



GOBIERNO REGIONAL DE MOQUEGUA
PROYECTO ESPECIAL REGIONAL PASTO GRANDE



TOMO N° 10

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO MIXTO FÍSICO – QUÍMICO Y BIOLÓGICO – MICROBIOLÓGICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS AGUAS DEL EMBALSE PASTO GRANDE

**ESTUDIO MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL
EMBALSE PASTO GRANDE DISTRITO CARUMAS, PROVINCIA
MARISCAL NIETO, REGIÓN MOQUEGUA**

2012

VCHI. S.A.

Contrato N° 002-2012-GG-PERPG
Consorcio

acciona
Ingeniería

V. 5

TOMO 10

INDICE

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO MIXTO FÍSICO QUÍMICO, BIOLÓGICO Y MICROBIOLOGICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS AGUAS DEL EMBALSE PASTO GRANDE"

I. INTRODUCCION	01
II. OBJETIVOS	02
III. ALCANCES	03
3.1 Tratamiento Mixto.	03
3.2 Ámbito del Tratamiento Mixto.	03
3.3 Tratamiento a nivel de la Descarga.	03
IV. PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS ACIDAS	04
V. MARCO CONCEPTUAL PARA EL TRATAMIENTO FISICO QUIMICO.	11
5.1 Tratamiento de aguas	11
5.2 Tipos de tratamiento	11
VI DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO	12
VII TRATAMIENTO	21
7.1 Mixto en afluentes.	21
7.2 Tratamiento del Embalse Pasto Grande.	21
7.3 Tratamiento en las aguas de transvase de la descarga.	22
7.4 Tratamiento de emergencia	22
7.5 Predicción de la calidad del agua con tratamiento mixto	22
VIII PARÁMETROS DE DISEÑO.	23
8.1 Diseño de estructuras hidráulicas para aplicación de cal	23
8.2 Diseño de las salas de químicos	26
8.3 Especificaciones técnicas de productos químicos	28
IX DISEÑO DE LAS INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICAS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	30
9.1 Infraestructuras hidráulicas en Ríos Millojahuir y Hualcane	30
9.2 Descripción de alternativa de Tratamiento seleccionada	31
9.3 Proceso de mejoramiento de la calidad de las aguas del embalse con la remediación propuesta.	34
X SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO	36
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	46

TOMO 10

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO MIXTO FÍSICO QUÍMICO, Y BIOLOGICO – MICROBIOLOGICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS AGUAS DEL EMBALSE PASTO GRANDE”

I. INTRODUCCION

La problemática de la contaminación de los Afluentes ha quedado identificada con las caracterizaciones hidrogeológicas, químicas biológica y meteorológicas, llegando a la conclusión de que se trata de remediar la acidez de las aguas de los afluentes que tienen la misma fuente de contaminación, al que se agrega la contaminación de minerales pesados producto de los pasivos ambientales de la actividad minera con presencia de carga metálica elevada en el Rio Patara.

El tratamiento químico está bien diferenciado atendiendo en el primer caso al Rio Millojahuir y Hualcane que tienen condiciones para el uso del tramo final del afluente como unidad de *tratamiento de dos instalaciones debidamente equipadas para elevar el pH de las aguas que se encuentran permanentemente con pH 3.0 ue elevando a nivel de oxidación en los primeros años con lechada de cal y estabilizadas con floculantes luego del proceso de floculación.*

El rio Cacachara con aguas acidas y contaminación entrópica, tiene características hidráulicas muy variadas con caudales importantes en periodo de lluvias y caudales ostensiblemente menores en el estiaje con gran cantidad de humedales en el alveo del rio y laderas de los cerros con afloramientos de aguas subterráneas con niveles altos de evaporación tal que el aporte de este rio es menor que el rio Millojahuir en el periodo de estiaje. Teniendo una cuenca 10 veces mayor.

Para estas condiciones el tratamiento debe atender las variaciones de los caudales y la contaminación antrópica y las micros cuencas de las quebradas de Cacachara, cotañani y Acosiri con tratamiento acondicionado a los caudales de los periodo de lluvias y estiaje utilizando las cauces y gradientes hidráulicas de los afluentes para la colocación de la caliza.

La velocidad promedio de los afluentes es mayor a 1.2 m/seg. Y por tanto la permanencia de estos no exceden en la mayoría de los casos de 3 hs, desde la naciente hasta la descarga en el Embalse por lo que se tiene que utilizar cámaras de contacto con caudales significativos, se podrá tener en *la confluencia con el Rio Patara un pH mayor, en la actualidad el pH del Cacachara antes de la confluencia con el Patara es de 3.7 debiendo elevar este a 6.0u.e con lo que por la mezcla de aguas básicas del Patara se tendrá aguas neutras en el ingreso al embalse.*

El refinamiento de estos resultados se pretende estabiliza con los humedales naturales los cuales deben trabajar en los dos periodos característicos de lluvias y de estiaje

En la actualidad estos humedales no son objeto de un manejo técnico que nos indiquen el tiempo de su renovación, encontrándose en la actualidad posiblemente todas las macrofitas con la mayor carga metálica, por lo que bajo las condiciones actuales no es posible evaluar la capacidad real de la eficiencia de estos humedales naturales, revirtiendo estos al río al no ser renovadas, a excepción de los utilizados como alimento de los camélidos de la zona.

Por lo expuesto el diseño de las unidades de tratamiento se ha efectuado, tomando en consideración la eficiencia de los costos económicos que demandara la puesta en marcha de la remediación con predominancia del tratamiento químico. Llegando a la conclusión del sistema Pasto Grande en **remediación**

- a) Físico Químico en Afluentes.
- b) Biológica en el Embalse. y
- c) Capacidad natural de remediación en la descarga al descender las aguas hasta el nivel del mar de 4550msnm, contando con un manejo integral, la operación del embalse con atención de la demanda, sin comprometer la oferta que tiene una capacidad multianual a sido correcta.

Se ha verificado que los años húmedos mejoran la calidad de las aguas del embalse y los años secos comprometen la capacidad de la reserva y la calidad de las aguas. Las características del embalse también contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas por la evaporación del 50% del rendimiento anual de la cuenca.

El diseño del tratamiento químico o tratamiento activo se ha determinado como lo más conveniente para las aguas ácidas del Millojahuira y Hualcane utilizando lechada de cal y uso de polímeros y tratamiento con caliza en los Río Antajarane y Cacachara complementados con humedales naturales existentes y humedales artificiales como unidades piloto de micro zonas representativas que permiten determinar los rendimientos de la plantas vasculares para hacer extensivo los criterios técnicos a nivel de los humedales ubicados en el álveo de los ríos.

II. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Evaluar los Diseños Físico Químicos seleccionados para la remediación de los afluentes complementando con los diseños Microbiológicos, Biológicos y Biológicos naturales y artificiales a fin de asegurar los niveles de eficiencia de la remediación de las aguas que contaminan el Embalse Pasto Grande y la descarga de las aguas de transvase. a la cuenca de Moquegua y que cumpla con las normas de calidad de aguas vigentes.

2.2. ESPECIFICOS

CONSORCIO V-5
Ing. Raúl Zamudio Castillo
ING. QUÍMICO
C.P. 66558

CONSORCIO V-5
Dr. César Lazcano Carreño
BIOLOGO
CBP. 269

CONSORCIO V-5
Ing. Víctor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
CIP. 6530

- Seleccionar el tratamiento Físico Químico de remediación que atienda a la problemática de la contaminación del Embalse Pasto Grande.
- Seleccionar del tratamiento Biológico, Microbiológico propuesto y el Tratamiento Físico Químico, que lo complementen
- Identificar el tratamiento Mixto (Químico-Biológico) que optimiza la remediación de los afluentes, al embalse.

III. ALCANCES

3.1 Tratamiento Mixto.

Como definición general se puede indicar que el tratamiento Físico Químico y el tratamiento Biológico actúan sobre un mismo proceso o se complementan, se acondicionan las aguas previamente con tratamiento químico para el tratamiento biológico, de acuerdo a lo definido el tratamiento mixto se circunscribe a nivel de fuentes específicamente en el tratamiento de las aguas del Río Antajarane y Cacachara; en el curso de los ríos Millojahuirá y Hualcane no es posible por la ubicación del tratamiento Físico Químico con mezcla y floculación continuando en el embalse con la sedimentación. Por tanto a nivel de afluentes el tratamiento Mixto se efectúa en el Río Antajarane y Cacachara.

3.2 Ámbito del Tratamiento Mixto.

El Río Antajarane que en su nacimiento es de buena calidad se deteriora en su recorrido llegando con un pH de 5 a 5.6 u.e. próximo a la descarga por lo que se ha determinado rehabilitar el Humedal natural de 4 Has y previamente elevar el pH con caliza dispuesta en el cauce de río, así mismo a nivel de los afluentes también se considera el Río Cacachara con todos los afluentes que tiene un caudal importante en el periodo de lluvias tiene un pH de 3.7 u.e. está previsto un humedal natural y dos humedales artificiales con carácter experimental, así mismo está previsto efectuar tratamiento con caliza en el lecho de los ríos, complementariamente se incluye tres cámaras de contacto de caliza a nivel del embalse está previsto tratamiento químico de emergencia y tratamiento biológico con totora y macrófitas. Es decir no es posible tratamiento mixto a nivel de la descarga tampoco es necesario efectuar tratamiento mixto por el gran potencial natural que tiene en oxigenación y gradiente hidráulico de 4550 metros..

El tratamiento químico a nivel del embalse está previsto solo para casos de emergencia o como complemento del tratamiento de los afluentes en forma temporal.

