de personal altamente capacitado y con experiencia en el sector minero. Esto dio origen a la que sería la escuela de la Minería en el Perú, estamos hablando de Cerro de Pasco Corporation, ese es el registro formal de antaño que se tiene (Sotomarino, C.; 2017). El gestionamiento de pasivos ambientales mineros en el Perú, se viene realizando en 4 etapas establecidas en un plan de Manejo: Etapa 1 empezando por una actualización de inventarios, con objeto de mantener un control de cuántos, cuáles y dónde están ubicados los pasivos así como también identificar su nivel de riesgo, después Etapa 2 de determinación de los responsables de la generación de dichos PAMs esto con objeto de incluir esa información en los planes de mitigación y el presupuesto a emplear en el mismo, como Etapa 3 se realiza la elaboración de estudios de ingeniería para la remediación y finalmente Etapa 4 que es desarrollar las obras de remediación que han sido planteadas anteriormente en los estudios en mención. Como parte de la ayuda al estado en el manejo de esta situación hay gobiernos regionales como Puno y Ancash que asumen la creación de comités y elaboración de estudios. Sobre la responsabilidad de la remediación de un PAM, el marco legal peruano ha considerado 4 tipos: primero la del generador del PAM, segundo la responsabilidad legal de aquel que adquirió el área con PAM, tercero la del remediador voluntario y cuarto la responsabilidad del Estado. (Chappuis, M; 2020)

Son diversos los proyectos en el tiempo que han buscado la remediación de PAMs, tal

es el caso del Proyecto Mantaro iniciado en 1997 enfocado al Control de la Contaminación Ambiental de origen Minero Metalúrgico en la Cuenca del Río Mantaro, he allí la derivación del nombre del proyecto mismo. Como parte del proyecto se adquirió equipos de monitoreo, se elaboró estudios y se contrató personal capacitado especialistas en el tema ambiental. Este proyecto se estableció en un plan de acción con definición de estrategias incluidas en el manejo integral que busca mejorar las prácticas del manejo ambiental. Dentro de su plan de acción incurrieron también un inventario de minas abandonadas en alrededor de la cuenca, incluyendo también la elaboración de perfiles de restauración de un total de 12 minas abandonadas en dicha cuenca. (Villegas, E.; 2006). Existe también el Proyecto EPA, el cual tuvo su inicio en el año 2001, este proyecto ha sido designado a la Dirección de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) con el mismo objeto de elaborar estudios y planes de acción para rehabilitación de las áreas afectadas por PAMs. En este proyecto se logró desarrollar cuatro inventarios de minas sin actividad, también se realizaron monitoreo de cuencas, estudios de remediación, estudios de ingeniería básica y un detalle de ocho PAMs de la cuenca del Río Santa, estas labores se desarrollaron entre los años 2011 y finalizaron el 2003. (DGAAM, 2003)

Activos Mineros es la encargada de dar inicio a las actividades de estudios y remediación en Hualgayoc, iniciando en una sub cuenca del río Hualgayoc, se ha realizado el cierre de cinco depósitos de relaves de la zona en mención de la investigación (El Dorado), se ha logrado el cierre con recursos del convenio FONAM y MINERAS, el mismo que realizó la ingeniería de detalle para el cierre ambiental de los cinco depósitos, dicho cierre se logró con una inversión de 1.3 MM de dólares. En otra de las sub cuencas del río Tingo.

Maygasbamba, se desarrolló una planta de tratamiento para las aguas ácidas en la quebrada el Sinchao, FONAM fue el encargado de realizar el diseño de la planta de tratamiento con recursos del convenio mismo. Así mismo también se realizó en el siguiente año el proyecto de reforestación de la cuenca Llaucano, el plan que se viene desarrollando es incluir 120 hectáreas en las zonas El Sinchao y El Dorado cercanas a PAMs con prospecto de llegar a unas 500 hectáreas; todo con objetivo de remediar aguas y suelos ligadas a estas fuentes de impacto. (Dirección Técnica Minera, 2006 - 2007) A consecuencia del buen desempeño de la empresa privada Activos Mineros, también se asignó el plan de cierre remediación de pasivos en la exploración del Proyecto Michiquillay en Cajamarca, en Pasco también se le dio la aprobación del manejo de el Plan Chinchaycocha destinados a la remediación de los PAMs cercanos al Río San Juan, en Junín la empresa también desarrolló reforzamientos de diques de depósitos de relaves de Huascacocha, construyó canales de coronación para el mismo depósito y obras adicionales de drenajes superficiales en depósitos abandonados de Vado y Malpaso. (Activos Mineros, 2018)

Entrando en detalle de manejo de los PAMs, tenemos el caso de “La Ciénaga”, son un grupo de PAMs considerados altamente riesgosos; en principio no se tenía un responsable de la generación de dichos PAMs y tras las medidas del estado implementadas en identificar el responsable se identificó a la Compañía Aurífera Marañón S.A., es conocido que está minera culminó sus actividades en el año 2005 sin embargo no asumió ningún trabajo de cierre. Actualmente se declara a dicha empresa sin labores y en total abandono de sus operaciones y con deudas con sus trabajadores y el mismo estado, ante esta situación la remediación de los PAMs generados los asume el estado esto debido al nivel de riesgo alto, es decir se necesita una mitigación inmediata. Vinculado al caso tenemos ahora la Compañía

Minera Poderosa S.A., que actualmente es titular de la concesión Minero Pataz, en el territorio de desarrollo de sus actividades extractivas están estos PAMs y como parte de su plan de labor social esta empresa asume la remediación de los mismos, este trabajo se lleva a cabo de la mano del estado. (Morche, W.; 2017).

Sin embargo con la mencionada larga historia de minería en el Perú, existe un tema controversial que es el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros que representan los estragos de la minería de antaño produciendo Drenajes Ácidos de Mina (DAM) y a su vez mostrando una mala imagen de la relación empresa minero industrial con el medio ambiente, las efectos de la actividad minera nos muestran cifras muy alarmantes tal es caso que la reciente actualización en diciembre de 2019 realizada por el Ministerio de Energía y Minas del Perú nos dan un total de 8448 (PAMs) a nivel nacional de los mismos que en Cajamarca encontramos 1156. (Chávez, J.; 2019). Según la base de datos de Pasivos Ambientales Mineros del 2019 anexada a la Resolución Ministerial N° 010-2019-MEM/DMO, el ministerio identifico para Cajamarca seis cuencas con presencia de pasivos ambientales mineros, siendo la cuenca del Llaucano la que cuenta con 1036 pasivos identificados. (Chávez, J.; 2019) De estos 1156 encontramos en la provincia de Hualgayoc 1067 PAMs, haciendo de Hualgayoc en el distrito con mayor número de PAMs a nivel nacional. Es claro estas cifras son alarmantes, pero sin embargo lo más preocupantes es el impacto que están generando a los ríos de la zona, contaminan las aguas del río Tingo y el río Llaucano, esta ultimo a nivel de cuenca es el que más se ve afectado a nivel nacional (Inchaustegui, 2018). Hablando de la zona en específico destacan los siguientes: Cleopatra y los Negros 53, Tahona 55, Colquirrumi 394, San Nicolás 10, y Sinchao 17, entre varios otros (Echave, J.; 2019).

En el transcurso de los años la minería no contaba con leyes que definen específicamente el manejo de los impactos negativo que se venía generando producto de las actividades mineras, al no tener estos controles establecidos se evidencio en el tiempo que los impactos generados eran perjudiciales para los ecosistemas naturales e incluso la vida misma del hombre, ya que estos impactos se extienden en las aguas aledañas de las cuencas de influencia. La solución viable y atractiva de hacer frente a la problemática es darles un nuevo uso a las áreas afectadas, haciendo de las mismas necesarias para actividades económicas locales como agricultura, generando trabajos y estableciendo una comunicación directa más amigable con la sociedad y el ambiente. (Loayza, R.; 2019)

Los PAMs producen Drenajes, que son los que se tienen en cuenta para verificar su interacción con el medio ambiente, para determinar el tipo de drenaje es necesario hacer un estudio detallado de las condiciones físicas del medio, el clima de lugar y una caracterización de los efluentes de mina, para ello, se realizan muestreos de agua y sedimentos para su análisis en laboratorio y determinar las concentraciones metálicas presentes, también se recurre a la medición in-situ de parámetros como: pH, contenido de oxígeno, potencial rédox, conductividad, temperatura, Fe, acidez/alcalinidad, turbidez y otros. Independientemente de la fuente que da origen a los drenajes de mina, éstos se pueden subdividir en dos grandes grupos: Drenajes alcalinos o aguas residuales con bajo potencial de solubilización y Drenajes ácidos o aguas residuales con alto potencial de solubilización. Según White (1968), las aguas residuales se pueden clasificar en función al pH; las aguas altamente ácidas van desde 1.5 a 4.5 de pH, las llamadas blandas ácidas de 3.5 de pH, las blandas ligeramente ácidas de 5 a 7 pH, las duras neutras y alcalinas de 7 a 8.5 de pH, blandas alcalinas de 7.5 a 11 y las muy salinas de 6 a 9 de pH. Son las aguas de alta acidez las que producen Drenaje Ácido de Mina (DAM) debido a la exposición de los sulfuros y a su

oxidación por diferentes agentes como el agua y el aire en una mina, se puede llegar a formar una solución conocida como DAM y es una de las principales fuentes de contaminación de aguas subterráneas y superficiales en el mundo, la cual presenta valores de pH bajos (menores a 5) y metales pesados y metaloides en solución principalmente hierro, cationes (Na^+ y K^+) y aniones (F^- , Cl^- , SO_4^{2-}). Este problema puede persistir durante décadas de incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo, el (DAM) debe tratarse para neutralizarlo, eliminar los metales de la solución y poder reutilizar el agua o enviarla nuevamente al ambiente natural, para ello se debe aplicar el tratamiento más adecuado cuando se ha formado el (DAM). Estos drenajes son tóxicos en diversos grados para el hombre, la fauna y la vegetación contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles e insolubles, que generalmente proceden de labores mineras, procesos de concentración de minerales, presas de residuos y escombreras de mina. (Lottermoser, 2010). Ante la problemática de generación de DAM, una alternativa al tratamiento convencional de lo constituyen los métodos de tratamiento pasivo, debido a su bajo costo, fácil operación y mantenimiento, y gran eficiencia en el tratamiento de aguas ácidas. Los métodos de tratamiento pasivo van desde drenajes anóxicos de caliza, canales abiertos de caliza, humedales construidos, hasta barreras reactivas permeables, en donde el objetivo principal es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes como los sólidos en suspensión, antimoniatos, arseniatos y otros. (Aduvire, O.; 2006).

Los humedales artificiales se han estudiado durante la última década como una nueva alternativa de tratamiento para las aguas contaminadas con fármacos (Ávila et al., 2010). La remoción de contaminantes dentro de estos sistemas se da por medio de interacciones complejas de carácter fisicoquímico y microbiológico que ocurren al hacer pasar lentamente el agua residual a través de un lecho de sustrato (arena, grava, arcilla), con raíces y rizomas de vegetación emergente. Algunos de los mecanismos que intervienen en la remoción de los compuestos químicos son la biodegradación microbiana, la captación por las plantas, la adsorción en el lecho y la volatilización (Kadlec y Knight, 1996; Matamoros et al., 2008).

Aplicando tratamiento mediante Humedales, el arsénico puede ser removido del agua por rizofiltración usando plantas macrófitas tolerantes al metaloide en el mesocosmos de un humedal construido. El objetivo del presente estudio, fue determinar la retención y distribución de arsénico en el mesocosmos de un humedal de tratamiento. Los experimentos se llevaron a cabo en prototipos de humedales construidos. Uno plantado con *macrostachya* y el otro plantado con *americanus* y un prototipo control sin plantar. Las muestras de agua fueron tomadas a la entrada y salida de los humedales de prueba por un año. Al final del experimento, las plantas y el suelo de cada prototipo se dividieron en tres segmentos iguales (entrada, medio y salida) y se analizaron para determinar el contenido de arsénico retenido y su distribución en los principales componentes del mesocosmos (suelo y plantas). Los resultados indican que los humedales plantados tienen mayor capacidad de retención de arsénico (76% - 69%) que el no plantado (32%). El balance de masa del contenido de arsénico en los humedales con plantas, muestra que la mayor cantidad del arsénico se depositó en el suelo (73% a 66%). Solo 2% del metaloide, fue absorbido por las plantas. En el efluente de los prototipos con plantas salió el 24 y 31% de la masa de arsénico alimentada durante todo el tiempo de operación.

hace referencia al tiempo de retención óptimo para un buen tratamiento en un Humedal, nos da a conocer que es importante tener en cuenta en el proceso de tratamiento de DAM un tiempo adecuado de retención, es decir un tiempo de contacto de las aguas impactadas con el agente de tratamiento usado. Se establecen tres fases de desarrollo del proyecto, tales como campo, laboratorio y gabinete; de manera experimental se construyeron dos sistemas de humedales tipo batch con dimensiones: 1.08 m de largo, 0.72 m de ancho y 1.00 m de profundidad. Se utilizó grava de 1 a 1.5 pulgadas de diámetro como material de soporte de las raíces de la totora (*Scirpus californicus*). Se establecieron 48 horas experimentales de las cuales con un intervalo de 12 horas se tomó muestras para su respectivo análisis, a continuación, mostramos los datos iniciales y los resultados obtenidos tras este experimento. La aplicación del sistema logró reducir significativamente la concentración inicial de 107.46 mg/L, pero cabe recalcar que haciendo una comparativa de los datos obtenidos por muestra analizada varían de acuerdo al tiempo de retención establecido dejando como mayor desempeño al tiempo de 48 horas. Específicamente el mejor tiempo de retención del drenaje ácido de mina en humedal artificial para la remoción de hierro y cobre es 48 horas, obteniéndose una remoción para hierro de 97.33% y 97.66% para ambos tipos de sustratos; en cambio la remoción para cobre en ambos tipos de sustratos fue de 84.50% y 90.12%. La mejor composición del sustrato para la remoción de hierro y cobre en humedales artificiales es el 80% de estiércol de vaca predescompuesto con 20% de musgo y aserrín (1:1) con el que se obtiene una remoción de 97.66% de hierro, en el que disminuye la concentración de 107.46 mg/L a 2.51 mg/L; y la remoción de cobre de 90.12%, en el que disminuye la concentración de 0.64 mg/L a 0.063 mg/L. (Licapa, G. 2015).