3.3 Tratamiento a nivel de la Descarga.

El potencial de oxigenación que tienen las aguas transvasadas a Moquegua, en su recorrido pasa por terrenos neutros a básicos de la cuenca de Moquegua mejorando la calidad de las aguas transvasadas lo que es un complemento fisicoquímico, natural y biológico que no requiere de ninguna obra de remediación solo se ha considerado un tratamiento de emergencia con un riesgo potencial de poca probabilidad

IV. PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS ACIDAS

El problema ambiental causado por la contaminación con metales pesados en el Perú como en la mayoría de países, se debe principalmente a los lixiviados de las operaciones mineras que drenan hacia las quebradas, lagos, lagunas, etc., de aguas naturales, contaminando las fuentes total o parcialmente; no todas las minas en el Perú producen ácido. Existen tres factores principales que tienden a contribuir al potencial de generación de ácido y a la calidad del drenaje ácido de las minas en el Perú:

- La compleja configuración geológica, principalmente, en lo referente a vetas;
- La variada mineralogía con potencial para contribuir con diferentes contaminantes en el tiempo, y en diferentes lugares;
- La asociación del mineral con la piritita como el principal mineral sulfurado.

Una característica exclusiva de los depósitos del norte y centro del Perú es la abundancia de la enargita (Cu_3AsS_4), un mineral comparativamente raro. Tal como lo describe Hulburt y Klein (1971), la enargita se encuentra en vetas y depósitos de reemplazo formado a temperaturas moderadas, asociada con la piritita, esfalerita, bornita, galena, tetrahedrita, covelita y calcocita. Debido a estas características especiales de los minerales del Perú tanto en el norte, centro y sur, es que se generan los actuales problemas ambientales, por ejemplo, las actividades de extracción en minas de cobre en Cuajone y Toquepala, localizadas en el sur del país, exponen grandes cantidades de contaminantes como sulfuros minerales Cu_3S_4 , que producen el drenaje ácido de mina cuando se ponen en contacto con agua y oxígeno. Estos residuos mineros de la extracción de cobre y de las operaciones de las refineries contaminaban el río Locumba. Otro problema conocido es la contaminación del lago Junín y el río Mantaro, que indirectamente reciben efluentes de la mina de Colquijirca. Otra característica de la minería en el Perú que contribuye a la reactividad de los relaves es la necesidad de un grado de molienda muy fino para poder ejecutar una adecuada recuperación por flotación de estos minerales complejos de aproximadamente 180 minas operativas (grande, mediana y pequeña minería) unas 25 a 30 presentan un declarado problema de drenaje ácido de mina. Es probable que existan otras concesiones que actualmente generen ácido pero no se posee información al respecto. Con frecuencia, éste es el caso de las áreas antiguas y abandonadas de las minas activas y también de las áreas mineras de larga explotación como Cerro de Pasco, Huancavelica y Ayacucho. Hay pocas minas operativas que tienen un potencial muy bajo de drenaje ácido de mina debido tanto a la geología favorable como al hecho de que están localizadas en áreas con un balance neto de agua negativo. Para el remanente de las minas operativas, el potencial de generación ácida en el futuro no ha sido determinado. Para mejorar el impacto ambiental causado por los drenajes ácidos de las minas de nuestro país se han desarrollado programas ambientales en los cuales se invierten grandes cantidades de dinero, pero la mayoría de estos tratamientos son químicos (tratamiento del DAM por precipitación con cal), sin desmerecer el efecto positivo del mismo, sin embargo se puede tener

CONSORCIO V-5

Ing. Raúl Zamudio Castillo
ING. QUÍMICO
CIP. 66858

CONSORCIO V-5

Dr. César Lozano Carreño
BIÓLOGO
CBP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
CIP. 6530

significativos ahorros con la implantación de sistemas biológicos tanto de fito como de bioremediación adaptadas a las situaciones específicas de cada drenaje ácido de mina o problemas de contaminación ácida de las fuentes de agua cercanas, tal como ocurre con el embalse Pasto Grande. Un tratamiento pasivo fue empleado para tratar el DAM en Orcopampa, Arequipa. Se utilizó un sistema de humedales donde las plantas acuáticas tal como el *Juncus imbricatus* "totora", Cianobacterias y algas Clorofitas son las que aportan el oxígeno al proceso. Los agentes contaminadores presentes en el DAM tales como Fe^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} fueron reducidos considerablemente y el efluente final fue utilizado para fines agrícolas (Beltrán, Vilma, 2004).

Los efectos de los metales sobre el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos varían considerablemente y son de importancia económica y de salud pública. Entre los mecanismos moleculares que determinan la toxicidad de los metales pesados se encuentran:

1. El desplazamiento de iones metálicos esenciales de biomoléculas y bloqueo de sus grupos funcionales,
2. Modificación de la conformación activa de biomoléculas, especialmente enzimas y polinucleótidos,
3. Ruptura de la integridad de biomoléculas.
4. Modificación de otros agentes biológicamente activos
5. Sinergismo de los elementos metálicos y otras sustancias tóxicas presentes en el agua, que incrementan el grado de toxicidad aguda con riesgos considerables a la biota y a la salud pública

Los metales pesados constituyen un grupo cercano a los 40 elementos de la Tabla Periódica que tienen una densidad mayor o igual a 5 g/cm^3 . El rasgo distintivo de la fisiología de los metales pesados, es que aun cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento como el Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Mo, se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas.

Debido a su movilidad en los ecosistemas acuáticos naturales y a su toxicidad para las formas superiores de vida, los iones de metales pesados presentes en los abastecimientos de aguas superficiales y subterráneos, se les ha dado prioridad como los contaminantes inorgánicos más importantes en el ambiente. Aun cuando se encuentren presentes en cantidades bajas e indetectables, la recalcitrancia y consiguiente persistencia de los metales pesados en cuerpos de agua, implica que a través de procesos naturales como la biomagnificación, su concentración puede llegar a ser tan elevada que empiece a ser tóxica. Los metales pesados pueden ser detectados ya sea en su estado elemental, lo que implica que no sufren modificaciones, o enlazados en varios complejos con sales. De cualquier manera, los iones metálicos no pueden ser mineralizados. Una vez en el ambiente, los metales pueden sufrir transformaciones a diferentes formas móviles y/o pueden ser inmovilizados en trampas ambientales. La biotransformación e

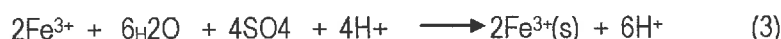
inmovilización producen efectos como la precipitación del oro, pero otros mecanismos, por ejemplo la sedimentación de radionúcleos por el plancton marino, tienen probablemente un mayor significado global como trampas para contaminantes. La deposición de metales vía microorganismos es de gran importancia en los ciclos biogeoquímicos; por ejemplo, la formación de microfósiles y de minerales, la deposición de hierro y manganeso y la mineralización de uranio y plata.

Los avances tecnológicos para el abatimiento de la contaminación por metales tóxicos consisten en el uso selectivo y en el mejoramiento de estos procesos naturales para el tratamiento de residuos particulares. Los procesos por los cuales los organismos interactúan con los metales tóxicos son muy diversos. Sin embargo, existen en la práctica tres categorías generales de procesos biotecnológicos para el tratamiento de residuos líquidos que contienen metales tóxicos: la biosorción; la precipitación extracelular y la captación a través de biopolímeros purificados y de otras moléculas especializadas, derivadas de células microbianas. Estos procesos no son excluyentes y pueden involucrar fenómenos fisicoquímicos y biológicos. Las tecnologías que utilizan estos procesos se encuentran actualmente en uso para controlar la contaminación de diversas fuentes incluyendo las actividades de fundición y de minería.

El tratamiento biológico de excelente resultado debe trabajar con bajos caudales por lo que serviría de modo excelente si actúa en forma complementaria al tratamiento físico químico, por lo que se debiera trabajar con sistemas en serie de pozas que disminuyan o repartan la tasa de filtración como ejemplo la creación de humedales artificiales.

a. Generación De Aguas Ácidas

Nordstrom y Alpers (1999) describen el proceso de oxidación de la pirita como el principal responsable de la formación de aguas ácidas; esta oxidación se ve favorecida en áreas mineras debido a la facilidad con la que el aire entra en contacto con los sulfuros a través de las labores mineras de acceso y por los poros existentes en las pilas de estériles y residuos, así como al incremento de la superficie de contacto de las partículas. Dichos autores consideran que los factores que más afectan a la generación del drenaje ácido de mina son el volumen, la concentración, el tamaño de grano y la distribución espacial de la pirita. Las reacciones que intervienen en la oxidación de la pirita pueden ser representadas por las siguientes cuatro ecuaciones (Skousen et al 1998); Nordstrom y Alpers, 1999; Mills, 1999; USEPA, 1996 y 2000; entre otros).



En la reacción de oxidación de la pirita (1) se produce Fe

CONSORCIO V-5

Ing. Raúl Zamudio Castillo
ING. QUÍMICO
CIP. 66553

CONSORCIO V-5

Dr. César Lazcano Carreño
BIOLOGO
CBP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
CIP. 6530

Esta reacción provoca un incremento en el total de sólidos disueltos y un aumento de la acidez, que irá asociado a una disminución del pH, a menos que sea neutralizada la acidez generada. Si el ambiente circundante es lo suficientemente oxidante, entonces muchos iones ferrosos se oxidarán a iones férricos (etapa 2). Por lo general, por encima de un pH alrededor de 3, el ión férrico formado precipita mediante hidrólisis como hidróxido (3), disminuyendo por tanto el Fe^{3+} en solución, mientras que el pH baja simultáneamente. Por último, algunos cationes férricos (Fe^{3+}) que se mantienen en solución, pueden seguir oxidando adicionalmente a la pirita y formar Fe^{2+} , SO_4^{2-} y H^+ (4).

Cinéticamente, la oxidación de la pirita (1) en un principio es un proceso lento, que acaba con el hierro liberado precipitado como hidróxido (3) al ser todavía relativamente alto el pH. Progresivamente la capacidad neutralizadora del medio va disminuyendo, y al alcanzar el pH el valor de 3,5 ya deja de formarse el hidróxido y la actividad del Fe^{3+} en solución se incrementa. A este pH, además, las bacterias catalizan y aceleran la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} (2) en varios órdenes de magnitud. Es entonces cuando la reacción (4) de oxidación de la pirita por el Fe^{3+} empieza a tener lugar, siendo la causa de la rápida oxidación de la pirita a pH ácido.

La geoquímica de las aguas ácidas de mina es un fenómeno complejo al haber diversos procesos físicos, químicos y biológicos jugando un papel importante en la producción, liberación, movilidad y *atenuación de los contaminantes*. En el trabajo de Nordstrom y Alpers (1999) se presenta una relación exhaustiva de procesos específicos que han estudiado y comprobaron que contribuyen en su conjunto a la geoquímica de las aguas ácidas de mina, estos procesos son los siguientes:

- 1) la oxidación de la pirita,
- 2) la oxidación de otros sulfuros,
- 3) la oxidación e hidrólisis del hierro disuelto y otros metales,
- 4) la capacidad neutralizadora de la ganga mineral y roca encajante,
- 5) la capacidad neutralizadora de las aguas bicarbonatadas,
- 6) la disponibilidad de oxígeno,
- 7) la disponibilidad de agua líquida o en forma de vapor,
- 8) la localización y forma de zonas permeables en relación con las vías de flujo,
- 9) las variaciones climáticas (diarias, estacionales o episodios de tormentas),
- 10) la formación de eflorescencias y su redisolución,
- 11) el calentamiento por conducción y radiación de calor generado en diversas reacciones exotérmicas (oxidación de la pirita, disolución de sales solubles y la dilución de un ácido concentrado),
- 12) la temperatura,
- 13) la acción de catálisis de las bacterias,

- 14) la adsorción microbiana de metales,
- 15) la precipitación y disolución de minerales durante el transporte,
- 16) la adsorción y desorción de metales durante el transporte,
- 17) la fotorreducción del hierro,
- 18) la formación de complejos orgánicos, y
- 19) los procesos micro ambientales sobre superficies o entorno a organismos.

La importancia que tiene el problema de la formación de aguas ácidas ha llevado a desarrollar y establecer una serie de ensayos capaces de determinar el potencial generador de acidez de los residuos mineros. La USEPA (1994) en un documento técnico sobre predicción de drenajes ácidos de mina hace un análisis de cada uno de los tipos de ensayos empleados en la predicción del potencial generador de ácido: estáticos, cinéticos y modelos matemáticos. Los ensayos estáticos predicen la calidad de los drenajes ácidos de mina mediante la comparación entre la capacidad de neutralización y el potencial de generación ácida. Los ensayos cinéticos se basan en reproducir en laboratorio y a nivel de planta piloto, los procesos y las condiciones de los lugares de mina que pueden generar acidez, dando información sobre el rango de producción ácida; estos ensayos conducen a confirmar los resultados de los ensayos estáticos, requieren de mayor tiempo y son más costosos que éstos. Por último, el modelamiento matemático permite predecir la calidad de las aguas y la generación de los drenajes ácidos de mina, mediante la simulación para largos periodos de tiempo de todas las variables y condiciones que afectan a la formación de drenajes ácidos de mina.

b) Caracterización de los drenajes ácidos de mina

La caracterización precisa del drenaje ácido de mina es muy importante para efectuar la correcta selección y dimensionamiento de los dispositivos operacionales que configuran el conjunto del tratamiento pasivo. Una adecuada caracterización debe incluir la medida precisa y representativa del caudal, y de al menos los parámetros químicos siguientes: pH in situ, pH en laboratorio, alcalinidad total, acidez o alcalinidad neta (expresadas todas como CaCO_3); además de contenidos de Fe^{2+} , Fe total, Al, Mn, $\text{SO}_4^{=}$ y conductividad (Hyman y Watzlaf, 1995). Estos autores consideran deseable analizar también el Ca, Mg, Na, Cl, K, Br y Zn, lo que permite en la mayoría de los casos efectuar un correcto balance iónico. El conjunto de estas medidas se ha de registrar al menos durante un año hidrológico. La "acidez" y la "alcalinidad" de un drenaje ácido de mina son parámetros básicos en la selección del tipo de tratamiento pasivo; representan la capacidad de esas aguas para neutralizar una base o un ácido. Que una solución presente acidez o alcalinidad está en función de que predomine en ella su acidez total o su alcalinidad total, hablándose entonces con más precisión de soluciones con acidez o alcalinidad neta.

$$\text{acidez/alcalinidad neta} = \text{acidez total} - \text{alcalinidad total} \quad (5)$$

CONSORCIO V-5

Ing. Raúl Zamudio Castillo
ING. QUÍMICO
C.R.P. 65838

CONSORCIO V-5

Dr. César Lazcano Carreño
BIOLOGO
CBP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
C.R.P. 6530

La acidez total representa la concentración de iones hidrógeno libres (los que definen el pH), junto con los iones hidrógeno que se pueden generar por la oxidación e hidrólisis de los metales que contiene la solución, tales como Fe, Al, Mn, Zn, etc., a través de la reacción:



En la práctica, lo que se mide en el laboratorio es la acidez neta y la alcalinidad total, deduciéndose la acidez total mediante la ecuación (5). La acidez y la alcalinidad se suelen medir como equivalentes de CaCO_3 .

La acidez medida en el laboratorio generalmente representa la acidez neta, ya que se suele efectuar la valoración con CaCO_3 después de haber añadido H_2O_2 y calentado la muestra para promover la total oxidación e hidrólisis de todos los metales. La acidez total teórica puede ser calculada si se conoce el pH y la concentración de cada uno de los cationes que generan acidez. La acidez total sería la suma de la acidez atribuible a los iones H^+ y el potencial de los cationes metálicos (Me^{+n}). El cálculo se hace mediante la fórmula siguiente considerando que la reacción transcurre equivalente a equivalente:

$$\text{acidez total equivalente } \text{CaCO}_3(\text{mg/L}) = \text{Me}^{+n}(\text{mg/L}) \cdot (50,045 / \text{Pa Me}) \cdot n \quad (7)$$

Donde:

Pa Me: Peso atómico del metal y

50,045 es un factor de conversión resultado de dividir el $\text{Pm}_{\text{CaCO}_3}$ por su valencia.

En el caso del pH se tiene que la concentración de iones H^+ es igual a $10^{-\text{pH}}$

Hay que tener en cuenta que la acidez total así calculada no considera el efecto de los iones complejos, frecuentes a pH neutros, y que no producen acidez. Al estar contabilizados los cationes de estos complejos en un análisis químico convencional se pueden presentar diferencias entre la acidez total teórica y la deducida usando la ecuación (5). La alcalinidad total de una solución generalmente está representada por los iones hidróxido y bicarbonato, y se suele medir directamente en el laboratorio. Que un drenaje ácido de mina presente alcalinidad neta significa que una vez que se ha llevado a cabo la oxidación e hidrólisis de los metales que pueden generar iones hidrógeno libres aún presenta cierta capacidad para neutralizar cierto volumen de un ácido.

c) Control Del Drenaje Ácido De Minas

Los métodos para el control del drenaje ácido de minas se pueden clasificar en tres categorías:

- Métodos primarios o preventivos
- Métodos secundarios o de contención
- Métodos terciarios o de remediación

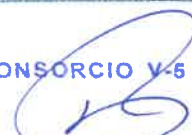
d) Problemática del Embalse Pasto Grande

La problemática de las aguas ácidas de los afluentes del embalse ubicadas todas ellas al este del embalse Pasto Grande ocasionan el deterioro progresivo de la calidad de las aguas del embalse por el DAR fundamentalmente y en menor grado por el DAM posiblemente por el cierre de las minas Aruntani, los ríos más contaminados por presencia de hierro e iones metálicos de las formaciones volcánicas de la zona es el principal problema del deterioro de la calidad de las aguas se debe a esta condición la que se torna agresiva debido a que todos los afluentes de las cuencas de los Río Millojahuirá, Hualcane y Cacachara, tiene sus orígenes de la misma fuente la que se manifiesta a través de afloraciones, ojos de agua y deterioro de las fuentes de aguas en su recorrido, por la degradación de las rocas de origen volcánico, situación que se viene agravando con el cambio climático al desaparecer los nevados de la zona, las mismas que protegían e impedían la oxidación de las rocas, y que al encontrarse expuestas la oxidación se ha incrementado por la desintegración de las rocas y aumento del área de exposición incide en el deterioro progresivo de las aguas de la zona, el monitoreo integral que forma parte del presente estudio indica que las distintas microcuencas se deterioran en su recorrido, especialmente las que conforman el Río Cacachara que tiene muchos afluentes

En la actualidad el potencial de aguas ácidas constituyen el 30 a 40% del rendimiento hídrico de la cuenca, el mismo que puede incrementarse si no se toma las medidas correctivas que estamos recomendando.

Por otra parte las características del embalse de poca profundidad con área extendida de 45 km² (10% del área de la cuenca 447 km²) y con 1674 mm de evaporación anual el volumen de pérdidas por evaporación supera el 50% del rendimiento hídrico promedio anual, concentrando aún más la acidez de las aguas del embalse.

En las condiciones actuales el riesgo potencial de una sequía prolongada nos muestra una situación al que se debe dar la mayor atención posible para resolver y mitigar mediante obras de remediación intermedias en toda las zonas contaminadas, si por estas o por otras razones se incrementa la acidez llegando éstas hasta un pH de 3.0, bajo tales circunstancias se puede producir la re-suspensión de los minerales sedimentados en el embalse. Así mismo el diseño de la presa de contención se ha efectuado para aguas neutras o alcalinas, utilizando materiales de la zona.

CONSORCIO V-5

 Ing. Raúl Zamudio Castillo
 ING. QUÍMICO
 CIP. 65858

CONSORCIO V-5

 Ing. Raúl Lozano Carreño
 FIOLOGO
 CSP. 269

CONSORCIO V-5

 Ing. Víctor H. Nuñez
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 6430

V. MARCO CONCEPTUAL PARA EL TRATAMIENTO FISICO QUIMICO.

5.1 TRATAMIENTO DE AGUAS

Dependiendo de las características físicas y químicas propias de las aguas a tratar y en función a su origen, como, aguas de contaminación natural, aguas provenientes de labores mineras y adicionalmente al uso final que se le disponga; existen varias tecnologías de tratamiento convencional y avanzado que podrían ser aplicadas.