El investigador Clinton Huamán, realizó una investigación en las instalaciones del

laboratorio de Metalurgia-La Quinoa de Compañía Minera Yanacocha que propone evaluar un humedal ya que las aguas afectan a los ecosistemas de la zona y muestran valores de concentración metálica fuera de los Límites máximos permisibles, bombear estas aguas generaría un costo elevado hacia la planta de tratamiento de aguas con la que cuenta la empresa minera, es por ello que significa menos inversión implementar un sistema Humedal. El proceso experimental se compone de material orgánico compost (*Yanahumus*) y tres especies de plantas: *Phragmites australis*, *Hydrilla verticillata*, *Scirpus holoschoenus* con las cuales se procederá a mantener el contacto de las aguas en tratamiento. El proceso de evaluación de resultados parte de un primer análisis a 8 horas de contacto y funcionamiento del humedal que muestra resultados positivos en cuanto a pH aumentó de 3.4 hasta 7.2, sin embargo estos resultados a primera vista son positivos pero aún se buscan mejorar con una fase de implementación 2 que se extendió por 60 días manteniendo un control de análisis de resultados con un intervalo de cada 4 días, evidenciamos el desempeño óptimo del sistema en los primeros 4 días con un caudal de 25 ml/min y en cuanto a alcalinidad el pH se mantiene estadísticamente similar. Con esta segunda fase se propone verificar que tan efectivo es el sistema proporcionado un mayor caudal del flujo a tratar, experimentando con 30 y 35 ml/min, notamos disminución en concentración de los principales metales en el agua fue de Cd 91.4%, Cr 97.25 %, Cu 81 %, Fe 97.9%, Pb 27.5% y Zn 85.5% cada uno. Entonces tras experimentación se verifica que el Humedal tiene un desempeño eficaz y a la vez representa un costo considerado bajo, además lo que resalta es que permite a la empresa minera cumplir con los Límites máximos permisibles que son los cuestionados en estos casos. (Huamán, C.; 2015)

Existe un caso particular de estudio mostró que hay impactos negativos en el Río

Mantaro, el mismo que abastece en riego agrícola a 40000 pobladores, la contaminación acarrea la minería aledaña que ha sido abandonada y se encuentra generando drenaje ácido que por escorrentía se filtra y llega a parar a orillas del Río. Entonces la propuesta de esta Tesis es conducir los drenajes ácidos de tal manera que coincidan antes de llegar al río y así poder realizar un tratamiento previo a descarga, el tratamiento es de tipo combinado un humedal con una barrera reactiva a base de columna de alcalinización con travertino. Se construyó una columna con relleno travertino de un diámetro de 20 cm y una altura de 150 cm rellena de 10.5 kg travertino, esto permitió llevar el pH desde 2.8 hasta 7.2 y también se disminuyó el contenido de fierro de 77.79 ppm hasta 4.75 ppm. Se empezó el proyecto con la columna de manera individual pero los resultados de ello no reducen el manganeso es por ello que se complementa con un humedal, cabe resaltar que el manganeso precipita a un pH básico de 11 a más, dicho sea de paso, no se consiguió con la columna es por ello la adición del humedal con totora de dimensiones 2 m de largo, de 0.8 m de ancho y 0.5 m de altura. Obteniéndose una disminución del contenido de Manganeso de 17.73 ppm hasta 0.205 ppm, así como el contenido de hierro disminuyó 3.73 ppm. El caudal del flujo direccionado es de 15 ml/min manejable y suficiente para el tratamiento previsto. La experimentación muestra que las concentraciones se redujeron en el fierro de 79.768 a 0.193 ppm y manganeso se redujo de 17.733 a 0.205 ppm y el pH sobrepasó los valores neutros llegando hasta 11.2, lo que nos hace concluir que el sistema es eficiente para tratar y dar solución al problema mencionado. (Córdova, R. & Rojas, J.; 2015)

ecotóxicos de las aguas de residuales de la industria minera por medio de humedales artificiales” la cual centra en evaluar la disminución de los niveles de concentración de contaminantes eco-tóxicos (nitratos, amonio y competidores como iones metálicos cobre o plomo) producidos por residuos de aguas de la actividad minera, se construyó humedales de flujo superficial con complemento de especies vegetales *Schoenoplectus californicus* (totora) y *Schoenoplectus lacustris* (carrizo), como parte de los componentes de un humedal artificial. Los componentes base del Humedal piloto son materiales filtrantes (piedra, arena, grava y tierra). En cuanto al contenido metálico de las aguas a trata, se realizó el análisis químico que muestra presencia de cobre, zinc y plomo (sobrepasando los LMP). Tras experimentación se tiene que la especie vegetal Carrizo tuvo mayor capacidad depuradora para el competidor metálico zinc, mientras que la especie vegetal totora presenta una mayor capacidad depuradora para el competidor metálico cobre. En cuanto al nitrato en las cuatro celdas con ambas especies fue prácticamente la misma, ya que solo hay un margen de 0.25% a favor de la especie totora; sin embargo, para la remoción de amonio la especie vegetal carrizo fue más eficiente en cuanto a su remoción en un 5%. Se consigue reducir casi en su totalidad el contenido de Cu en el agua con ambas especies vegetales sobre todo con totora (99.86%) que muestra un mayor efecto depurador bajo estas condiciones comparado al carrizo (99.79%). Se consigue depurar el cinc con mayor eficacia con la especie vegetal carrizo (99.88%); sin embargo, la consistencia de depuración para este metal es menos notoria en comparación del cobre. Por otro lado, la especie vegetal totora depuro en un (99.85%) al contenido de zinc, siendo aún más efectiva que con el cobre, pero también con menos consistencia en la capacidad depuradora para las concentraciones más bajas. (Pulcha, J. & Valencia, M.; 2019)

Técnicas de remediación mediante Tratamientos Pasivos

Tratamiento mediante Drenajes Anóxicos Calizos

Consisten en una zanja rellena con gravas de caliza u otro material calcáreo sellada a techo por una capa de tierra arcillosa y una geo membrana impermeable para mantener unas condiciones anóxicas. Con lo que se consigue incrementar la presión parcial del CO_2 para maximizar la disolución de la caliza y eliminar el oxígeno disuelto. El agua ácida de mina se hace circular por el interior de la zanja provocando la disolución de la caliza, lo que genera alcalinidad y eleva el pH del agua. La alcalinidad adquirida en el Drenaje Anóxico Calizo debe ser suficiente para contrarrestar la acidificación asociada al hidrólisis en esta etapa del tratamiento. Los sistemas Drenaje Anóxico Calizo son apropiados para tratar drenajes ácidos de mina con escaso oxígeno disuelto ($\text{OD} < 2 \text{ mg/L}$) y contenidos de Fe^{+3} y Al^{+3} inferiores a 1 mg/L (Hedin, 1997; Skousen et al., 1994).

Tratamiento con canales abiertos de caliza

Constan de un canal cuyo lecho esté relleno de caliza por el que fluye el agua a tratar, cuyo objetivo es incrementar el pH y la alcalinidad para disminuir la acidez. El elevado contenido de oxígeno, produce la oxidación e hidrólisis del Fe y a los disueltos, que precipitan como oxihidróxidos. Su diseño está en función del tiempo de retención y caudal a tratar. Canales con contenido de agregados de caliza gruesa a través de los cuales percola el agua. (Sánchez, D.; 2016)

Barreras Reactivas Permeables

Uno de los métodos pasivos que puede ser complementario son las paredes o pantallas enterradas que contienen material reactivo para tratar la pluma de agua subterránea como: Medio orgánico con Bacterias Sulfato Reductoras, oxidaciones de Fe. Su objetivo es reducir la cantidad de sólidos disueltos (sulfatos y metales principalmente) e incrementar el pH. Su construcción consiste en hacer una zanja transversal al flujo, la cual se rellena con diversos tipos de materiales reactivos. Así, los procesos depuradores en el interior de la barrera son la reducción bacteriana de los sulfatos, la retención de los metales precipitando como sulfuros, y el incremento del pH principalmente por disolución de la caliza. (Sánchez, D.; 2016).

Wetlands - Humedales construidos

Los Wetlands son sistemas mixtos que combinan un sistema pasivo con un sistema activo, esto ayuda a mejorar la eficiencia del desempeño del sistema. Los humedales construidos para tratamiento que permite que ocurra la reacción química y biológica natural en el sistema de tratamiento, y no en el cuerpo de recepción de agua. Las plantas y los microorganismos desempeñan un papel importante. Las plantas proporcionan un área superficial para microbios y para transportar el oxígeno produciendo una zona de oxidación donde adicionalmente existen poblaciones microbianas. Este complejo de vegetación y microbios tiene una alta eficiencia en modificar nutrientes, metales y otros compuestos. Esta tecnología se está volviendo atractiva para tratamiento de drenaje de mina puesto que él ofrece mayores ventajas sobre el sistema de tratamiento convencional (como método de tratamiento químico). El uso de químicos y energía están virtualmente eliminados. Sin embargo, después del tratamiento, el agua puede requerir un tratamiento químico adicional, de tal modo que se ahorra dinero.

Debido a sus características cómodas, los humedales construidos están siendo utilizados en muchos países alrededor del mundo mejorando la calidad del agua del drenaje ácido de mina. Gamonal, P. Tratamiento de drenaje de ácidos de minas en humedales construidos. (UNMSM, 2015). Lo que caracteriza a los Humedales es que se encuentran siempre inundados, se componen de diferentes elementos naturales que han sido adicionados por el hombre a manera de asegurar el desempeño según el uso de tratamiento requerido, estos elementos se componen por especies de plantas, materia orgánica, sustratos alcalinizadores, material calcáreo, etc. El régimen de los humedales deriva en el flujo que se maneja tales como: permanentes, temporales, estancados, corrientes y escorrentías. La idea de un humedal es combinar aspectos de ingeniería con el ambiente, se pueden asociar o complementar con vegetales, animales y microorganismos que se adaptan a las condiciones de donde se implementan; lo destacable es que estos sistemas son ecosistemas que desarrollan procesos físicos y químicos que hacen posible la depuración de agua eliminando en cantidades grandes la materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, fósforo e incluso productos tóxicos. Es por ello que el hombre ha basado la observación de ecosistemas naturales de tipo humedal para adaptarlos a la ingeniería de tratamiento de aguas contaminadas. Básicamente, los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales. (Salas, J.; 2018)

Componentes de un humedal artificial.

- Sustrato o material granular: sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la biopelícula bacteriana que interviene en la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes presentes en las aguas a tratar.
- Vegetación: principalmente compuesta por macrófitas emergentes que contribuyen a la oxigenación del sustrato a nivel de la biosfera, a la eliminación de nutrientes por absorción/extracción y al desarrollo de la biopelícula bacteriana.
- Agua a tratar o influente: circula a través del sustrato y la vegetación.