La tecnología de tratamiento a aplicar, se seleccionará adicionalmente en base a la disponibilidad de la logística, al área requerida y a los recursos humanos, entre otros; para los requerimientos proyectados. Se considera en el presente estudio, las pautas y/o recomendaciones indicadas para el tratamiento de aguas .

Para depurar las aguas contaminadas, generalmente es preciso combinar varios tratamientos elementales, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas, en el que puede incluirse, la neutralización, remoción de materias en suspensión, sustancias coloidales, y sustancias disueltas (inorgánicas u orgánicas).

Los materiales en suspensión presentes en las aguas, se pueden encontrar en estado particulado o en estado coloidal, por lo que se requiere un tiempo de sedimentación prolongado.

Para la selección del tratamiento adecuado y eficaz, se debe analizar los diversos tipos de alternativas y seleccionar la que resulte con mayor eficiencia en función a las calidades de los cursos de aguas contaminadas, caudales, áreas disponibles, recursos logísticos y humanos, entre otros.

5.2 TIPOS DE TRATAMIENTO

La existencia de diferentes alternativas de tratamiento aplicables a aguas contaminadas, requiere de la evaluación y selección en base a las características de las aguas o afluentes al embalse y a la disponibilidad de una serie de factores.

Se evaluarán las alternativas que apliquen a los diferentes afluentes que descargan al embalse en forma independiente o mezclada según sea conveniente.

Existen dos clases de tratamiento, el pasivo o tratamiento biológico y el activo o tratamiento químico, los cuales a continuación se describen brevemente.

6.2.1 Tratamiento Químico

Método que utiliza productos químicos, para lograr la remoción de los metales especialmente en su forma disuelta, con métodos de neutralización y/o floculación, mediante la oxidación de los metales disueltos utilizando álcalis, generalmente cal y adicionalmente, un floculante para la producción de los flóculos que remueven los contaminantes y ayudan al control de densidades de los lodos generados en el tratamiento.

VI. DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

6.1 MARCO CONCEPTUAL TIPOS ESPECIFICOS DE TRATAMIENTO

En un contexto internacional; Machemer et al. (1990); Kepler and McCleary (1994); Eger and Wagner (1995); Dietz and Stidinger (1996); Dvorak (1996); Sobelewski, (1996); Mueller et al. (1997) han construido biorreactores anaeróbicos de sustrato sólido y "humedales artificiales" de flujo subsuperficial para el tratamiento de DAM en minas abandonadas y Bolis et al. (1991); Dvorak et al. (1992); Whiting et al. (1994); Sikora et al. (1996) y Manyin et al. (1997) construyeron biorreactores en laboratorio. Brock and Madigan (1991); Widdel (1988) señalan que numerosas reacciones abióticas y catalizadas microbiológicamente ocurren en estos sistemas, en tanto que Machemer and Wildeman (1992); McIntire et al. (1990) indican que la reducción del sulfato, mediada por las BSR, es principalmente responsable de la neutralización del pH y la remoción de sulfato y metales tóxicos. Se han realizado varios experimentos con distintas fuentes de carbón y energía para el óptimo crecimiento de las bacterias sulfato reductoras, a pesar de ello aún no existe consenso entre los investigadores acerca de cuál es el óptimo. Respecto a la producción de sulfuros, Alvarez (2005) en un sistema de cultivo estacionario empleando como sustrato paja de trigo y un consorcio de bacterias logró reducir la concentración de sulfatos de 31 a 18 mM, con una producción de 5,9 mM de sulfuros; y en un bioreactor de columna Chang et al. (2000) empleó como fuente de sustrato y soporte pedazos de roble, abono de hongos, papel y lodo, logrando disminuir la concentración de sulfatos de 26,9 a 20 mM con una producción de 26 mM de sulfuro. Barnes et al. (1991) a principios de 1990 desarrolló un nuevo proceso para la remoción microbiana de sulfatos y metales pesados de aguas contaminadas extraídas por un sistema de control geohidrológico. Kolmert et al. (1997) se enfocó en la optimización de la producción de sulfuro de hidrógeno (H₂S) en un proceso anaeróbico continuo utilizando consorcios de bacterias sulfato reductoras inmovilizadas, para la remediación de aguas ácidas, el mismo demostró que el pH óptimo para la producción de H₂S se encontraba entre 7 y 8 a una concentración de sulfato en el medio de 15 mM. Según Buisman et al. (1996) los sistemas de tratamiento de DAM con BSR no han permanecido a escala laboratorio, desde 1990 se han puesto en marcha varias plantas piloto en distintas partes del mundo. Barnes et al. (1991) señala que una de las primeras plantas fue montada en Holanda; con una capacidad de 9m y funcionó por 2 años, demostrando que los metales presentes en concentraciones de hasta 1 g/L podían ser removidos. Según Dvorak et al. (1992) en Pensilvania, Estados Unidos, se instaló una planta piloto, cuyos reactores fueron llenados con una mezcla de abono, heno, paja, mazorcas de maíz y trozos de madera, logró una remoción de Al, Cd, Fe, Mn, Ni y Zn del 95%. Sin embargo Kilborn Inc., (1996) resalta que el rendimiento de las plantas piloto puede estar influenciado por las características ambientales del lugar en que este sea instalado, por lo que dichos experimentos deben ser realizados en lugares cercanos a las fuentes que se van a tratar. Comercialmente existe una empresa en Canadá dedicada al tratamiento de aguas ácidas de mina, recuperación de metales y control de soluciones denominado BioteQ Environment Technologies Inc. en la que el sulfuro puede ser producido por reducción biológica de azufre elemental o de sulfato, utilizando cultivos de bacterias reductoras.

A. FITODEPURACION

La fitodepuración es la utilización de plantas verdes (macrofitas o microfitas) para depurar efluentes líquidos y/o gaseosos. La fitodepuración es por lo tanto una técnica específica de biorremediación.

La fitodepuración consiste en aprovechar la capacidad de las plantas verdes de metabolizar sustancias contaminantes que para las plantas pueden ser nutrientes con la ayuda de la energía solar. La gravedad también juega un rol importante, pues ayuda a separar la fracción sólida por simple decantación. Por lo tanto, es obvia la ventaja conceptual de esta técnica respecto a las plantas depuradoras químicas: la energía consumida para depurar un efluente cualquiera es total constituye sus tejidos y liberando oxígeno (O₂). Por lo tanto, al implantar un sistema de fitodepuración no solo estamos limpiando aguas contaminadas, sino que también contribuimos a mitigar el efecto invernadero. La biomasa producida puede ser quemada como cualquier combustible, pero en principio no altera el balance del CO₂ a nivel global: pues la cantidad de CO₂ emitido al quemarla es exactamente la misma que se fijará en los tejidos de la próxima cosecha.

La fitodepuración mediante especies que produzcan grandes cantidades de biomasa puede incluso pasar a ser una industria rentable.

Proponemos una clasificación de los sistemas de fitodepuración, con las ventajas y desventajas de cada uno.

Sistemas abiertos:

Consisten en lagunas o humedales artificiales al aire libre, separados del ambiente natural mediante adecuadas impermeabilizaciones de suelos y barreras de contención de eventuales desbordes. Sus principales ventajas son el bajo coste de implantación y mantenimiento, su valor paisajístico y biotópico. Permiten convertir zonas degradadas en pequeños ecosistemas controlados, refugio de fauna e incluso atractivo turístico.

Sus principales desventajas son las grandes superficies de suelo que requieren, el rendimiento de depuración variable con la estación del año, y en el caso particular de regiones secas, la enorme pérdida de agua por evapotranspiración, con riesgo que los nutrientes lleguen incluso a concentrarse más rápidamente de lo que las plantas puedan metabolizar. Dando origen a fenómenos contrarios al deseado: como eutrofización, agotamiento del O₂ y malos olores por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica.

Desde un punto de vista operativo, según el tipo de efluente a tratar puede ser conveniente un tipo u otro de plantas verdes. Podemos entonces crear sistemas abiertos de los siguientes subtipos:

- **Con Macrofitas acuáticas Flotantes**

Las especies ideales son el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y las lentejas de agua (*Lemna sp.*). El Jacinto de agua es una planta originaria de las regiones tropicales y subtropicales de Sudamérica que destaca por su capacidad de crecimiento, y por lo tanto, de acumular nutrientes (contaminantes) en su propia biomasa. En pocas palabras: cuanto más sucia el agua, más rápido crece. Es capaz de metabolizar incluso tóxicos como los fenoles (se han reportado capacidades de absorción de hasta 30 kg de fenol/día por cada ha cubierta de jacinto). Se han reportado producciones de jacinto de hasta 2.190 ton/ha/año de biomasa fresca (equivalentes a unas 130 ton/ha/año de biomasa seca). Dicha biomasa es apta para forraje, para combustible, o bien para la fabricación de papel. La desventaja para su utilización es que el camalote muere cuando las temperaturas descienden por debajo de los 15 °C. Tratándose de una planta muy invasora, deben tomarse precauciones para evitar que de algún modo pueda "escapar" a ríos o lagos donde crearía desastres ecológicos.

La lenteja de agua es cosmopolita. Su capacidad de acumular biomasa tampoco es desdeñable: unas 50 ton de materia seca/ha/año. Como forraje es superior al jacinto. Tiene hasta un 40% de carbohidratos y es especialmente apetecible para los patos (de hecho en inglés se la llama duckweed, hierba de los patos). Resiste mejor al frío y evapora menos por la baja relación superficie/ volumen de sus hojas. Es seguramente una opción interesante para crear fitodepuradores de este tipo. La foto muestra una población de lentejas de agua formada espontáneamente a la salida de percolados de la planta depuradora de Seva (Barcelona). (Figura N° 09)

Figura N° 09:

Planta Depuradora De Seva (Barcelona) Con Población De Lenteja De Agua



Las Lemnaceas son muy tolerantes a un amplio rango de temperatura. Estas especies se encuentran en todos los climas a excepción de los lugares muy fríos (Landolt, 1987). El crecimiento de la lenteja de agua muestra una clara relación con la temperatura, encontrándose valores mínimos, óptimos y máximos.