En cuanto a los componentes, la vegetación es uno de los agentes más sensibles a considerar ya que no todas las plantas pueden subsistir en condiciones adversas como la acidez en tal sentido existen cierta particularidad de algunos organismos vegetales que contribuyen en la retención de metales, estas son la *Typha* (espadaña), el *Equisetum* (cola de caballo) o los musgos tipo *Spagnum*. Las plantas de tipo *Spagnum* son conocidas por ayudar a la acumulación de Hierro, es necesario mencionar que no se relaciona directamente el crecimiento de estas especies vegetales con la concentración metálica, se estima que la retención metálica que ofrecen estas especies es de hasta el 95%. En cuanto a la especie vegetal *Typha* destacamos su aporte en la captación de oxígeno esto se relaciona directamente con los procesos de oxidación ya que al no haber oxígeno o poco de mismo este proceso no sería posible de realizar en los metales. También podemos considerar una clasificación de especies vegetales en función a la involucración con el humedal (Almudena, A.; 1999), estas son las siguientes:

Tabla 1

Especies Vegetales empleadas en un Humedal

Emergentes		Sumergidas	Flotantes
- <i>Canna fláccida.</i>	- <i>Phragmites</i>	- <i>Ceratophyllum</i>	- <i>Azolla caroliniana</i>
- <i>Carex spp.</i>	<i>commiunis</i>	<i>demersum</i>	- <i>Eichhornia</i>
- <i>Colocasia</i>	- <i>Schoenoplectus</i>	- <i>Egeria densa</i>	<i>crassipes</i>
<i>esculenta</i>	<i>lacustris</i>	- <i>Elodea nuttallii</i>	- <i>Hydrocotyle</i>
- <i>Cyperus spp.</i>	- <i>Scirpus lacustris</i>	- <i>Myriophyllum</i>	<i>umbellata</i>
- <i>Eleocharis</i>	- <i>Scirpus fluviatilis</i>	<i>aquaticum</i>	- <i>Lagorosioidin</i>
<i>dulcis</i>	- <i>Scirpus pungens</i>		<i>major</i>
- <i>Eleocharis</i>	- <i>Scirpus robustus</i>		- <i>Lemma gibba</i>
<i>sphacelata</i>	- <i>Scirpus validus</i>		- <i>Lemna minor</i>
- <i>Glyceria</i>	- <i>Sparganium</i>		- <i>Lemma spp</i>
<i>máxima</i>	<i>eurycarpum</i>		- <i>Pistia stratiotes</i>
- <i>Iris</i>	- <i>Typha angustifolia</i>		- <i>Salvinia</i>
<i>pseudacorus</i>	- <i>Typha domingensis</i>		<i>rotundifolia</i>
- <i>Juncus spp.</i>	- <i>Typha latifolia</i>		- <i>Spirodela</i>
- <i>Phalaris</i>	- <i>Typha orientalis</i>		<i>polyrhiza</i>
<i>arundinacea</i>	- <i>Zantedeschia</i>		- <i>Wolffia arrhiza.</i>
- <i>Phragmites</i>	<i>aethiopiaa.</i>		
<i>australis</i>			

Tabla de clasificación de especies vegetales proporcionada por Alonso Almudena (1999)

Mecanismos de depuración de aguas en Humedales

- Eliminación de sólidos en suspensión gracias a fenómenos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.
- Eliminación de materia orgánica gracias a la acción de los microorganismos (principalmente bacterias). Los microorganismos que se desarrollan pueden ser aerobios (con O₂) o anaerobios (sin O₂).
- Eliminación de nitrógeno bien por acción directa de las plantas, bien por procesos de nitrificación-desnitrificación desarrollados por los microorganismos antes mencionados.
- Eliminación de fósforo principalmente debido a los fenómenos de adsorción sobre los componentes del sustrato.
- Eliminación de patógenos mediante la adsorción sobre partículas del sustrato, la toxicidad producida por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

Tipos de humedales artificiales en función del sentido de circulación del flujo de agua.

- Humedales artificiales de flujo libre o superficial: el agua circula por encima del sustrato continuamente. Se favorecen las condiciones aerobias al estar el agua directamente expuesta a la atmósfera. Se emplean para tratar efluentes procedentes de tratamientos secundarios y para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.
- Humedales artificiales de flujo subsuperficial: el agua circula a través del sustrato. En la mayoría de los casos se usan para el tratamiento de aguas residuales generadas en núcleos de población de menos de 2000 habitantes. En función del sentido del flujo, pueden ser horizontales o verticales.

- Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical: el agua circula verticalmente a través del sustrato de manera intermitente. Se suelen incluir chimeneas de aireación para favorecer las condiciones aerobias. Se suelen desarrollar procesos de nitrificación, entre otros.
- Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal: el agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato. Se suelen desarrollar procesos de desnitrificación, entre otros.

Los Humedales y los Metales Pesados

Los Drenajes ácidos de mina son peligrosos para el ambiente por el contenido de metales pesados en sus aguas, son muy tóxicos y atentan contra la vida vegetal, animal e incluso con la vida humana. (Zhang et al., 2012). Es relevante tener cuidado con el sustrato a emplear según el metal o metales que se remueven en el proceso, un ejemplo de ello es la grava y arlita (Tipo de arcilla) que presentan un buen desempeño en la remoción de Zinc y Arsénico, esto gracias a que estos agentes empleados ayudan a incrementar el pH que logra precipitar los metales mencionados (Arroyo, P.; 2013). Siguiendo el criterio de incremento de pH existen sustratos derivados de palma que ayuda a proveer una adsorción mayor de metales (Chong, Chia & Ahmad; 2013), El compost es otro de los componentes que brinda aumento de pH gracias a la acción de bacterias sulfato reductoras (BSR) además de brindar alta remoción de metales (Mayes et al., 2009).

De la mención de Tratamientos pasivos, el más efectivo y completo de los tratamientos es el Humedal construido ya que integra todos los aspectos de los demás sistemas. Como lo menciona una investigación de la “utilización de humedales construidos en el tratamiento de drenaje ácido de mina”. Esta investigación recomienda que establecer un buen sistema de Humedal, es necesario realizar un análisis Químico y Microbiológico, con estos parámetros

establecidos se verifican las condiciones y la ingeniería posible a emplear dentro de humedales clasificamos que existen dos tipos de humedales, los aeróbicos y los anaeróbicos. La viabilidad de estos sistemas radica en el bajo costo de implementación y que los agentes utilizados son todos naturales, después de experimentar con humedales se afirma que pueden llegar a ser muy efectivos para la remoción de hierro, pero no muy exitosos en el control de acidez. Sin embargo, con los tratamientos pasivos combinados (bióticos y abióticos integrados), tales como los Sistemas de Producción Sucesiva de Alcalinidad (SAPS), se puede mejorar sustancialmente el control de la acidez. Además, los humedales anaerobios han dado mejores resultados para tratar DAM, que los humedales aeróbicos, especialmente cuando se fundamentan en la acción de las bacterias sulfato reductoras (SRB). Los sistemas pasivos sobrellevan mejor los flujos de agua fluctuantes y las variaciones en las concentraciones de contaminantes que los sistemas de tratamiento convencional y cabe recalcar que el éxito de los humedales se ha manifestado en la construcción de más de 400 humedales en USA únicamente para el tratamiento de minas de carbón (desde la década de los 90) pero es necesario adicionar plantas y microorganismos que suman importancia reflejada en el tiempo de retención mayor y captación metálica . (Guevara, A.; 2012)

1.2. Formulación del problema

¿Es factible aplicar el tratamiento pasivo (Wetland) para aguas ácidas del Pasivo Ambiental El Dorado de Hualgayoc?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un Humedal para remediar los drenajes ácidos de mina producidos por los Pasivos Ambientales Mineros el Dorado de Hualgayoc.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar información acerca del análisis físico y químico de las descargas de agua producida por los PAM El Dorado en Hualgayoc.
- Determinar las dimensiones del Humedal en metros, mediante el método de cálculo del “Área mínima de tratamiento de un Humedal” propuesto por el departamento del interior de minas de los Estados Unidos (USBM).
- Calcular el volumen (m^3) y masa (kg) de caliza e emplear en el humedal después de haber obtenido las dimensiones y haciendo uso del método “Profundidad de caliza” propuesto por Pearson y McDonnell.
- Realizar el análisis de costos de implementación a escala real del Humedal de tratamiento para las aguas ácidas drenadas de los PAM del Dorado en Hualgayoc.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La propuesta de diseño de un Humedal para el tratamiento de la descarga de aguas ácidas de los PAM El Dorado en Hualgayoc, supondrán una alternativa viable ambiental y económica para lograr estabilizar las aguas de dichos drenajes y cumplir con los Límites Máximos Permisibles establecido por el MINAM.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La información que se recopilará de los análisis físicos y químicos evidenciará concentraciones metálicas fuera de los Límites Máximos Permisibles establecidos por el MINAM.
- El método de cálculo del área mínima para un Humedal (USBM) nos dará un alcance aproximado en metros de las dimensiones de diseño para el Humedal
- EL volumen y masa de caliza estará directamente ligado a las dimensiones de las dimensiones calculadas del Humedal.
- Los costos para la implementación de un humedal no superarán una inversión de S/. 60000.00 haciendo de la técnica de tratamiento viable.

2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo proyectiva ya que ofrece un diseño de un Humedal para remediar un problema conocido como generación de aguas ácidas producto de los Pasivos Ambientales Mineros, basamos el diseño con datos de análisis de aguas proporcionados por AMSAC los mismos que utilizaremos para establecer un dimensionamiento del Humedal. El método proyectual consiste simplemente en una serie de operaciones necesarias, dispuestas en un orden lógico dictado por la experiencia. Su finalidad es la de conseguir un máximo resultado con el mínimo esfuerzo. (Munari, B.; 2011).

Diseño de la investigación

Pre-Experimental

Este estudio sirve para la realización de una propuesta que es aplicable al tratamiento de aguas ácidas producidas por PAMs, esta propuesta es además diseñada en base a estudios de similitud que muestran eficiencia del sistema Humedal. Además, esta propuesta se puede realizar a escala real y experimentar su desempeño bajo las variables de remoción metálica y estabilización de pH. Los pre experimentos brindan un estudio de manejo de variables de las cuales se pueden establecer criterios en base a una posible experimentación que brinda comprobación de variables manipulables y no manipulables. (Martínez, O.; 2001).

2.2.1. Población

Las aguas ácidas del depósito de las 5 Relaveras del Pasivo Ambiental El Dorado, de Hualgayoc.

2.2.2. Muestra

Se tomó una muestra puntual de 5 puntos en cada relavera.

2.2.3. Métodos

- Caracterización físico química mediante Ensayo ICP

Ensayo realizado por el laboratorio NKAP S.R.L. por encargo de AMSAC.

- Cálculo del Caudal

Para calcular el caudal existen diversos métodos probados, pero el más adecuado es medir la cantidad de agua por una unidad de tiempo, es decir verificar cuánto volumen se llena en un determinado recipiente en una unidad de tiempo conocida y cronometrada debidamente. A este método se le denomina método de aforo volumétrico y sus unidades son l/s y sus respectivas equivalencias de conversión, consiste en determinar el tiempo que tarda una corriente de agua en llenar un recipiente de volumen conocido. Es un método sencillo, exige poco equipo y es muy preciso si se aplica con un cuidado razonable. (Basán, M.; 2008).

- Dimensionamiento de humedal

Como parte del dimensionamiento, se hará referencia al cálculo establecido por el departamento del interior de los Estados Unidos (USBM). En función a la carga metálica se define el cálculo para el área mínima de tratamiento en un Humedal:

Ecuación 1 Carga Metálica de Fe por día

$$Carga\ metálica\ Fe\ (gr/Día) = 1.44 * Cm * Q$$

Ecuación 2 Área Mínima de un Humedal - USBM

$$Área\ mínima\ de\ un\ humedal\ (m^2) = \frac{Carga\ metálica\ de\ Fe\ (g * día)}{20\ g * m^{-2} * día}$$

- Cálculo de la cama de Caliza

Para el cálculo de la cantidad o cama de caliza se hará uso del establecido método por Pearson y McDonnell que nos da un estimado de este material en función al caudal, profundidad y la sección del Humedal a construir. Los investigadores definen la siguiente tabla para estimar dicho cálculo:

Tabla 2

Profundidad de Caliza Estándar.

Caudal (GPM)	Longitud (Ft)	Ancho (Ft)	Profundidad de caliza (Ft)
100	67	10	3
200	134	20	3
300	268	30	3

Tabla proporcionada por Pearson y McDonnell para profundidad de Cama de Caliza (1974).

La profundidad de cama de caliza es estándar para los cálculos, sin embargo, las variaciones se tienen en las dimensiones de longitud y ancho.

El método para definir los costos se realizará con metrados en Excel básicos teniendo en cuenta las dimensiones del humedal, la capacidad de caliza que albergará y el personal que desempeñaría como mano de obra y maquinaria para desarrollar las actividades de ingeniería de detalles.

- Diseño (Dibujo en AutoCAD)

Se realizará un dibujo de las dimensiones del Humedal, indicando las características de longitud, ancho, alto y la profundidad de caliza.

2.3. Técnicas de Recolección de Datos.

- La técnica utilizada en la recolección de dato fue la observación y caracterización del efluente mediante ICP para ver la carga metálica más abundante de los 5 puntos de descarga. El instrumento utilizado en la recolección de datos fue tubos de ensayo de 500 ml.

2.4. Procedimiento

1. Caracterización físico química mediante ICP

- Como parte de la caracterización química, se realiza primero la recolección de muestras de campo, cabe recalcar que este procedimiento ha sido realizado por la empresa AMSAC la misma que ha realizado el análisis de la muestra mediante análisis de ICP el laboratorio a cargo del análisis ha sido NKAP S.R.L.

2. Cálculo del Caudal

- El proceso para obtener el caudal en campo se basa en llenar un recipiente de 2 litros y cronometra el tiempo en el que demora en llenarse, se repite este proceso unas 5 veces para promediar los resultados y tener una media de caudal para el trabajo posterior de diseño.

3. Dimensionamiento de humedal

- Para efectuar los cálculos, se empieza definiendo la carga metálica del Hierro este dato lo encontramos en la Tabla 2 proporcionada por AMSAC del análisis ICP de las muestras de agua, así mismo también hacemos uso del caudal medido y un coeficiente de 1.44 establecido en la siguiente ecuación:

Ecuación 3 Carga Metálica de Fe por día - USBM

$$Carga\ metálica\ Fe\ (gr/Día) = 1.44 * Cm(Fe) * Q$$

- Seguidamente introducimos la carga metálica ya calculada en la ecuación siguiente:

Ecuación 4 Área Minina de un Humedal - USBM

$$Área\ mínima\ de\ un\ humedal\ (m^2) = \frac{Carga\ métaalica\ de\ Fe\ (g * día)}{20\ g * m^{-2} * día}$$

- El resultado obtenido de dicho cálculo es el dimensionamiento del Humedal aplicable a una escala real en campo, esta área se puede ajustar a las condiciones del terreno que son las que brinda el mismo campo.

4. Cálculo de la cama de Caliza

- La tabla proporcionada por Pearson y McDonnell es una tabla con características de multiplicidad de escala, según el dimensionamiento establecido en el punto anterior se hará uso de la regla de tres simple para efectuar cálculos aproximados en función al caudal establecido, de esta manera se tendrá el volumen de caliza para el Humedal a proponer.

5. Diseño (Dibujo en Auto CAD)

- Cargando un archivo de trabajo de diseño en AutoCAD con las características básicas de las dimensiones longitud, ancho, alto e indicando la profundidad de cama de caliza.

6. Costeo del diseño de Humedal

- El método para definir los costos se realizará con metrados en Excel teniendo en cuenta las dimensiones del humedal, la capacidad de caliza que albergará y el personal que desempeñaría como mano de obra y maquinaria para desarrollar las actividades de ingeniería de detalles.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Caracterización del agua

El agua ha sido debidamente analizada en el laboratorio NKAP S.R.L. mediante el ensayo ICP, las características que presenta esta agua por presencia de acidez físicamente muestra coloraciones entre amarillos y rojizos oscuros, se asume por la oxidación de sus componentes metálicos, el pH de los análisis nos confirma que estamos frente a aguas de calidad ácida con un 2.9 pH. Las aguas con presencia de acidez son posiblemente oxidadas por *Thiobacillus ferrooxidans* mostrando una coloración de las mismas de verde traslúcido a amarillo turbio (Pérez, 2006)

Tabla 3

Análisis ICP - Resumen.

Parámetro	Unidad	ICP 1	ICP 2	ICP 3	Media
Aluminio	Al ppm	165.648	161.436	171.823	166.3023333
Arsénico	As ppm	< 0.0133	< 0.0133	< 0.0133	< 0.0133
Bario	Ba ppm	< 0.0000358	< 0.0000358	< 0.0000358	< 0.0000358
Berilio	Be ppm	< 0.0000481	< 0.0000481	< 0.0000481	< 0.0000481
Boro	B ppm	0.016	0.388	0.284	0.229333333
Cadmio	Cd ppm	3.264	3.152	5.858	4.091333333
Cobalto	Co ppm	< 0.000148	< 0.000148	< 0.000148	< 0.000148
Cobre	Cu ppm	9.094	8.842	5.436	7.790666667
Cromo	Cr ppm	0.119	0.119	0.298	0.178666667
Hierro	Fe ppm	53.548	66.237	39.467	53.084
Litio	Li ppm	0.076	0.084	< 0.0000669	0.08
Magnesio	Mg ppm	54.049	53.417	94.851	67.439
Manganeso	Mn ppm	39.763	26.994	15.724	27.49366667
Mercurio	Hg ppm	< 0.0000326	< 0.0000326	< 0.0000326	< 0.0000326
Níquel	Ni ppm	< 0.000316	< 0.000316	< 0.000316	< 0.000316
Plomo	Pb ppm	0.188	0.184	1.011	0.461
Selenio	Se ppm	< 0.0163	< 0.0163	< 0.0163	< 0.0163
Zinc	Zn ppm	149.388	147.247	186.003	160.8793333

Tabla elaborada en base a los análisis ICP del laboratorio NKAP S.R.L. por encargo de AMSAC (2019).

Haciendo una comparativa de los valores promedio de los análisis realizados,

podemos establecer cuales están sobrepasando los Límites Máximos Permisibles (LMP), por lo tanto; Aluminio, Cadmio, Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc se encuentran excediendo lo establecido en los LMP. Hacemos énfasis en la concentración del Hierro que está fuera del LMP ya que es el que nos ayuda a realizar el cálculo de dimensionamiento, se solicita la carga metálica de este elemento en el cálculo del área mínima designado por USBM.

Tabla 4

Concentraciones promedio de metales versus valores de Límites Máximos Permisibles

Parámetro	Unidad	Media	LMP	Excede	
Aluminio	Al	ppm	166.3023333	5	Sí
Arsénico	As	ppm	< 0.0133	0.2	No
Bario	Ba	ppm	< 0.0000358	1	No
Berilio	Be	ppm	< 0.0000481	0.1	No
Boro	B	ppm	0.229333333	5	No
Cadmio	Cd	ppm	4.091333333	0.05	Sí
Cobalto	Co	ppm	< 0.000148	1	No
Cobre	Cu	ppm	7.790666667	0.5	Sí
Cromo	Cr	ppm	0.178666667	1	No
Hierro	Fe	ppm	53.084	5	Sí
Litio	Li	ppm	0.08	2.5	No
Magnesio	Mg	ppm	67.439	250	No
Manganeso	Mn	ppm	27.49366667	0.2	Sí
Mercurio	Hg	ppm	< 0.0000326	0.01	No
Níquel	Ni	ppm	< 0.000316	1	No
Plomo	Pb	ppm	0.461	0.05	No
Selenio	Se	ppm	< 0.0163	0.05	No
Zinc	Zn	ppm	160.8793333	24	Sí

Tabla elaborada a partir de los valores promedio de concentración de minerales versus los LMP (2020).

3.1.1. Resultados para el Cálculo de Caudal en campo

En campo el caudal medido de las 5 relaveras en promedio es de 0.023 l/s, sin embargo éste caudal es un caudal medido en época estiaje, por cuestiones de precaución en el Diseño se establece un nuevo caudal mucho mayor con afán de tener un buen desempeño en épocas de lluvia. Como se mencionaba en la metodología el cálculo del caudal se realizó mediante el método de aforo volumétrico, con un recipiente de 2 litros se cronometró el tiempo en el que tardaba en llenarse, para disminuir el margen de error de medida humano se considera repetir el proceso 5 veces; dando como resultado una media que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5

Medición del Caudal

Prueba	Volumen (L)	Tiempo (Segundos)
01	2	4.68
02	2	4.71
03	2	4.63
04	2	4.6
05	2	4.74
Promedio	2	4.672

Tabla de medición de caudal proporcionada por AMSAC (2019).

El valor de la media del caudal nos resulta que 2 litros se llenan en 4.672 segundos, realizando la conversión de este valor el caudal nos resulta en 25.684 l/min.

3.2. Resultados para el Dimensionamiento

Partiendo de la expresión de Cálculo del Área mínima otorgada por el Departamento del Interior de Minas (USBM), se procede primeramente a realizar el cálculo para la cantidad de Hierro a remover por día, esto se realiza con el producto de un coeficiente 1.44 que multiplica a la carga metálica de Fe (Ubicamos este dato en la tabla de valores promedio del análisis ICP) al mismo que se multiplicará con el caudal de campo en unidades de l/min.

Ecuación 5 Procedimiento de Cálculo Carga Metálica de Fe por día - USBM

$$Carga\ metálica\ Fe\ (g/día) = 1.44 * Cm\ (Fe) * Q \quad \text{--- (1)}$$

$$Carga\ metálica\ Fe\ (g/día) = 1.44 * 53.084 * 25.684 \quad \text{--- (2)}$$

$$Carga\ metálica\ Fe\ (g/día) = 1963.381 \quad \text{--- (3)}$$

El dato ya calculado se introduce en la ecuación siguiente que nos proporciona el área mínima necesaria para poder realizar la remoción del metal en mención (Fe), calculando:

Ecuación 6 Procedimiento de Cálculo de área mínima de Humedal - USBM

$$Área\ mínima\ de\ un\ humedal\ (m^2) = \frac{Carga\ metálica\ de\ Fe\ (g * día)}{20\ g * m^{-2} * día} \quad \text{--- (4)}$$

$$Área\ mínima\ de\ un\ humedal\ (m^2) = \frac{1963.381\ (g * día)}{20\ g * m^{-2} * día} \quad \text{--- (5)}$$

$$Área\ mínima\ de\ un\ humedal\ (m^2) = 98.169\ m^2 \quad \text{--- (6)}$$

Entonces el área calculada final de manera teórica nos resulta en un valor de 98.169 m² la misma que aproximaremos a 100 m² para facilitar las cuestiones de diseño. Entonces con esta área obtenida se infieren las dimensiones de longitud y ancho con objeto de que su producto sea siempre 100 m², es así que por conveniencia adoptamos el valor de longitud en 12 m y un ancho de 8,333 m.

3.2.1. Cálculo de la cantidad de caliza a emplear.

Realizando un análisis a la tabla proporcionada por Pearson y McDonnell podemos verificar que la profundidad que cama de caliza que establecen los investigadores, es una profundidad estándar que no está relacionada con el caudal ni con las dimensiones, es decir pueden trabajarse distintas dimensiones en ancho y longitud como también diferentes tipos de caudal sin embargo la cama de caliza es un valor estándar que no varía.

Tabla 6

Estándar de Profundidad de Caliza

Caudal (GPM)	Longitud (Ft)	Ancho (Ft)	Profundidad de caliza (Ft)
100	67	10	3
200	134	20	3
300	268	30	3

Tabla de valores Estándar para la cama de Caliza, proporcionada por Pearson y McDonnell (1974)

Entonces según el criterio antes mencionado la cama de caliza estándar es de 3 ft, realizando la conversión de dicho valor al sistema internacional de unidades SI nos resulta un valor de 0.914 m. Tomando en cuenta el punto 3.2 de dimensionamiento. Se estableció las dimensiones para longitud de 12 m y ancho de 8.33 m lo que resultaría en el área del humedal previamente calculada; para calcular el volumen se realiza el producto de las 3 dimensiones, calculando:

$$Volumen\ de\ Caliza = Profundidad\ de\ Caliza * \text{Área de Humedal} \dots (7)$$

$$V.Caliza = 0.914 * (Longitud * Ancho) \dots (8)$$

$$V.Caliza = 0.914\ m * (100\ m^2) \dots (9)$$

$$V.Caliza = 91.4\ m^3 \dots (10)$$

El volumen de caliza a emplear es de 91.4 m^3 , sin embargo, necesitamos saber cuánto en masa (kg) es necesario para rellenar ese volumen; para realizar este cálculo es necesario conocer la densidad o peso específico del material a usar. El cálculo lo realizaremos con tipos de caliza una porosa y otra en bruto (Piedra Caliza).
Efectuando cálculos:

Tabla 7

Masa de Caliza (kg)

		Volumen de Caliza		Densidad de Caliza		
Vc Teórico		89.76577118	m^3	C. Porosa	2400	kg/m^3
Vc Aplicable		91.44	m^3	C. Piedra	2800	kg/m^3
Masa de Caliza	Teórica	21543.7851	kg	Caliza Porosa		
	Aplicable	25603.2	kg			
	Teórica	25134.4159	kg	Caliza en Piedra		
	Aplicable	25603.2	kg			

Tabla de Cálculo de volumen y masa de Caliza emplear en el Humedal (2020).

Finalmente, con la ayuda de la densidad del material de caliza a usar definimos la masa en un aproximado de 25600 kg de caliza a emplear en el volumen del humedal.

3.3. Diseño del Humedal

El Humedal propuesto para una posible implementación a escala real contará con dimensiones de Longitud 12 m, ancho de 8.33 m y una altura de 1.20 m en ésta altura se define la profundidad de la cama de caliza que según lo establecido es un valor estándar de 0.91 m con estos parámetros establecidos definimos el cálculo del volumen en 91.44 m^3 . La cantidad de caliza a emplear según lo calculado son aproximadamente 25600 kg de material ya sea Caliza Porosa o Caliza en Piedra. Este diseño se dibujó en el software AutoCAD sin embargo este es un diseño ideal con una vista apreciable de exactitud, es necesario mencionar que la implementación de un sistema como este es diferente en el campo ya que se debe adaptar y ajustar a las condiciones que presenta el campo, tales como pendientes, relieve y condiciones de estabilidad estructural del macizo rocoso.