Landolt (1987), reporta para diferentes especies, en soluciones nutrientes sin azúcar y con intensidades de la luz de 1000 a 9000 luxes, un rango óptimo 20 – 30 °C. Cuando hay presencia de azúcar el rango óptimo es poco más alto. En cuanto a las temperaturas mínimas, se pueden considerar dos casos: para supervivencia y para crecimiento. Para supervivencia, aún especies tropicales son capaces de soportar 0°C por cortos periodos de tiempo. Para crecimiento, los límites mínimos varían entre especies: 8°C, 8 a 16°C y 16 a 20°C.

En cuanto a temperaturas máximas, según el tiempo de exposición se reportan para periodos cortos, especies que han soportado hasta 55°C y para rangos de exposición largos se han encontrado que oscilan entre 30 y 34°C.

El crecimiento de la lenteja de agua puede ser hasta 21 días en sistemas de laboratorio. Las condiciones necesarias para el desarrollo de *Lemna gibba* son las siguientes: temperatura de 18 a 25°C, salinidad 20 a 24 gr.L-1, pH de 5.6 a 7.5 (Mkandawire *et al.*, 2005).

Esto implica, que esta especie puede crecer en condiciones adversas, siendo los factores importantes la temperatura y el pH del agua. Debido a que en los meses de bajas temperaturas también existe una disminución de la biomasa, asimismo el pH influye en el incremento de la biomasa, esto implica un pH ligeramente ácido de 6.3, es lo más adecuado.

El planteamiento de una estrategia de manejo de *Lemna gibba* en el Embalse de Pasto, debe ser una estrategia de manejo con un enfoque holístico, una visión integral, que considera dentro sus planteamientos de mitigación de problemas, las dimensiones: social, económico y ambiental.

- **Con macrofitas acuáticas sumergidas**

Las mismas pueden ser algas o plantas vasculares. Un ejemplo de planta vascular sumergida es la conocida como "peste de agua" (*Elodea canadensis*, alias *Egeria densa*), muy utilizada en los acuarios. La misma produce grandes cantidades de O₂, mantiene limpia el agua de los peces al absorber los nutrientes (nitritos y nitratos, P, K), y resiste aguas ligeramente salobres, reduciendo ligeramente su dureza. Su limitación es que requiere aguas más bien frías. Independientemente de la especie vegetal de que se trate, las aguas no deben ser demasiado turbias, pues la eficiencia depurativa de las plantas verdes depende precisamente de que reciban mucho sol.

- **Con macrofitas fijas (humedales artificiales)**

Es una técnica algo más elaborada, que consiste en crear una estructura impermeable rellena con grava en su parte inferior y recubierta con tierra que servirá de sustrato a las plantas. El agua residual, previamente desgrasada y decantada, fluye muy lentamente a través de la

grava (típicamente tarda 4 días), de tal modo que no puede aflorar a la superficie, evitando así malos olores. Las raíces de las plantas penetran el sustrato hasta el manto de grava, donde también prospera una flora microbiana aeróbica que colabora en el proceso de metabolización de nutrientes. En otros sistemas, el agua a tratar se vierte superficialmente, percola pasando entre las raíces de las plantas, y sale depurada por la parte inferior, que es un lecho de grava gruesa. Es un sistema utilizado más bien para fangos muy líquidos provenientes de una etapa previa. Un ejemplo de esta técnica es la planta de Seva (Barcelona). En la fotos se aprecia el fango en la superficie de los fitodepuradores plantados con carrizos, y se observan los tubos grises de salida de percolado en primer plano, y al fondo el tanque aeróbico de pre-tratamiento. (Figura N° 10 y 11).

Figura N° 10: Fitodepuradores Plantados Con Carrizos

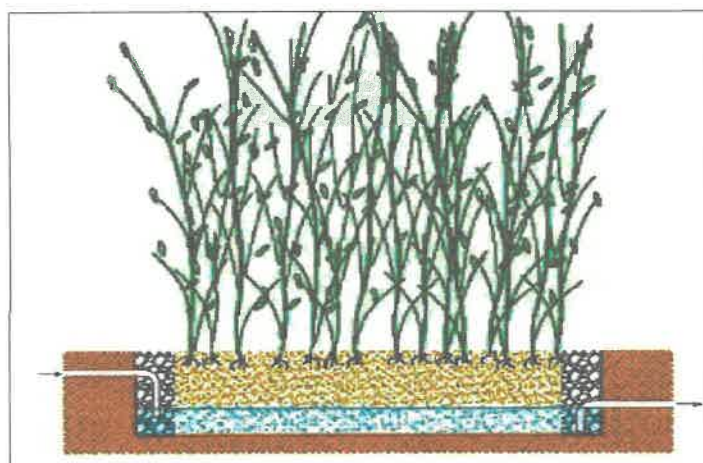


Figura N° 11: Salida De Percolado



Son muchas las especies utilizadas como filtros biológicos. Especialmente eficaces son las cañas del género *Bambusa* y *Phyllostachys*, capaces de producir de 50 a 100 ton/ha/año de biomasa seca con un poder calorífico inferior comparable al de la leña, 4.500 kcal/kg. En España se utiliza el carrizo común *Phragmites australis*, o la espadaña *Typha latifolia*, o la caña común *Arundo donax*, a veces impropriamente llamada carrizo, por ser plantas autóctonas. Sus rendimientos de biomasa resultan menores que los de bambú.

Figura Nº 12 Fitodepurador



En España se han probado con éxito fitodepuradores de este tipo en pequeña escala en Mansillas de las mulas (León), en la planta de tratamiento de aguas municipales de Soria, en el campus de Tafira perteneciente a la Universidad de las Palmas de Gran Canaria, en Mojácar (Almería) y en la ya mencionada de Seva (Barcelona). (ver figura Nº 12)

- **Sistemas cerrados**

Consisten en estructuras cerradas que en cierto modo constituyen microecosistemas, con mecanismos de regulación más o menos complejos, que contienen las plantas en su interior. Resultan más costosos, pero su eficiencia depurativa y de producción de biomasa es mayor, porque mantienen las condiciones de vida de las plantas dentro de un rango óptimo para las mismas. Se pueden definir los siguientes tipos:

- **Fotobiorreactores**

Consisten en estructuras de material transparente de variadas formas, con o sin fuentes de luz artificial, en las que se inyecta el agua residual a tratar y aire puro o mezclado con gases de

combustión. La metabolización de los nutrientes y del CO₂ es realizada por algas microscópicas en suspensión. Se caracterizan por alcanzar elevadas eficiencias depurativas con menor ocupación de suelo que los sistemas abiertos. No se pierde agua por evapotranspiración, pero su costo operativo resulta algo mayor pues se requieren bombas para hacer circular el agua residual, sopladores para hacer burbujear el aire, y centrifugas o algún otro sistema para separar las algas del agua ya depurada. La foto muestra un fotobiorreactor experimental con un cultivo de algas del género *Chlorella*. Según las pruebas realizadas, con tan sólo 8 litros de cultivo de dichas algas el mismo podría abatir 0,175ton de CO₂ al año.

- **Depurador AFADS**

El mismo ha sido descrito en detalle en el número anterior de Bricojardinería y Paisajismo. Se trata de un sistema que engloba una etapa de digestión aneróbica y una de fitodepuración dentro de una estructura cerrada transparente, cuya función consiste en mantener la temperatura dentro del rango óptimo para el crecimiento de las plantas y recuperar el agua que normalmente se perdería por evapotranspiración.

- **Fitodepurador neumático**

Es un fotobiorreactor de muy bajo coste que utiliza macrofitas flotantes (jacinto o lenteja de agua) en vez de algas. Se trata de una estructura neumática simple, que consiste en un tubo de polietileno transparente colocado en una zanja poco profunda. El mismo se llena parcialmente con el agua a tratar, y se infla mediante un ventilador. La pequeña presión creada por el mismo mantiene la forma aproximadamente cilíndrica. El extremo opuesto al del ventilador puede cerrarse, o bien colocar en él un intercambiador de calor para condensar la humedad arrastrada por el aire y recuperar el agua pura. En este caso su utilización es doble, pues hace también de destilador solar.

La fitodepuración es una técnica de eliminación simultánea de las sustancias contaminantes de las aguas y del CO₂ de la atmósfera, utilizando para ello el metabolismo de las plantas verdes y la energía del sol. Tanto el CO₂ como los contaminantes son nutrientes para las plantas verdes, cuyo metabolismo da como resultado un aumento de la biomasa más o menos pronunciado dependiendo de la especie vegetal que se utilice como biofiltro y de las condiciones de temperatura, insolación y concentraciones de nutrientes de cada caso. El tratamiento de aguas residuales mediante esta técnica, con ulterior transformación de la biomasa en pellets combustibles puede llegar entonces a convertirse en un negocio rentable. Los sistemas cerrados, si bien más costosos para implantar y operar, presentan mayores rendimientos con menor ocupación de suelo, y recuperan una fracción importante del agua que en los sistemas abiertos se pierde por evapotranspiración.

B. FITORREMEDIACION

La fitorremediación es una técnica biológica que en el detalle se puede subdividir en varios aspectos, que corresponden a distintas posibilidades de aplicación de las plantas a la remediación de problemas producidos por la contaminación.

Tabla N° 08:

Variantes De Fitorremediación (Metales Pesados)

Ventajas	Limitaciones
Fitoextracción	
Consiste en el empleo de plantas hiperacumuladoras, capaces de extraer los metales pesados contenidos en el suelo.	
La planta debe ser capaz de producir biomasa abundante en poco tiempo.	Las hiperacumuladoras de metales suelen ser de crecimiento lento, poco bioproductivas y con sistema radicular somero. La biomasa producida hay que almacenarla o procesarla adecuadamente.
Fitoestabilización	
Consiste en el uso de plantas metalófitas endémicas/nativas y de mejoradores de sustrato adecuados para estabilizar física y químicamente sustratos ricos en metales.	
Hace innecesaria la excavación / eliminación del suelo, es menos costosa y menos agresiva. Mejora las posibilidades de restauración del ecosistema.	A menudo requiere fertilización o modificación del suelo. Requiere mantenimiento del suelo a largo plazo, para evitar la formación de lixiviados.
Fitovolatilización	
Consiste en la extracción del contaminante del suelo por la planta y su emisión a la atmósfera a través de su sistema metabólico.	
Transforma los contaminantes en formas menos tóxicas.	El contaminante o un derivado tóxico pueden acumularse en la vegetación, pasando a frutos o partes comestibles.
Fitofiltración / rizofiltración	
Consiste en el uso de plantas terrestres y acuáticas para absorber, concentrar, y precipitar contaminantes de medios acuáticos.	
Puede ser "in situ" o "ex situ", y es aplicable tanto en sistemas terrestres como acuáticos.	El pH del medio debe controlarse en continuo para optimizar la captación del metal. Es necesario controlar procesos de especiación e interacciones entre especies que puedan darse en el medio. Funciona como un biorreactor, y requiere mantenimiento intensivo.