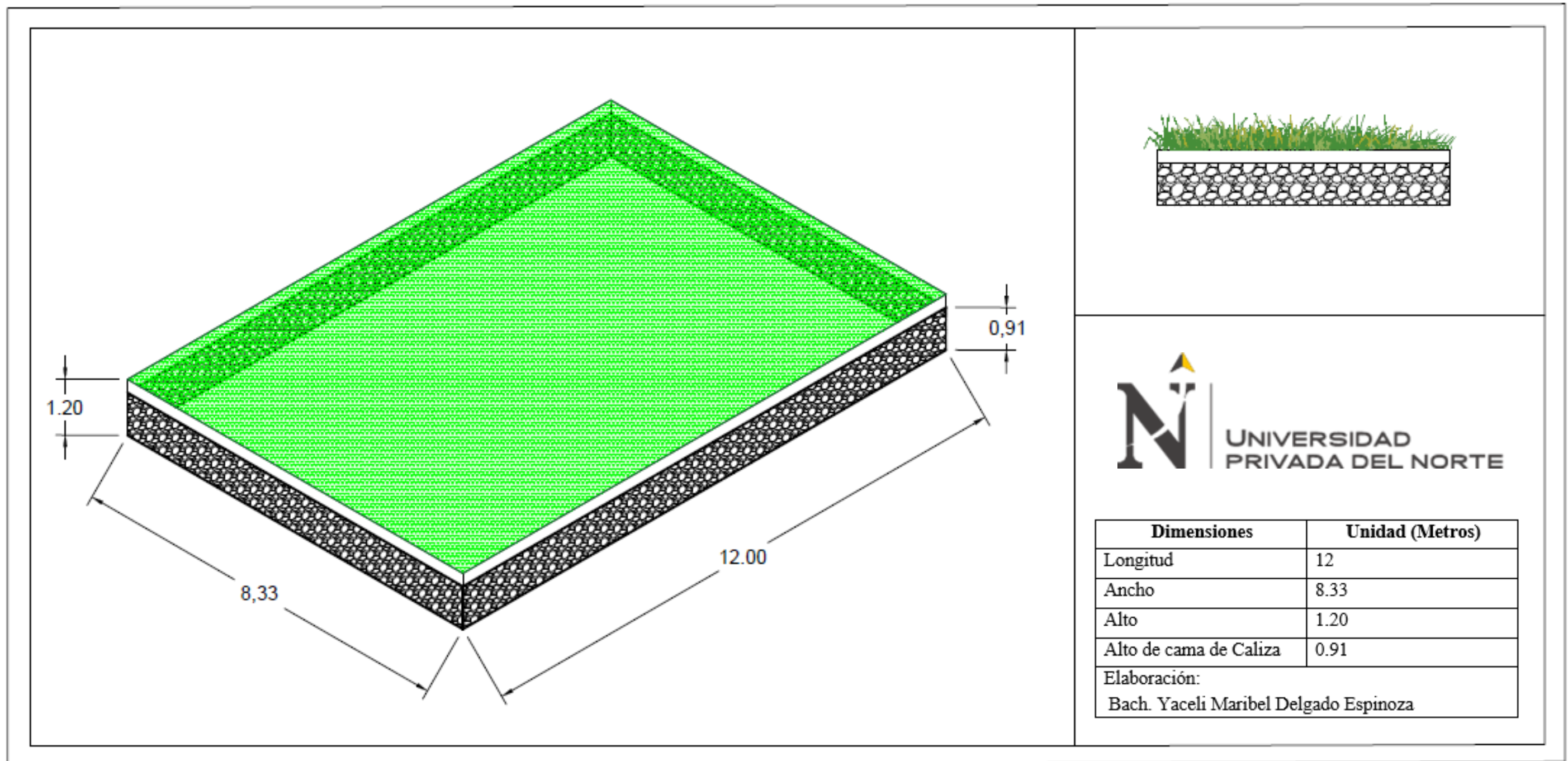


Figura 1 Diseño de Humedal en AutoCAD, elaboración propia (2020)

3.3.1. Consideraciones para el diseño de un Humedal.

- Análisis Físico y Químico.

El método de análisis se realizó por encargo de AMSAC al laboratorio NKAP S.R.L. el cual mediante el ensayo ICP logró identificar las concentraciones metálicas presentes en las aguas descargadas por el PAM El Dorado, con este análisis se determinan el nivel de gravedad o el impacto de las aguas de drenaje ácido en el ambiente que será factor clave para plantear un tratamiento de las mismas. El ensayo ICP es uno de los más destacados métodos para corridas de análisis de metales, se utiliza para analizar simultáneamente muchos elementos y en niveles tan bajos como [1 - 10] ppm o ppb. El ICP funciona usando un plasma de argón en el que se inyecta una muestra líquida atomizada. La muestra se ioniza en el plasma y los iones emiten luz a diferentes longitudes de onda características que posteriormente se miden. (Grupo Air Products, 2018). En el caso de la presente Tesis se realiza el diseño en base a la remoción del Hierro (Fe) la misma que nos sirve para los cálculos de dimensionamiento de un área mínima para el diseño de un Humedal (Método USBM).

En el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas ácidas es necesario tener en cuenta el parámetro de pH ya que es un parámetro que nos ayuda a establecer un control de la reacción del agente alcalinizador en las aguas, con este factor podemos saber con el tipo de aguas estamos tratando, de tal manera que se defina si es necesario emplear agentes calcáreos para el incremento de pH; en el caso de las aguas generadas de los PAMs son en su mayoría aguas de drenaje ácido lo cual requiere de alcalinización para neutralizar el pH o hacer básica el agua con el objeto de precipitar los metales. El pH es el parámetro que sobresale en los drenajes típicos provenientes de la actividad minera, caracterizado por su bajo valor. Diferentes procesos relevantes en la producción de los DAM como la oxidación de la pirita, la oxidación del ion ferroso, la disolución de metales, la sulfato reducción, entre otros, son dependientes del pH (Blodau, 2006). Los valores bajos de pH en el agua facilitan la disolución de diferentes metales pesados, los cuales se van a encontrar biodisponibles para el ser humano y para el ambiente acuático que circunda el lugar donde se presentan los drenajes de minería (Mayes et al., 2009). Entonces el criterio de precipitación de metales está en función al nivel de pH, pero por lo general se necesita pH mayor a los valores neutros que están entre [6 – 7.5] con excepción de metales que requieren un pH mayor para poder precipitar tal es el caso mencionado líneas atrás, estos pH son mayores a 10. Como lo mencionan varios autores existen elementos metálicos que necesitan de pH mayores al neutro para poder precipitar, tal es el caso del Aluminio y Manganeso que precipitan a pH de 10 y 11 respectivamente. Un estudio experimental aplicando Drenaje Anóxico Calizo probó que se requiere agente calcáreo caliza para llegar a estos niveles de pH (Jiménez, P. & Llanos, J.; 2019).

En la presente investigación se utilizará como agente principal la Caliza para ayudar a incrementar el pH, si bien es cierto todos los Humedales se basan en un criterio de aumentar el pH existen también otros agentes que ayudan; y estos agentes son de tipo químicos o naturales. Un estudio desarrollado por (Arroyo, P.; 2013) nos demuestra que el emplear grava y arlita, este último un derivado de material arcilloso, los resultados brindan buen desempeño en la remoción de Zinc y Arsénico (Alta toxicidad). Estudios realizados por (Chong, Chia, y Ahmad, 2013) nos dicen que los sustratos derivados de palma (*Elaeis guineensis*), son agentes que facilitan la remoción de metales pesados, estos trabajan generando alcalinidad y aumentando el pH, mostrando eficiencia en la remoción de Plomo.

Como parte de los sustratos también consideramos agregar a un Humedal materia orgánica ya que un estudio demuestra que usando Compost se hallan altas remociones de metales tales como Hierro, Zinc y Cromo; este agente se cree que aumenta el pH debido a la presencia de bacterias sulfato reductoras (BSR) en su composición. (Mayes et al., 2009). La sulfato-reducción es una de las principales vías de remoción considerando condiciones anaeróbicas considerante a la materia orgánica como un agente muy peculiar e interesante para complementar los Humedales (Lim et al.; 2003). El sustrato muestra buenos resultados siempre teniendo en cuenta la cantidad o profundidad del lecho o cama implementado al humedal, nos dice (Yaday et al.; 2012) que al utilizar humedales de flujo vertical tipo batch se comprobó que la profundidad es determinante para la remoción de metales, ya que a mayor profundidad del lecho se obtienen mejores resultados; teniendo en cuenta esta mención se pueden deducir los cálculos de dimensiones que sean posibles aplicar a escalas reales en el tratamiento de Drenajes ácidos de mina.

Los Humedales deben tener vegetación que sea adecuada para el tratamiento, cumpliendo ciertas características que permitan subsistir en el lugar donde se implemente el Humedal, además de brindar soporte en la remoción de metales y depuración del agua. Las plantas son aliados estratégicos para un Humedal, estudios demuestran que las raíces de plantas encontradas en humedales naturales presentan acumulación de metales pero que no afectan su desarrollo natural de manera normal, entonces con la idea de que las raíces retienen metales es como el hombre ha desarrollado ingeniería para aplicar bajo este criterio en zonas con drenajes ácidos de mayor impacto (Lim et al.; 2003).

Sin embargo, la implementación de plantas en un sistema de Humedal no es tan relevante en la remoción de metales, según lo menciona (Bragato et al.; 2006). Más bien es una cuestión de temperatura he allí la derivación de Humedal las plantas ayudan a mantener la zona de contacto con humedad condicional, en general, las plantas en humedales a pesar que no aportan directamente a la reducción de las concentraciones de los metales (en gran medida por la poca asimilación dentro de sus tejidos), son importantes desde otros puntos de vista como evitar la colmatación, generar espacios para el aire formando gradientes de oxígeno, y por medio de las raíces y exudados facilita el desarrollo de comunidades bacterianas selectivas importantes para los procesos de remoción (Ali, Khan, y Sajad, 2013 ; Chen et al., 2014). El tema de uso de plantas es aún controversial ya que hay posturas que mantienen una opinión de que estas soportan concentraciones altas y tolerancia a los metales en otros estudios, posiblemente el pH puede ser el principal causante de su afectación en los sistemas de humedales que traten los DAM (Batty & Younger, 2007).

Para poder adicionar una especie vegetal en un Humedal, es necesario que estas tengan una resistencia particular a las concentraciones básicas de pH con esta premisa las plantas que más se ajustan son las de tipo acidófilas que crecen y se desarrollan adecuadamente en ambientes muy ácidos, ácidos o levemente ácidos. Los cítricos y generalmente las plantas de interior, como: *Aeschynantus*, *Calathea*, *Codiaeum*, *Coleus*, *Columnea*, *Dieffenbachia*, *Fatshedera*, *Ficus*, *Kalanchoes*, *Peperomia*, *Rhipsalidopsis*, *Schlumbergera* son generalmente los que requieren de hábitat ácidos, otras que destacan en esta clasificación son las siguientes:

- *Anthurium*, *Anturios*: 4,5-5,5.
- *Aphelandra squarrosa*, *la planta zebra*: 5,0-6,0.
- *Los helechos*, *en general*, *por ejemplo*: *Adiantum* y *Nephrolepis*,: 5,0-6,0.
- *Begonias rex*, *elatior*, *limmingheana*: 5,0-6,0.
- *Bougainvillea*: 5,0-6,5.
- *Las Bromeliáceas*: *Aechmeas*, *Guzmanias*, *Neoregelias* y *Vrieseas*: 5,0-6,0.
- *Hyacinthus*: 4,0-4,5.
- *Loropetalum chinensis*-*Loropétalo*.
- *Rosas & Rosales*: 5,0-6,0.
- *Rhododendros*-*Azaleas*: 4,0-5,0.

- **Tiempo de retención y Flujo del Caudal**

El comportamiento de humedales varía según la carga metálica y el tiempo de exposición de los metales en el tratamiento, mientras más tiempo de contacto se tenga con los agentes de sustratos, material calcáreo y plantas se obtendrá una mayor remoción metálica. Este criterio se establece bajo cálculos establecidos y según las condiciones físicas del área de trabajo a escalas reales. (Galván, H.; 2016). Controlar estos factores del tiempo de contacto y caudal de paso del flujo en tratamiento nos asegura el desempeño ideal, de nada sirve un diseño implementado sin tener estos criterios establecidos.