Por otra parte, la más común y tradicional de las formas de fitorremediación es la revegetación de terrenos afectados por actividades mineras, que se puede considerar una fitoestabilización básica. En este caso, la presencia de plantas sobre la escombrera atenúa los efectos de dispersión de los

materiales que la constituyen por el viento o el agua, y favorecen la generación de un suelo que actúa como una barrera, evitando parcialmente la emisión de los contaminantes que contiene. Para esta técnica pueden emplearse plantas de las denominadas ruderales, que son capaces de desarrollarse sobre suelos muy degradados, iniciando la colonización de éstos. En otros casos, y para acelerar el proceso, es necesario recubrir la escombrera con suelo vegetal que facilite el empleo de plantas más comunes. No obstante, esta técnica se encuadra más en los procedimientos de restauración que en los de remediación.

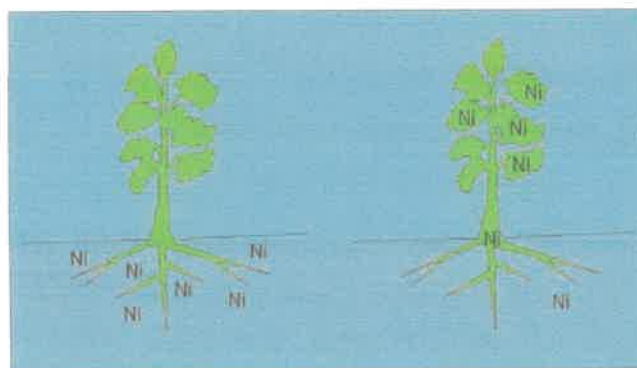
Otra vertiente de esta técnica de fitorremediación es la descontaminación de suelos contaminados por hidrocarburos biodegradables. En este caso, determinadas plantas, en especial algunas arbóreas, son capaces de alimentarse de este tipo de compuestos presentes en el suelo, e incorporarlos a su metabolismo, transformándolos en materia vegetal así como en productos gaseosos simples (CO_2 , agua) que se emiten durante la respiración vegetal.

En minería resulta de gran interés la fitoextracción, para la extracción de metales pesados presentes en el suelo (figura 8f). En este caso, la planta absorbe los metales pesados del suelo, siempre y cuando se encuentren en formas biodisponibles (en disolución, o formando complejos orgánicos), y los incorpora a su metabolismo. En la mayor parte de los casos el resultado es una acumulación del metal pesado en la planta, que a menudo es preferencial en unos u otros órganos de la misma (raíces, tallos, hojas, frutos). (Figura N° 13)

Figura N° 13:

Base Conceptual De La Fitoextracción: El Metal (Ni) Contenido

En El Suelo Es Captado Por La Planta E Incorporado A Sus Tejidos.



Las raíces de algunas plantas son capaces de actuar como barreras frente a los metales pesados. En estos casos se produce una acumulación del metal pesado en la corteza de la raíz, puesto que éstos son arrastrados junto con el agua hasta ésta, y ahí quedan detenidos y acumulados. También pueden favorecer reacciones de transformación del contaminante en sustancias químicas

menos dañinas, mediante la acción de los organismos o bacterias que viven en las raíces de las plantas.

La ventaja más notable de la fitorremediación radica en su bajo coste. Los métodos clásicos de remediación para sustancias solubles (caso más barato) cuestan en el entorno de 100.000 a 1.000.000 de Euros por hectárea. Por el contrario, la fitorremediación tiene un coste entre 200 y 10.000 Euros por hectárea.

Sin embargo, este procedimiento presenta algunas limitaciones:

1. No cualquier planta vale, se requieren las denominadas "hiperacumuladoras": plantas que poseen la capacidad de acumular y tolerar 10-100 veces más un determinado metal comparado con las plantas normales.
2. Las plantas hiperacumuladoras acumulan un solo metal, y hasta ahora no se han encontrado hiperacumuladoras para toda la diversidad de metales pesados asociados a la actividad minera.
3. Muchas hiperacumuladoras crecen lentamente, y poseen una escasa biomasa.
4. Se conoce muy poco de las características agronómicas de muchas de estas plantas, tales como sus requerimientos de fertilizantes, y su susceptibilidad a enfermedades o ataques por los insectos.

7.0 TRATAMIENTO

7.1 Mixto en afluentes.

El tratamiento mixto en afluentes se circunscriben al tratamiento del Rio Antajarane y Cacachara, en el primero se tiene humedales naturales que serán rehabilitados y el tratamiento químico se realiza en el cauce del rio con piedra caliza aguas arriba de los humedales. El tratamiento del Rio Cacachara se realiza el tratamiento químico en el lecho del rio y mediante cámaras de contacto instaladas en los rio Acosiri, Cacachara, y Jacosive y los humedales están instalados en el rio Cacachara antes de la confluencia con el rio Patara.

7.2 Tratamiento del Embalse Pasto Grande.

Como se indico con el mismo criterio de tratamiento mixto se realizaran los tratamientos químicos y biológicos en los afluentes, las aguas tratadas previamente ingresan al embalse lo que esta previsto que en los dos primeros años quedaran las aguas del embalse con aguas neutras.

Estas condiciones se deberán complementar con los tratamientos biológicos previstos en el embalse con la siembra de totoras y otras macrofitas que contribuirán a estabilizar la calidad de las aguas en el embalse.

CONSORCIO V-5

Ing. Raúl Zamudio Castillo
ING. QUÍMICO
CIP. 66858

CONSORCIO V-5

Dr. César Lázcano Carreño
BIOLOGO
CBP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
CIP. 6530

7.3 Tratamiento en las aguas de transvase de la descarga.

El tratamiento natural de los ríos se realiza por oxigenación de las aguas por el flujo turbulento en su recorrido al descender de 4500msnm por la cuenca de Moquegua, por este proceso y el contacto con suelos básicos, humedales naturales y mezcla con aguas básicas de la cuenca de Moquegua las aguas se mejoran llegando a con pH mayores a las aguas neutras.

7.4 Tratamiento de emergencia

Los tratamientos de emergencia en el embalse y la descarga esta prevista para situaciones indeseables que se puedan producir como consecuencia del deterioro de las aguas del embalse por el ingreso de volúmenes importantes de aguas acidas y por el deterioro de las aguas embalsadas por los altos niveles de evaporación y posibles sequias por 2 o más años, así mismo se pueden realizar tratamiento químico por emergencia o complementar al tratamiento de los afluentes a fin de reducir los tiempos de remediación del embalse, lo que demanda costos elevados.

7.5 Predicción de la calidad del agua con tratamiento mixto

- Afluentes Millojahuiria: pH = 9.0
- Afluentes Hualcane: pH = 9.0
- Afluentes Antajarane: pH = 6.5 – 7.5
- Afluentes Patara: pH = 6.5 – 7.5
- Embalse Pasto Grande: pH = 6.5 – 7.5 (Después de 2 años de tratamiento)
- Descarga: pH = 6.5 – 7.5 (100% de metales pesados quedan en el embalse)

Las aguas tratadas ingresan al embalse con toda la carga metálica las que quedaran sedimentadas en el embalse estabilizadas con el uso de polímeros, dando cumplimiento a los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para aguas Categoría3 y Categoría4.

8.0 PARÁMETROS DE DISEÑO.

Los parámetros de diseño se obtienen a nivel de laboratorio, la dosis del activo se determina en la prueba de jarras, colocando en los 6 vasos dosis diferentes y se evalúan los resultados, se determina tiempo de mezcla, floculación y sedimentación, así como las gradientes óptimos de mezcla, floculación y tiempo de sedimentación, con estos parámetros se diseña el mezclador hidráulico, tiempo de floculación y finalmente la dosificación de polímeros se efectúa después del tiempo de floculación.

Diseño de unidades de tratamiento biológico como punto inicial se determina la carga metálica del afluente, el tipo de tratamiento en el caso de humedales naturales o artificiales se determina la tasa de remoción de la PVA que se utilizara en el humedal que está relacionada a la capacidad de remoción de metales pesados y tiempo de tratamiento.

El tratamiento químico se realiza en 30 minutos, el biológico se realiza en muchos días, el agua en los afluentes tiene como máximo una permanencia de 2 -3 hs de su nacimiento a la descarga al embalse y los procesos son independientes por lo que los criterios de diseño de tratamiento mixto se diseñan independientemente el tratamiento químico del biológico.

8.1 DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA APLICACIÓN DE CAL

Se presenta a continuación la relación de infraestructuras desarrolladas en el diseño de los sistemas de aplicación de los productos químicos.

8.1.1 Río Millojahuirá

Consiste en una estructura de mezcla hidráulica con las siguientes Especificaciones de diseño.

Cuadro N° 06
Especificaciones de Diseño de Instalaciones para
Tratamiento de Aguas del Río Millojahuirá

PARÁMETROS		MEZCLADOR HIDRAULICO RÍO MILLOJAHUIRA		
		Q _{máx-lluvias extraordinarias} (P.R. 100 años)= 2.028 m ³ /s	Q _{máx-lluvias} = 0.60 m ³ /s	Q _{prom estiaje} = 0.40 m ³ /s
Ancho de canal (m)	B	4.00	2.50	1.50
Altura de rampa (m)	E _o	1.00	1.00	1.00
N° Froude	F	4.23	4.23	4.23
Altura de agua antes del resalto (m)	h ₁	0.11	0.07	0.07
Altura de lámina de agua antes del resalto (m)	d ₁	0.10	0.06	0.06
Altura de agua al final del resalto (m)	h ₂	0.73	0.45	0.48
Altura de agua en el vertedero	h ₃	0.42	0.26	0.27
Velocidad final resalto(m/s)	v ₂	0.69	0.54	0.56
Pérdida de carga (m)	H _f	0.72	0.44	0.47
Longitud del resalto (m)	L	3.73	2.26	2.43
Altura de Grada después del resalto (m)	H	0.12	0.07	0.08
Gradiente de mezcla (s ⁻¹)	G	1,314.00	1,160.00	1,180.00
Tiempo de mezcla	Seg	3.12	2.43	2.52

Cuadro N° 07
Especificaciones de Diseño para el Río Millojahuirá

Especificaciones de Diseño para el Río Millojahuirá

DISEÑO DE VERTEDERO RECTANGULAR Río Millojahuirá				
	Q _{máx-100} años	Q Lluvias	Q Estiaje	Unidad
Caudal (Q)	2.028	0.60	0.40	m³/s
Longitud (L)	5.0	5.00	5.00	m
ancho (a)	0.90	0.90	0.90	m
C /cte f(a)	1.83	1.43	1.48	
Tirante (H)esperado	0.42	0.19	0.14	m
Tipo	Cresta ancha de bordes redondeados			

Tabla N°44 de Manual de Hidráulica. King Brater.

8.1.2. Río Hualcane / Micro Cuenca del río Antajarane

Cuadro N° 08
Diseño de mezcladores hidráulicos - Río Hualcane
Micro Cuenca del Río Antajarane

PARÁMETROS		MEZCLADOR HIDRÁULICO RÍO HUALCANE		
		Q _{máx-100} 3.69 m ³ /s	Q _{prom-lluvias= 1} 0.80 m ³ /s	Q _{prom estiaje =} 0.150 m ³ /s
Ancho de canal (m)	B	3.50	3.00	0.50
Altura de rampa (m)	E ₀	1.00	1.00	1.00
N° Froude	F	4.65	3.85	3.85
Altura de agua antes del resalto (m)	h ₁	0.17	0.08	0.09
Altura de lámina de agua antes del resalto (m)	d ₁	0.16	0.07	0.07
Altura de agua al final del resalto (m)	h ₂	1.23	0.47	0.51
Altura de agua en el vertedero	h ₃	0.69	0.27	0.30
Velocidad final resalto(m/s)	v ₂	0.86	0.57	0.59
Pérdida de carga (m)	h _f	1.38	0.40	0.43
Longitud del resalto (m)	L	6.93	2.33	2.52
Altura de Grada después del resalto (m)	h	0.20	0.08	0.08
Gradiente de mezcla (s ⁻¹)	G	1,564	1,117	1,140
Tiempo de mezcla	seg	4.21	2.39	2.48

Cuadro N°09
Especificaciones de Diseño para el Río Hualcane
Micro Cuenca del Río Antajarane

DISEÑO DE VERTEDERO RECTANGULAR Río Hualcane				
PARAMETROS	Q _{máx-100}	Q Lluvias	Q Estiaje	Unidad
Caudal (Q)	3.69	0.80	0.150	m ³ /s
Longitud (L)	4.0	4.00	4.00	M
Ancho (a)	0.90	0.90	0.90	M
C / f(a)	1.52	1.46	1.48	
Tirante (H)esperado	0.32	0.27	0.09	M
Tabla N°44 de Manual de Hidráulica. King Brater.				

8.1.3 Descarga de aguas del Embalse

Se prevé el desarrollo del tratamiento biológico mejorando el existente que se presenta en el Informe de Remediación Biológica.

8.2 DISEÑO DE LAS SALAS DE QUÍMICOS

8.2.1 Almacén y Sala de Dosificadores de Cal para Tratamiento en Río Millojahuira.

Se diseña para el almacenamiento de la cal hidratada, para un periodo de 30 días, para bolsas multipliego de 40 Kg o para big bag.

Cuadro N°11
Especificaciones de Diseño para
Sala de Almacén de Cal y Dosificadores – Río Millojahuira
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Caudal	0.6	m ³ /s
Dosis máxima	400	gr/m ³
Dosis mínima	250	gr/m ³
Densidad	965	Kg/m ³
Periodo de almacenamiento	30	días
Toneladas requeridas por mes	506	TM
Volumen de cal	534	m ³
Altura tarima	2	M
Numero de tarimas	4	unidades
Ancho de tarima	4	M
Pasillo	2	M
Area neta de almacenamiento	262	m ²
Largo de almacén	25	M

CONSORCIO V-5

Ing. Raúl Zamudio Castillo
ING. QUÍMICO
CIP. 66858

CONSORCIO V-5

Dr. César Lazcano Carreño
BIOLOGO
CBP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Victor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
CIP. 6530

8.2.2 Almacén y Sala de Dosificadores de Cal para Tratamiento en río Hualcane

Se diseña para el almacenamiento de la cal hidratada, para un periodo de 30 días, para bolsas multipliego de 40 Kg o para big bag.

Cuadro N° 12
Especificaciones de Diseño para
Sala de Almacén de Cal y Dosificadores Río Hualcane

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Caudal	0.80	m ³ /s
Dosis máxima	400	gr/m ³
Dosis mínima	250	gr/m ³
Densidad	965	Kg/m ³
Periodo de almacenamiento	30	días
Toneladas requeridas por mes	674	TM
Volumen de cal	699	m ³
Altura tarima	2	M
Numero de tarimas	6	unidades
Ancho de tarima	4	M
Pasillo	2	M
Area neta de almacenamiento	524	m ²
Ancho almacén	25	M
Largo total almacén	35	M

8.2.3 Especificaciones del equipamiento de químicos

8.2.3.1 Equipamiento para Aplicación de Cal en Río Millojahuira

Cuadro N° 13
Especificaciones de diseño de Tolva de Alimentación

Tolva de alimentación de Cal – Río Millojahuira		
Numero de tolvas	2	unidades
Altura	2.85	m
Diámetro	2.2	m
Operación	4.0	horas
Tanque de preparación		
Diámetro	1.8	m
Altura total	2.5	m
Alimentación	Gravimétrica	
Dosificador (Comercial)		

8.2.3.2 Equipamiento para Aplicación de Cal en Río Hualcane

Cuadro N° 14
Especificaciones de diseño de Tolva de Alimentación

Tolva de alimentación de Cal – Río Hualcane		
Numeros de tolvas	2	unidades
Altura	3.00	m
Diámetro	2.5	m
Operación	4.0	horas
Tanque De Preparación De Cal		
Diametro	1.8	m
Altura total	2.5	m
Alimentación Gravimétrica		

8.2.3.3 Equipamiento para Floculante en Río Millojahuira

- Número de Dosificadores = 02
- Capacidad del dosificador = 30 Kg/min
- Número de Tanques de disolución = 1
- Número de Tanques de Aplicación = 1

8.2.3.4 Equipamiento para Floculante en Río Hualcane

- Número de Dosificadores = 02
- Capacidad del dosificador = 25Kg/min
- Número de Tanques de disolución = 1
- Número de Tanques de Aplicación = 1

8.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Producto:	Cal Hidratada (Hidróxido de calcio)
Presentación:	Sólido granulado.
Color:	Blanquesino
Concentración:	No menor del 68% como CaO
Porcentaje de Sólidos:	No mayor del 2.0%
Presentación comercial:	- A granel - Bolsas de papel multipliego de 50 Kg - Big bag de 1000 Kg.

Producto: Caliza (Carbonato de calcio)
Presentación: Sólido granulado.
Color: Blanquesino
Concentración: No menor del 85%
Tamaño: Roca de
Presentación comercial: - A granel
 - Bolsas de papel multipliego de 50 Kg
 - Big bag de 1000 Kg.

Producto: Soda Cáustica (Hidróxido de sodio)
Presentación: líquida.
Color: incolora
Concentración: No mayor del 50%
Presentación comercial: - A granel
 - Bidones de 50 litros
Requisito legal: Permiso de Uso en la DIRANDRO

Producto: Floculante Anionico Floerger
Presentación: líquida.
Color: incolora
Concentración: 100% materia activa de poliacrilamida.
Concentración de Monómeros libres: Menor al 0.01%
Presentación comercial: Bolsas resistentes a la humedad de 30 ó 50Kg.

CONSORCIO V-5

Ing. Raúl Zamudio Castillo
 ING. QUÍMICO
 C.I.P. 63853

CONSORCIO V-5

Dr. César Lázcano Carreño
 BIOLOGO
 C.B.P. 288

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. 6330

9.0 DISEÑO DE LAS INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICAS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO FÍSICO QUÍMICO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

En el presente capítulo se desarrolla el diseño de las estructuras propuestas por el Consorcio V-5 para la Alternativa N°1, con el objeto de disponer de puntos de aplicación de químicos que requieren de mezcla suficiente para lograr la máxima eficiencia en el tratamiento.

9.1 INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN RÍOS MILLOJAHUIRA Y HUALCANE:

Las estructuras hidráulicas para la mezcla rápida, se ubicarán en los ríos Millojahuirá y Hualcane - afluente del río Antajarane.

Las estructuras consistirán en resaltos hidráulicos con vertedero de medición que se diseñarán de acuerdo a los caudales presentados en los periodos de avenidas (lluvias en los meses de enero a abril) y en el periodo de estiaje (meses de mayo a diciembre).

A partir de los estudios hidrológicos realizados en el presente Proyecto que evalúa la data histórica de los caudales registrados para un periodo de 100 años, se obtiene la siguiente información base para el diseño de las estructuras hidráulicas, considerados como criterios básicos de diseño.