3.4. Costeo del Humedal Diseñado.

Dentro del presupuesto para el Humedal se toma en consideración de Captación de las aguas, Trabajos preliminares, movimiento de tierras, obras preliminares de concreto, revestimientos, consideraciones de válvulas entre otros detalles que se detallan en la parte de anexos. Las consideraciones principales de los metrados se muestran a continuación:

Tabla 8

Resumen de metrados del Humedal

PRECIOS Y CANTIDADES DE RECURSOS REQUERIDOS POR TIPO						
Obra	"CREACION DEL HUMEDAL PARA REDUCCION DE AGUAS ACIDAS, TESIS"					
Subpresupuesto	001	"CREACION DEL HUMEDAL PARA REDUCCION DE AGUAS ACIDAS, TESIS"				
Fecha	Junio 02 de 2019					
Lugar	060101 CAJAMARCA - CAJAMARCA - CAJAMARCA					
Código	Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
MANO DE OBRA						
0147010003	OFICIAL	hh	105.5550	15.82	1669.88	
0147010002	OPERARIO	hh	409.6313	17.55	7,189.03	
0147010004	PEON	hh	1280.7712	13.25	16970.22	
0147000032	TOPOGRAFO	hh	4.0317	24.70	99.58	
					25928.71	
MATERIALES						
0202970046	ACERO CORRUGADO FY=4200 KG/CM2 GRADO 60	kg	96.9129	3.10	300.43	
0272900074	ADAPTADOR UPR PVC SAP C-10 2"	und	4.0000	2.65	10.60	
0205010036	AFIRMADO PREPARADO	m3	22.4000	52.00	1,164.80	
0239050000	AGUA	m3	2.7303	1.00	2.73	
0253030002	AGUARRAZ	gln	0.6670	35.00	23.35	
0202000007	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 16	kg	5.5380	3.80	21.04	
0202000008	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 8	kg	45.6960	4.10	187.35	
0239100100	ALQUILER CASA PARA ALMACEN	mes	2.0000	500.00	1000.00	
0204000000	ARENA FINA	m3	5.6688	55.00	311.78	
0288010016	ARENA GRUESA	m3	21.3594	53.00	1,132.05	
0213000006	ASFALTO RC-250	gln	14.0448	13.50	189.60	
0221000000	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BOL	325.5162	23.50	7649.63	
0229040005	CINTA TEFLON	pza	4.0000	1.00	4.00	
0202010005	CLAVOS PARA MADERA C/C 3"	kg	34.2720	4.30	147.37	
0272530034	CODO PVC SAP 2" X 90°	pza	4.0000	2.96	11.84	
0243510013	ESTACAS MADERA 2"X2"X1'	pza	3.0200	0.64	1.93	
0205360019	GRAVA 3 A 4 CM	m3	0.4200	60.00	25.20	
0205540002	GRAVA DE 1"A3"	m3	0.0136	50.00	0.68	
0205000034	GRAVA PARA FILTRO DE 1 A 2 cm	m3	0.6300	60.00	37.80	
0205000033	GRAVA PARA FILTRO DE 3 A 2 cm	m3	0.6300	60.00	37.80	
0238000004	HORMIGON	m3	0.4257	60.00	25.54	
0230110015	IMPERMEABILIZANTE	gln	8.3020	50.00	415.10	
0288010069	IMPRIMANTE LATEX	gln	0.6670	22.50	15.01	
0239020034	LIJA DE FIERRO # 8	und	0.6670	1.00	0.67	
0245010001	MADERA TORNILLO INC.CORTE P/ENCOFRADO	p2	964.1856	8.43	8128.08	
0232970002	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	GLB	1.0000	2500.00	2500.00	
0265450061	NIPLE DE PVC DE 2" X 3"	pza	4.0000	3.50	14.00	
0230460037	PEGAMENTO PARA PVC	gln	0.0344	85.00	2.92	
0205000049	PIEDRA CALIZA CHANCADA	m3	37.8000	60.00	2268.00	
0205000003	PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3	21.6628	53.00	1148.13	
0254110090	PINTURA ESMALTE	gln	0.4002	35.00	14.01	
0243570052	PISÓN MANUAL	pza	297.8600	2.12	631.46	
0265080032	REDUCCION DE PVC DE 4" x 2"	und	2.0000	13.60	27.20	
0239990069	TAPA SANITARIA 1/8" X0.40X0.40M	und	1.0000	122.50	122.50	
0239990063	TAPA SANITARIA 1/8" X0.60X0.60M	und	2.0000	135.59	271.18	
0272040011	TAPON MACHO SP PVC SAP P/AGUA DE 2"	und	2.0000	5.00	10.00	
0272010045	TUBERIA PVC NTP 399.002 DIAM.2"X5M C-10	m	7.0000	12.20	85.40	
0272030011	UNION SP PVC SAP P/AGUA DE 2"	und	4.0000	2.30	9.20	
0272030037	UNION UNIVERSAL PVC SAP DE 2"	und	4.0000	40.00	160.00	
0278000077	VALVULA BOLA PVC ROSCADA DE 2"	und	2.0000	24.90	49.80	
0288010105	YESO (BOLSA DE 20 KG)	BOL	3.7758	6.69	25.26	
					28183.44	
EQUIPOS						
0388010025	CIZALLA MANUAL	hm	2.9536	0.85	2.51	
0337540017	MIRA TOPOGRAFICA Y JALONES	hm	4.0317	4.67	18.83	
0349880002	NIVEL TOPOGRAFICO	hm	2.0083	6.25	12.55	
0330550011	TEODOLITO	hm	0.2416	7.50	1.81	
					35.70	
					S/.	54147.85

Tabla de presupuestos a emplear en la construcción del Humedal en base al Norma Técnica de Metrados (2020).

4.1 Discusión

4.1.1. Discusión de la caracterización del agua

El agua que se analizó, es un agua netamente ácida con un pH característico de 2.9 que evidencia la acidez de las muestras analizadas, además las concentraciones metálicas que reafirman que estamos frente a un tipo de agua ácida son las concentraciones de metales tales como: Aluminio 166.302 ppm, Cobre 7.791 ppm, Hierro 53.084 ppm, Manganeso 27.494 ppm y Zinc 160.879 ppm. Al encontrarnos con estas concentraciones por encima de los LMP hacemos hincapié en la necesidad de establecer un tratamiento que logre en primera instancia neutralizar dichas aguas y a la vez también remover dichos metales o reducir su concentración con tal de que no superen los LMP establecidos por el MINAM. Establecer las condiciones iniciales del agua nos ayuda a tener un panorama claro de cómo proceder a realizar un posible tratamiento, partiendo de esta premisa se puede evaluar las concentraciones de metales presentes en un agua ácida y a la vez ver cuáles representan un riesgo más latente. Tal como lo menciona Osvaldo Aduvire en su libro denominado “Drenaje Ácido de Mina, Generación y Tratamiento”, como primer paso para poder realizar un tratamiento adecuado es saber qué tipo de aguas estamos manejando esto se conoce a detalle con un análisis exhaustivo con objeto de identificar qué tipo de agentes metálicos están presentes en las aguas, es característico de los Drenajes Ácidos de Minas, una concentración metálica alta en metales asociados a sus actividades de extracción antes realizadas ante ello se debe plantear un sistema adecuado que contrarreste y pueda remover las concentraciones hasta tal punto de poder realizar descargas de agua con calidad A3, para aguas de uso industrial minera (Aduvire, O.; 2006).

4.1.2. Discusión para el Dimensionamiento

Las dimensiones del Humedal son posibles gracias al Método proporcionado por el Departamento del Interior de Minas (USBM), haciendo uso de la carga metálica del hierro identificada en la caracterización de aguas, resultando un área teórica de 98.169 m² la cual se aproxima a 100 m² para cuestiones de diseño. Entonces podemos decir que sí es viable aplicar un área de esa dimensión a escala real en campo ya que se cuenta con extensiones de hectáreas aledañas a las zonas de impacto del PAM El Dorado, hacemos referencia a este método en el estudio de Jiménez y Llanos quienes desarrollaron el cálculo haciendo uso del mismo método, en este caso se hace mención de las dimensiones a una escala piloto pero los datos son posibles de extrapolar para un dimensionamiento a escala real lo que fundamenta al método probado experimentalmente como viable de aplicar (Jiménez, J. & Llanos, J.; 2019). Es necesario mencionar que el diseño de un Humedal, debe adaptarse a las condiciones reales con las que se cuenta en campo ya que el objetivo de aplicación es el campo mismo dentro de ello tenemos que considerar cada aspecto físico que se presente desde relieve, pendiente, clima, humedad, vegetación zonal y zona de influencia (Díaz, S.; 2014). Como parte del diseño de un Humedal se debe tener en cuenta los controles temporales que evaluarán el desempeño que tiene el sistema en el tratamiento de aguas ácidas, de esta manera lo recomendable es un diseño apegado a medir los índices de desempeño tales como variación de pH y concentraciones de metales después de haber realizado el proceso de tratamiento. (Gómez et. al, 2004)

4.1.3. Discusión para el diseño y costeo de implementación del Humedal

- Diseño

Un Humedal debe tener específicamente un proceso secuencial establecido, empezando desde el Análisis Físico y Químico, dentro de este análisis un criterio característico es el Potencial de Hidrogeno pH ya que en primera instancia sirve para clasificar el tipo de agua que por conocimiento general los PAM tienen una concentración de este parámetro baja, otra de las consideraciones necesarias en el diseño es tener un sustrato de tratamiento que son agentes de tipo químicos o naturales entre ellos tenemos materiales arcillosos, derivados de palma, compost, materia orgánica, concentrados de cal, soda cáustica entre otros (Chong, Chia, y Ahmad, 2013). Seguidamente se debe considerar el tipo de planta que ayudará en la remoción ya que unos de los mejores aliados son las plantas con sus raíces con gran capacidad de acumulación de metales, son de tipo diverso las plantas de este tipo, pero es necesario contar con la adaptabilidad de la planta con el ambiente en el que será usada entre las más conocidas tenemos juncos, cortaderas, perlitas de campo, calamagrostis, festucas, gramillas, totora entre otras. (Ñañez, D.; 2016). Adicional a los componentes el control de un tiempo de contacto de las aguas ácidas es necesario para que los agentes hagan efecto en la remoción de metales se tiene registros de que mientras mayor es el tiempo de retención mayor es el efecto que reduce la concentración misma, el comportamiento del tiempo de retención se puede controlar con el ajuste del caudal, dentro de ello se menciona que el control es un ajuste temporal de este parámetro asegurando un adecuado tiempo (Licapa, G.; 2015)

- **Costeo**

El costo estimado de la aplicación a escala real es de 54 923.04 nuevos soles, lo que significa un costo considerable pero viable y opcional para el tratamiento de las aguas ácidas del tratamiento de PAM El Dorado.

Tabla 9

Consideraciones de Costo

Ítem	Descripción	Costo S/.
01	Obras Provisionales	3500.00
02	Tratamiento De Aguas Ácidas	51423.04
02.01	Captación De La Fuente De Agua	4615.55
02.01.01	Trabajos Preliminares	39.10
02.01.02	Movimiento De Tierras	595.00
02.01.03	Obras De Concreto Simple	306.30
02.01.04	Obras De Concreto Armado	2281.60
02.01.05	Revoques Y Enlucidos	526.34
02.01.06	Material Granular Para Filtro	132.65
02.01.07	Tuberías, Válvulas Y Accesorios	278.72
02.01.08	Varios	455.84
02.02	Canal Revestido	45633.10
02.02.01	Trabajos Preliminares	687.40
02.02.02	Movimiento De Tierras	12739.16
02.02.03	Obras De Concreto Simple	19903.44
02.02.04	Revoques Y Enlucidos	8508.80
02.02.05	Material Granular Para Filtro Caliza	3108.96
02.03.05	Revoques Y Enlucidos	132.51
02.03.06	Válvulas Y Accesorios	278.72
02.03.07	Varios	223.65
	Costo Directo	54923.04
SON : CINCUENTICUATRO MIL NOVECIENTOS VEINTITRES Y 04/100 NUEVOS SOLES		

- En cuestión de las condiciones del agua, son definitivamente de calidad ácida y son una fuente grave de generación de impactos negativos contaminando las aguas aledañas en la zona de influencia del PAM el Dorado.
- Las dimensiones del Humedal fueron calculadas gracias al método otorgado por USBM de diseño del área mínima de un Humedal en condicionamiento a la concentración metálica del Hierro, primero se estableció el cálculo para la cantidad de hierro a remover por día que resulta en 1963.381 g/día, este dato ayuda a calcular el área que es teóricamente 98.169 m² y para cuestiones de diseños se asume un área de 100 m², el dimensionamiento calculado es un dimensionamiento aceptable para poder ser aplicado a escala real ya que los diseños de este tipo de tratamientos demandan de áreas extensas para su buen funcionamiento.
- Se concluye que la cantidad de caliza a emplear es de 25603.2 Kg, una cantidad de material considerable para las dimensiones establecidas así mismo se considera que el rendimiento del material calcáreo tiene un uso operativo funcional de 20 a 25 años lo que nos hace el método sostenible a largo plazo.
- En cuanto al análisis de costos, el presupuesto que se detalla para la implementación de la ingeniería de detalle es de 54923.04 nuevos soles, si bien es cierto es un costo considerable es necesario para mitigar los impactos que está causando el PAM además la aplicación supone una sostenibilidad a largo plazo lo que hace de la inversión adecuada y segura de realizar. A modo de mención personal considero que los PAM son un problema latente que debe ser tratado con mayor seriedad, agilizando los planes de acción de tal manera que se mitiguen los impactos generados lo más pronto posible.

REFERENCIAS

- Aduvire, O. (2006). Drenaje ácido de mina generación y tratamiento. *Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente*.
- Alegre, A. Los Pasivos Ambientales Mineros en la Legislación Peruana. Lima, octubre 2009.
- Allcchhuamán Quichua, R., & Román Damián, R. S. (2017). Determinación del tiempo de retención óptimo del sistema de tratamiento pasivo biorreactor de compost para la remoción de sulfatos de drenaje ácido de mina a escala laboratorio, Caso: Centro poblado San Miguel de Viso.
- Alzate Amariles, E. Y. (2015). Influencia del pH y el tipo de macrofitas en la remoción de materia orgánica y cadmio de un drenaje sintético de minería de carbón, por medio de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto.
- Cadillo Nieto, E. M. (2018). Propuesta de mejoramiento de la calidad de las aguas ácidas que drenan del pasivo ambiental de la Mina Nuncia Mediante el uso de Bacterias Sulfato Reductoras—Ataquero—Carhuaz—Ancash.
- Chávez, H., & Ener, C. (2018). Tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmonte Unsuitable iv Yanacocha norte por el proceso de humedales en Serpentin.
- Córdova De la Cruz, R. C., & Rojas Pérez, J. (2015). Alcalinización con travertino y desmineralización de aguas ácidas de minas en simulador de humedal a nivel de laboratorio.
- De La Cruz Lima, Y. (2019). Efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018.
- Defensoría del Pueblo. Serie Informes Defensoriales – Informe N° 171 ¡Un llamado a la remediación! Avances y pendientes en la gestión estatal frente a los pasivos ambientales mineros e hidrocarbúricos. Lima, junio de 2015.

Díaz Gálvez, S. (2014). Eficiencia de las estructuras construidas para mejorar la calidad del

agua en el cierre de actividades en la mina Banco Minero y Tahona-Hualgayoc-Cajamarca.

Galván, J. L., Cubillos, J. A., & Paredes, D. Evaluación de sistemas de humedales construidos para la disminución de la concentración de metales pesados generados por drenajes ácidos de minería. *Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua*, 13.

Gómez, H. El deber jurídico de restauración ambiental. Congreso Internacional de Derecho Administrativo. Derecho Administrativo en el Siglo XXI – Volumen II. Lima: Adrus D&L Editores SAC, 2013, pp. 445 a 466.

GÓMEZ-ÁLVAREZ, A., VILLALBA-ATONDO, A., ACOSTA-RUÍZ, G., CASTAÑEDA-OLIVARES, M., & Kamp, D. (2004). Metales pesados en el agua superficial del Río San Pedro durante 1997 y 1999. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 20(1), 5-12.

Guevara Eslava, A. I. (2012). *Utilización De Los Humedales Construidos En El Tratamiento Del Drenaje Acido De Minas* (Doctoral disertación, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Química).

Huillca, P., & Almendra, G. (2018). Evaluación del funcionamiento de un biorreactor pasivo utilizando bacterias sulfato-reductoras para el tratamiento de drenajes ácidos de Mina.

Jimenez Huallpa, C. C. (2017). Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi–Puno.

Kirschbaum, A., Murray, J., Arnoso, M., Tonda, R., & Cacciabue, L. (2012). Pasivos

ambientales mineros en el noroeste de Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 29(1), 248-264.

Mau Incháustegui, S. M. (2015). Estudio de la capacidad floculante de bacterias productoras de polímeros extracelulares para su potencial utilización en sistemas de tratamiento aerobio con lodos activados.

Montes, D. B., & Almanza, E. R. L. (2018). EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE HUMEDALES PARA LA DISMINUCIÓN DE CROMO (VI). *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 3, 325-327.

Ñáñez Alcántara, D. A. (2016). Estudio y selección de especies vegetales con potencial biorremediador en drenajes ácidos de roca y relaves minerales de la cuenca del río Santa (Áncash, Perú).

Oblasser, A. (2016). Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras: Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia y el Perú.

Palomino Cadenas, E. J. (2007). Sistemas de humedales para la biorremediación de Drenajes Ácidos De Mina O Roca En Ancash-Perú.

Paredes, J., & Ñique, M. (2018). Optimización De La Fitorremediación De Mercurio En Humedales De Flujo Continuo Empleando Eichhornia Crassipes "Jacinto De Agua". *RevIA*, 5(1 y 2).

Pulcha, J., & Valencia, M. (2019). *Tesis de grado*, evaluación de la degradación de contaminantes ecotóxicos de las aguas de residuales de la industria minera por medio de humedales artificiales.

Redolfo, L., & Sandi, G. (2015). Influencia del tiempo de retención y composición del

sustrato en la remoción de hierro y cobre del drenaje ácido de mina en humedales artificiales.

Reinthalder-Lottermoser, U., Meikl, M., Gimeno, A., Weinke, E., & Schwarzenbacher, R. (2010). A new approach for surveying the Alpine Salamander (*Salamandra atra*) in Austria. *Acta Herpetologica*, 5(2), 249-254.

Rodriguez, B., Jessica, J., & Estacio Ocas, M. N. (2019). Propuesta de tratamiento de drenes anóxico calizo combinado con humedal en la mina Michiquillay-Encañada, 2019.

Skousen, J. (1997). Overview of passive systems for treating acid mine drainage. *Green Lands*, 27(4), 34-43.

Vitor, A., & Cristhian, A. (2019). Tratamiento de aguas ácidas para la obtención de agua tipo III en la Sociedad Minera El Brocal SAA–Tinyahuarco-Pasco–2019.

Windy Craggy; Morin and Hutt, 2001; Macraes gold mine; Schroeder et al., 2005; Pebble porphyry deposit; Harraden et al., 2013

Yupari, A. Informe “Pasivos ambientales mineros en Sudamérica” elaborado para la para CEPAL, el Servicio Nacional de Geología y Minería, SERNAGEOMIN y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, BGR.

Zevallos Santivañez, J. F. (2016). Estabilización del drenaje ácido de mina (Dam) de la Empresa Paraiso Perdido Apat.

ANEXO N°01 - Abreviaturas Usadas en la Investigación

- ALD Anoxic Limestone Draine.
- AMSAC Activos Mineros Sociedad Anónima Cerrada.
- DAC Drenaje Anóxico Calizo.
- DAM Drenaje Ácido de Mina.
- DGAAM Dirección de Asuntos Ambientales Mineros.
- DTM Dirección Técnica Minera.
- ECA Estándar de Calidad Ambiental.
- FONAM Fondo Nacional del Ambiente.
- GPM Galones por Minuto.
- ICP Plasma de Acoplamiento Inducido.
- LMP Límites Máximos Permisibles.
- MEM Ministerio de Energía y Minas.
- PAM Pasivos Ambientales Mineros.
- pH Potencial de Hidrógeno.
- ppm Partes por Millón.
- REDOX Reducción Oxidación.
- SAPS Sistemas de Producción Sucesiva de Alcalinidad.
- SRB Bacterias Sulfato Reductores
- UNMSM Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- USBM United States Bureau of Mines.

ANEXO N°02 - Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
	Objetivo General	Hipótesis General		Variable Independiente	
¿Es factible aplicar el tratamiento pasivo (Wetland) para aguas ácidas del Pasivo Ambiental El Dorado de Hualgayoc?	Diseñar un Humedal para remediar los drenajes ácidos de mina producidos por los Pasivos Ambientales Mineros el Dorado de Hualgayoc.	La propuesta de diseño de un Humedal para el tratamiento de la descarga de aguas ácidas de los PAM El Dorado en Hualgayoc, supondrán una alternativa viable ambiental y económica para lograr estabilizar las aguas de dichos drenajes y cumplir con los Límites Máximos Permisibles establecido por el MINAM.	“ Tratamiento de Pasivos Ambientales Mineros”	Potencial de Hidrógeno	pH
				Concentración Metálica	ppm
	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas		Variable Dependiente	
	<ul style="list-style-type: none"> •Recopilar información acerca del análisis físico y químico de las descargas de agua producida por los PAM El Dorado. •Determinar las dimensiones del Humedal en metros, mediante el método de cálculo del “Área mínima de tratamiento de un Humedal” •Calcular el volumen (m3) y masa (kg) de caliza e emplear en el humedal después de haber obtenido las dimensiones y haciendo uso del método “Profundidad de caliza” propuesto por Pearson y McDonnell. •Realizar el análisis de costos de implementación a escala real del Humedal de tratamiento para las aguas ácidas drenadas de los PAM del Dorado en Hualgayoc. 	<ul style="list-style-type: none"> • La información que se recopilará de los análisis físicos y químicos evidenciará concentraciones metálicas fuera de los LMP establecidos por el MINAM. • El método de cálculo del área mínima para un Humedal (USBM) nos dará un alcance aproximado en metros de las dimensiones de diseño para el Humedal • EL volumen y masa de caliza estará directamente ligado a las dimensiones de las dimensiones calculadas del Humedal. • Los costos para la implementación de un humedal no superarán una inversión de S/. 60000.00 haciendo de la técnica de tratamiento viable. 	“ Diseño de un Humedal”	Dimensionamiento	Largo Ancho Profundidad Caliza Vegetación Materia Orgánica Remoción Metálica Neutralización de pH
				Componentes	
				Eficiencia	

ANEXO N°03 – Análisis ICP primera corrida de Metales (Parte 1)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INDECOPI - SNA CON REGISTRO N° LE 026



INFORME DE ENSAYO

C-505-L214-AMSAC

Pág 01 de 02

CLIENTE : ACTIVOS MINEROS S.A.C
Av. Prolongación Pedro Miotta N° 421 - San Juan de Miraflores-Lima

ATENCION : Ing. José Mas Mas

MÉTODOS DE ENSAYO : Fisicoquímico, Químico.

ITEM DE ENSAYO : Agua Subterránea

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : 05 botellas de 500mL,
Preservadas

MUESTREO : Muestras tomadas por el Cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 11 de Diciembre de 2019
Hora: 16:30

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 11 de Diciembre de 2019

Metales por ICP	EPA 200.7, Rev 4.4, 1994	Ag +0.00155, Al +0.020, As +0.0133, Ba +0.0000359, Be +0.0003481, Bi +0.00814, Ca +0.00410, Cd +0.000145, Ce +0.00451, Co +0.000148, Cr +0.0000290, Cu +0.000387, Fe +0.000723, Hg +0.0000320, K +0.0000511 +0.0000089, Mg +0.00255, Mn +0.00000059, Mo +0.000495, Ni +0.0103, Na +0.107, Nn +0.000316, P +0.00401, Pb +0.01150, Se +0.000007, Si +0.000000, Sn +0.000000, Sr +0.000000, Ti +0.000194, Tl +0.00549, V +0.000724, Zn +0.000557, Zr +0.000000	30d
-----------------	--------------------------	--	-----

Sello

Fecha Emisión

Supervisor Administrativo

Supervisor del Laboratorio de
Química

18/12/2019

Alexandra Aurazo Rodriguez

Edder Neyra Jaico
CIP 147028

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

* Las muestras serán eliminadas al término del tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado, salvo requerimiento expreso del cliente.

* Informes de ensayo 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.

ANEXO N°04 – Análisis ICP primera corrida de Metales (Parte 2)

INFORME DE ENSAYO

C-505-L214-AMSAC



Pág 02 de 02

Código de Laboratorio			C-505-01	C-505-02	C-505-03	C-505-04	C-505-05
Código de Cliente			Pz-01	Pz-02	Pz-03	Pz-04	Pz-05
Item de Ensayo			Agua Subterránea	Agua Subterránea	Agua Subterránea	Agua Subterránea	Agua Subterránea
Fecha de Muestreo			11/12/2019	11/12/2019	11/12/2019	11/12/2019	11/12/2019
Hora de Muestreo			11:18	11:08	10:50	10:30	-
Parámetro	Símbolo	Unidad					
Metales Totales por ICP							
Aluminio	Al	mg/L	82.117	53.689	57.997	171.823	Punto Seco
Antimonio	Sb	mg/L	< 0.00887	< 0.00887	< 0.00887	< 0.00887	
Arsénico	As	mg/L	< 0.0133	< 0.0133	< 0.0133	< 0.0133	
Bario	Ba	mg/L	< 0.0000358	< 0.0000358	< 0.0000358	< 0.0000358	
Berilio	Be	mg/L	< 0.0000481	< 0.0000481	< 0.0000481	< 0.0000481	
Boro	B	mg/L	0.083	0.286	0.292	0.284	
Cadmio	Cd	mg/L	3.966	5.000	2.074	5.858	
Calcio	Ca	mg/L	211.394	303.689	298.439	293.711	
Cerio	Ce	mg/L	< 0.00451	< 0.00451	< 0.00451	< 0.00451	
Cobalto	Co	mg/L	< 0.000148	< 0.000148	< 0.000148	< 0.000148	
Cobre	Cu	mg/L	13.816	5.74	23.458	5.436	
Cromo	Cr	mg/L	0.051	0.077	0.148	0.298	
Estaño	Sn	mg/L	< 0.00391	< 0.00391	< 0.00391	< 0.00391	
Estroncio	Sr	mg/L	0.306	0.430	0.609	0.598	
Fósforo	P	mg/L	5.778	4.167	12.878	7.171	
Hierro	Fe	mg/L	4.977	35.51	39.901	39.467	
Litio	Li	mg/L	< 0.0000669	< 0.0000669	< 0.0000669	< 0.0000669	
Magnesio	Mg	mg/L	54.927	64.937	45.863	94.851	
Manganeso	Mn	mg/L	7.76	14.716	17.313	15.724	
Mercurio	Hg	mg/L	< 0.0000326	< 0.0000326	< 0.0000326	< 0.0000326	
Molibdenc	Mo	mg/L	< 0.000495	< 0.000495	< 0.000495	< 0.000495	
Niquel	Ni	mg/L	< 0.000318	< 0.000318	< 0.000318	< 0.000318	
Plata	Ag	mg/L	< 0.00155	< 0.00155	< 0.00155	< 0.00155	
Plomo	Pb	mg/L	2.254	1.94	1.173	1.011	
Potasio	K	mg/L	1.709	1.603	2.510	2.628	
Selenio	Se	mg/L	< 0.0183	< 0.0183	< 0.0183	< 0.0183	
Silicio*	Si	mg/L	16.03	16.18	25.601	38.056	
Sodio	Na	mg/L	90.275	130.440	77.318	78.870	
Talio	Tl	mg/L	< 0.00549	< 0.00549	< 0.00549	< 0.00549	
Titanio	Ti	mg/L	< 0.000104	< 0.000104	< 0.000104	< 0.000104	
Vanadio	V	mg/L	< 0.000724	< 0.000724	< 0.000724	< 0.000724	
Zinc	Zn	mg/L	157.348	168.574	125.556	186.003	

(*) Los Métodos Indicados no han sido acreditados por el Indecopi-SNA.



ANEXO N°05 – Análisis ICP segunda y tercera corrida de Metales (Parte 2)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INDECOPI - SNA CON REGISTRO No LE 028



INFORME DE ENSAYO

C-504-L214-AMSAC

Pág 01 de 03

CLIENTE : ACTIVOS MINEROS S.A.C
Av. Prolongación Pedro Miotta N° 421 - San Juan de Miraflores-Lima

ATENCIÓN : Ing. José Mas Mas

MÉTODOS DE ENSAYO : Físicoquímico, Químico.

ITEM DE ENSAYO : Agua Superficial



PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : 05 botellas de 500ml,
:
Preservadas

MUESTREO : Muestras tomadas por el Cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 11 de Diciembre de 2019
Hora: 16:30

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 11 de Diciembre de 2019

Metales por ICP	EPA 200.7, Rev 4.4, 1994	Ag<0.00155,Al<0.026,As<0.0133,Ba<0.0000250, Ba<0.0000481,Bi<0.00614,Ca<0.00416,Cd<0.00145, Ce<0.00451,Cr<0.006148,Cr<0.0060290,Cu<0.006367, Fe<0.000723,Hg<0.0000320,K<0.0365,Li<0.0000009, Mg<0.0025,Mn<0.0000059,Mo<0.000005,Se<0.0103, Pb<0.007,Ni<0.000016,P<0.00461,Pb<0.00158, Sb<0.00467,Sr<0.00359,Sn<0.00301,St<0.0000419, Ti<0.00104,Ti<0.00246,V<0.00124,Zn<0.0000257 (mg/L)	30d
-----------------	--------------------------	--	-----

Sello	Fecha Emisión	Supervisor Administrativo	Supervisor del Laboratorio de Química
	18/12/2019	 Alexandra Aurazo Rodriguez	 Edder Neyra Jaico CIP 147028

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

* Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

* Las muestras serán eliminadas al término del tiempo máximo de conservación recomendado/ obligado, salvo requerimiento expreso del cliente.

* Informes de ensayo 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 emite.

ANEXO N°06 – Análisis ICP segunda corrida de Metales (Parte 2)



INFORME DE ENSAYO

C-504-L214-AMSAC

Pág 02 de 03

Código de Laboratorio	C-504-01	C-504-02	C-504-03	C-504-04		
Código de Cliente	M-01	M-02	M-03	M-04		
Item de Ensayo	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial		
Fecha de Muestreo	11/12/2019	11/12/2019	11/12/2019	11/12/2019		
Hora de Muestreo	09:08	09:53	11:40	12:55		
Parámetro	Símbolo	Unidad				
Metales Totales por ICP						
Aluminio	Al	mg/L	1.449	161.436	2.562	2.153
Antimonio	Sb	mg/L	< 0.00667	< 0.00667	< 0.00667	< 0.00667
Arsénico	As	mg/L	< 0.0133	< 0.0133	< 0.0133	< 0.0133
Bario	Ba	mg/L	< 0.0000358	< 0.0000358	< 0.0000358	< 0.0000358
Berilio	Be	mg/L	< 0.0000481	< 0.0000481	< 0.0000481	< 0.0000481
Boro	B	mg/L	0.08	0.388	< 0.00814	0.012
Cadmio	Cd	mg/L	< 0.000145	3.162	< 0.000145	< 0.000145
Calcio	Ca	mg/L	109.798	304.715	117.029	97.701
Cerio	Ce	mg/L	< 0.00451	< 0.00451	< 0.00451	< 0.00451
Cobalto	Co	mg/L	< 0.000148	< 0.000148	< 0.000148	< 0.000148
Cobre	Cu	mg/L	0.106	8.842	0.237	0.182
Cromo	Cr	mg/L	< 0.0000296	0.119	< 0.0000296	< 0.0000296
Estaño	Sn	mg/L	< 0.00391	< 0.00391	< 0.00391	< 0.00391
Estroncio	Sr	mg/L	0.338	0.401	0.341	0.296
Fósforo	P	mg/L	0.449	4.369	0.521	0.401
Hierro	Fe	mg/L	4.861	66.237	6.925	5.85
Litio	Li	mg/L	< 0.0000669	0.084	< 0.0000669	< 0.0000669
Magnesio	Mg	mg/L	6.194	53.417	6.523	6.086
Manganeso	Mn	mg/L	2.407	28.994	5.789	4.457
Mercurio	Hg	mg/L	< 0.0000326	< 0.0000326	< 0.0000326	< 0.0000326
Molibdeno	Mo	mg/L	< 0.000495	< 0.000495	< 0.000495	< 0.000495
Niquel	Ni	mg/L	< 0.000316	< 0.000316	< 0.000316	< 0.000316
Plata	Ag	mg/L	< 0.00155	< 0.00155	< 0.00155	< 0.00155
Plomo	Pb	mg/L	< 0.00158	0.184	< 0.00158	< 0.00158
Potasio	K	mg/L	0.299	0.833	0.339	0.286
Selenio	Se	mg/L	< 0.0163	< 0.0163	< 0.0163	< 0.0163
Silicio*	Si	mg/L	6.947	25.683	6.506	5.891
Sodio	Na	mg/L	12.257	98.733	7.17	8.98
Talio	Tl	mg/L	< 0.00549	< 0.00549	< 0.00549	< 0.00549
Titanio	Ti	mg/L	< 0.000104	< 0.000104	< 0.000104	< 0.000104
Vanadio	V	mg/L	< 0.000724	< 0.000724	< 0.000724	< 0.000724
Zinc	Zn	mg/L	2.094	147.247	4.659	3.36

(*) Los Métodos indicados no han sido acreditados por el Indecopi-BNA.



ANEXO N°07 – Análisis ICP tercera corrida de Metales (Parte 3)



INFORME DE ENSAYO

C-504-L214-AMSAC

Pág 03 de 03

Código de Laboratorio			C-504-05	C-504-06	C-504-07
Código de Cliente			M-05	M-06	M-07
Item de Ensayo			Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial
Fecha de Muestreo			11/12/2019	11/12/2019	11/12/2019
Hora de Muestreo			12:40	11:56	09:58
Parámetro	Símbolo	Unidad			
Metales Totales por ICP					
Aluminio	Al	mg/L	2.554	2.022	165.648
Antimonio	Sb	mg/L	< 0.00667	< 0.00667	< 0.00667
Arsénico	As	mg/L	< 0.0133	< 0.0133	< 0.0133
Bario	Ba	mg/L	< 0.0000358	< 0.0000358	< 0.0000358
Berilio	Be	mg/L	< 0.0000481	< 0.0000481	< 0.0000481
Boro	B	mg/L	< 0.00814	< 0.00814	0.016
Cadmio	Cd	mg/L	< 0.000145	< 0.000145	3.264
Calcio	Ca	mg/L	125.901	108.372	304.576
Cerio	Ce	mg/L	< 0.00451	< 0.00451	< 0.00451
Cobalto	Co	mg/L	< 0.000148	< 0.000148	< 0.000148
Cobre	Cu	mg/L	0.225	0.198	9.094
Cromo	Cr	mg/L	< 0.0000296	< 0.0000296	0.119
Estaño	Sn	mg/L	< 0.00391	< 0.00391	< 0.00391
Estroncio	Sr	mg/L	0.375	0.326	0.395
Fósforo	P	mg/L	0.48	0.438	4.545
Hierro	Fe	mg/L	7.375	5.967	53.548
Litio	Li	mg/L	< 0.0000669	< 0.0000669	0.076
Magnesio	Mg	mg/L	7.62	6.349	54.049
Manganeso	Mn	mg/L	5.33	4.074	39.763
Mercurio	Hg	mg/L	< 0.0000326	< 0.0000326	< 0.0000326
Molibdeno	Mo	mg/L	< 0.000495	< 0.000495	< 0.000495
Niquel	Ni	mg/L	< 0.000316	< 0.000316	< 0.000316
Plata	Ag	mg/L	< 0.00155	< 0.00155	< 0.00155
Plomo	Pb	mg/L	< 0.00158	< 0.00158	0.188
Potasio	K	mg/L	0.368	0.342	0.988
Selenio	Se	mg/L	< 0.0163	< 0.0163	< 0.0163
Silicio*	Si	mg/L	6.313	6.285	25.115
Sodio	Na	mg/L	10.682	10.382	110.873
Talio	Tl	mg/L	< 0.00549	< 0.00549	< 0.00549
Titanio	Ti	mg/L	< 0.000104	< 0.000104	< 0.000104
Vanadio	V	mg/L	< 0.000724	< 0.000724	< 0.000724
Zinc	Zn	mg/L	4.017	3.297	149.388

(*) Los Métodos indicados no han sido acreditados por el Indecopi-3NA.



ANEXO N°08 – Revisión Antiplagio

21.7%

Resultados del Análisis de los plagios del 2020-06-03 18:15 PET

DISEÑO DE UN HUMEDAL COMO TÉCNICA DE REMEDIACIÓN PARA EL PASIVO AMBIENTAL MINERO EL DORADO DE HUALGAYOC.docx

Fecha: 2020-06-03 17:58 PET

★ Todas las fuentes 100 | Fuentes de internet 78 | Documentos propios 1 | Archivo de la organización 11 | Biblioteca Antiplagio de FlagScan 12

✓ [0]	info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf	4.8%	32 resultados
✓ [1]	docplayer.es/93330078-Universidad-nacional-de-ingenieria-facultad-de-ingenieria-ambiental.html	4.7%	36 resultados
✓ [2]	www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos	3.4%	30 resultados
✓ [3]	docplayer.es/51755465-Humedales-artificiales.html	2.8%	30 resultados
✓ [4]	edoc.pub/drenaj-mina-pdf-free.html	2.9%	22 resultados
✓ [5]	core.ac.uk/download/pdf/84108584.pdf	2.8%	19 resultados
✓ [6]	www.igme.es/Boletin/2002/113_1_2002/4-ARTICULO TRATAMIENTOS.pdf	2.4%	21 resultados
✓ [7]	docplayer.es/21032427-Drenaje-acido-de-mina.html	2.5%	16 resultados
✓ [8]	www.buenastareas.com/ensayos/Humedales-Artificiales/42706195.html	2.7%	22 resultados
✓ [9]	misistemasolar.com/humedal/	2.7%	27 resultados
✓ [10]	repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13946/Huamán Chávez Cinton Ener.pdf?sequence=1&isAllowed=y	2.0%	22 resultados
✓ [11]	www.afl.org.mx/index.php?option=com_content	2.4%	23 resultados
✓ [12]	repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21882/Bejarano Rodriguez Jesenya Jessica - Nataly Estacio Ocas Micaela.PDF?sequence=1	2.0%	21 resultados
✓ [13]	"Observaciones Levantadas (2).docx" fechado del 2020-05-20	2.0%	28 resultados
✓ [14]	core.ac.uk/download/pdf/71396135.pdf	1.8%	25 resultados
✓ [15]	aqetzall1.wordpress.com/2013/04/19/humedales-artificiales/	2.2%	17 resultados
	1 documento con coincidencias exactas		
✓ [17]	plandecierreupn2016.blogspot.com/2016/	1.8%	15 resultados
✓ [18]	mafiadoc.com/manual-de-depuracion-de-aguas-residuales-urbanas_59b1de5c1723dddc6092a26.html	1.9%	22 resultados
✓ [19]	repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6096/AMPahuga.pdf?sequence=1	1.7%	21 resultados
✓ [20]	plandecierreupn2016.blogspot.com/2016/05/metodos-de-tratamientos-pasivos-de.html	1.8%	13 resultados
✓ [21]	plandecierreupn2016.blogspot.com/2016/05/	1.8%	13 resultados
✓ [22]	humedalesdiadelaciencia.blogspot.com/	1.9%	14 resultados
✓ [23]	www.slideshare.net/foelsandoya/monografia-depuracionagua	1.8%	17 resultados
✓ [24]	idoc.pub/documents/idocpub-vnd532w075x	1.4%	16 resultados
✓ [25]	docplayer.es/92147367-Universidad-nacional-de-trujillo.html	1.8%	15 resultados
✓ [26]	opac.pucv.cl/pucv_bt/bx-2500/UCI2562_01.pdf	1.8%	16 resultados
✓ [27]	humedalesdiadelaciencia.blogspot.com/2013/09/humedales-artificiales.html	1.8%	12 resultados
✓ [28]	biblioteca.unrsm.edu.pe/redieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/MedioAmbiente/DAMhumedales.pdf	1.5%	14 resultados
✓ [29]	repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1007	1.2%	12 resultados
✓ [30]	docplayer.es/2126598-Monografia-sobre-humedales-artificiales-de-flujo-subsuperficial-hafss-para-remocion-de-metales-pesados-en-aguas-residuales.html	1.3%	17 resultados