9.1.1 CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO

9.1.1.1 Caudales

Cuadro N° 03

Caudales de Diseño

Ríos	Caudales De Diseño (m³/s)		Caudal Máximo Maximorum (100 años) (m³/s)
	Avenida - Lluvias (Enero – Abril)	Estiaje (Mayo-Diciembre)	
Millojahuirá	0.568 ≈ 0.600	0.391 ≈ 0.400	2.028
Antajarane	1.126 ≈ 1.20	0.228 ≈ 0.230	5.539

9.1.1.2 Criterios para estructuras básicas

- De infraestructura simple.
- De infraestructuras básicas para medición de caudales y la aplicación de los productos químicos.
- Con utilización de pendiente natural de los ríos para la aireación y floculación con un periodo mínimo de 30 minutos, parámetro determinado a nivel de laboratorio.

9.1.1.3 Parámetros Generales De Diseño Utilizados

- Para la ubicación de las unidades de tratamiento de Millojahuirá y Hualcane se ha utilizado zonas de poca pendiente para asegurar la seguridad de las instalaciones como los almacenes, sala de dosificadores, oficinas y vivienda de los operadores de las instalaciones, las variaciones de caudal en los periodos de lluvias con arrastre de sedimentos requiere un vertedero como el considerado en el diseño, así mismo el periodo de floculación y sedimentación obliga utilizar el último tramo del río.
- Los parámetros de diseño del salto hidráulico se han cumplido al tener un No de Froude mayor a 3.5 y gradiente de mezcla mayor a 1000 s⁻¹
- Los parámetros de floculación comprendidos entre el mezclador de cal y de polímeros toman en cuenta los gradientes de velocidad que son altos 460 s⁻¹ y reduciendo en el tramo final a 180 s⁻¹ para 10°C. de temperatura.
- Los canales de conducción de las aguas serán diferenciados para los periodos de lluvias y de estiaje. Los canales deberán contar con un salto hidráulico, vertedero con el cual se puede disipar energía hidráulica.
- La automatización deberá ser para los dosificadores de cal y para el manejo mecanizado de toneladas de productos químicos.
- En cuanto a los parámetros ambientales, será de mínimo impacto negativo

9.2 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO SELECCIONADA

9.2.1 TRATAMIENTO DEL RÍO MILLOJAHUIRA CON CAL

Teniendo en consideración la información siguiente de:

- La acidez anual de este afluente fluctúa entre pH 3.5 – 3.0 u. e.
- Los caudales promedio para los periodos de avenidas es de 0.568 m³/s y para el estiaje de 0.391 m³/s.

Se define que el proceso de tratamiento de mejoramiento de la calidad de las aguas, se realiza con la modificación del pH de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, debiéndose llegar con aplicación de un álcali – cal hidratada, a nivel de pH de oxidación entre 9.0 a 10 u.e., agua que ingresará al embalse en condiciones alcalinas.

El dosificador de cal deberá ser volumétrico con un tanque de dilución que permita aplicar la dosis de 400 p.p.m según el caudal presente. La aplicación se realizará en el inicio del salto hidráulico o cambio de régimen de supercrítico a subcrítico.

Aplicación de Álcali – CAL HIDRATADA

La aplicación de realizará en el mezclador hidráulico donde ocurre la mezcla rápida, diseñado para tratar el caudal variable del río Millojahuira, para lo cual se ha diseñado un vertedero de cresta ancha con taludes aguas arriba de 1:1 y aguas abajo 1:2, lugar donde se inicia el salto hidráulico en el cauce del río, que sirve para agregar la lechada de cal. El mezclador tiene 2 canales, uno para el período de lluvias y el otro para el periodo de estiaje, de 2.5 m y 1.5 m respectivamente. El salto hidráulico debe tener un No. de Froude no menor a 3.5. para que la mezcla sea completa.

La estructura está preparada para la máxima avenida en 100 años para el Río Millojahuira que es de 2.028 m³/s. La cimentación y muros de encauzamiento serán de concreto con un puente de operación para la colocación de ataguías y control de la aplicación de cal. Como toda estructura dentro del cauce de un río, tiene 3 cortinas de concreto transversales al río con la finalidad de controlar el flujo de percolación y que no se produzca una socavación, por la diferencia de presión de aguas arriba a aguas abajo. Así mismo, al recibir aguas ácidas, el concreto será de clase 5 en todos sus elementos, de igual forma los muros de contención, aguas arriba para el represamiento y aguas abajo para mantener el flujo mezclado.

Proceso de Coagulación – Floculación

Luego de la mezcla rápida de la cal con la masa del agua, se produce el proceso de la coagulación - floculación, desestabilizando la composición química y modificando con la cal el pH del agua, el cual requiere un período no menor a 30 minutos. Este proceso de mezcla en flujo turbulento se produce en el recorrido del canal de conducción, en los tramos finales del canal con poca pendiente baja el gradiente de velocidad se forman los flóculos, para lo cual se canaliza mediante muros de encausamiento.

Aplicación de Polímero – FLOCULANTE ANIÓNICO

Se ha previsto un vertedero de cresta ancha para producir un salto hidráulico que permite agregar la solución de polímero, el que aglutina los flóculos formados y facilita la sedimentación de los lodos formados en el anterior proceso de transformación de agua ácidos a básicos removiendo los metales pesados complementariamente.

Ubicación De Estructuras

El mezclador hidráulico del Río Millojahuirá se ubicará en las coordenadas UTM N 8155021.30 y E 371409.24, en el centro del canal y sobre el vertedero de medición; y, la estructura de mezcla de polímeros se ubicará en las coordenadas UTM N 8154094.341 y E 272350.837 en el centro del vertedero.

Los embancamientos de encausamiento aguas arriba tienen una altura de 2.00 m. con coronamiento de 2.00 m. y base de 6.0 m, con enrocado de piedras de 700 Kg a 70 kg; y los muros de encausamiento aguas debajo tendrán una altura de 1.40 m y ancho de coronamiento de 2.00 m, con base de 4.80 m con piedra angulosa de 700 kg a 70 kg

9.2.2 TRATAMIENTO DEL RÍO HUALCANE CON APLICACIÓN DE CAL

Teniendo en consideración la información siguiente de:

- La acidez anual de este afluente fluctúa entre pH 3.5 – 3.0 u. e.
- Los caudales promedio en el período de lluvias y estiaje es de 0.80 m³/s. y 0.150 m³/s.
- La dosis de cal obtenida a nivel de laboratorio es de 400 mg/l similar al Río Millojahuirá con lo que se logra obtener aguas básicas al final del proceso con pH de 9 a 10 u.e.

Mezcla de Químicos – CAL HIDRATADA

Se ha diseñado una estructura hidráulica de mezcla que produce un salto hidráulico utilizando un vertedero de cresta ancha con taludes aguas arriba 1:1 y aguas abajo 1:2 el cual tiene 2 canales uno para el promedio de lluvias y el otro para el promedio del periodo de estiaje, donde se aplica la cal en el punto de transición de flujo supercrítico y subcrítico. Estos canales tienen disipadores de energía aguas abajo saliendo de la estructura con baja velocidad. Todas las estructuras están cimentadas sobre suelo aluvial; todas las estructuras de loza de fondo, los muros de contención y muro separador, son de concreto armado, clase 5 para evitar la corrosión del concreto el cual utiliza aditivos plastificantes y anticongelante el mezclador hidráulico será construido para el caudal máximo probable de 100 años el que es de 3.69 m³/seg.

Floculación

La floculación se realiza en el canal aguas abajo de la estructura de mezcla para lo cual se canaliza con muros de encausamiento asegurando se produzca un flujo mezclado con altos gradientes de velocidad donde se produce un flujo turbulento dando lugar al cambio de las aguas ácidas por aguas básicas formándose los flósculos, el floculador tiene una longitud de 3.6 Km independiente del Río Antajarane

Aplicación de Polímero – FLOCULANTE ANIÓNICO

Se utiliza un vertedero de cresta ancha de 0.90 m. por 4.00 metros, donde se produce un salto hidráulico con generación de turbulencia que sirve para aplicar el polímero diluido, el cual aglutina los flóculos formados en la etapa anterior, facilitando la sedimentación en el embalse de Pasto Grande. Esta estructura forma parte del puente vehicular de concreto armado de 4.00 m

Ubicación De Estructuras

El mezclador hidráulico de cal se ubica en coordenadas en UTM N 8151888.36, Este 373549.47. El punto de referencia es el centro del vertedero de cresta ancha, de igual forma la estructura de mezcla de polímeros, es un puente vehicular bajo el cual se ha considerado un vertedero de cresta ancha de 4.00 m de ancho, como se indica en el plano general N° CV.5-0001

El encauzamiento del río aguas arriba del mezclador hidráulico, se efectúa con muros de encauzamiento de 2.00 m. de alto con coronamiento de 2 metros y base de 6.00 m.

Los muros de encausamiento tienen las mismas características del Río Millojahuira, altura de 2.00 m aguas arriba variando hasta 1.40 m, y aguas abajo de 1.40 m en toda su longitud. La defensa riverieñas son de tierra con coronamiento de 2.00 m y con taludes de 45 grados, protegidos con enrocados de piedra de 700 a 70 Kg. Con los espesores indicadas en los planos.

9.3 PROCESO DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE CON LA REMEDIACION PROPUESTA.

La caracterización del flujo dentro del embalse determina que el ingreso de las aguas más contaminadas están próximas a la salida y el flujo mezclado esta por la zona Este del embalse en un volumen obtenido por determinaciones indirectas del 67% con flujo mezclado

Las aguas tratadas en los afluentes con pH residual de 9.0 u.e. que ingresan por la zona Este, llegarán a la zona de descarga en un periodo de tres (03) meses para los ríos de Millojahuira y Hualcane según el estudio de hidrología referente al direccionamiento de los flujos, donde se presenta la existencia de corto circuito entre las aguas acidas de los ríos Millojahuira y Hualcane, determinado por procedimientos indirectos.

Las aguas acidas al ser tratadas con cal a nivel de oxidación remueve todo los metales pesados precipitando y formándose hidróxidos y sulfatos de calcio los cuales precipitan formándose grumos los que son aglutinados en macrofloculos por los polímeros de alto peso molecular, esta condición le da estabilidad luego de formar parte de los sedimentos compactados, reduciendo los volúmenes sedimentados de lodos. Esta condición asegura que los floculos que forman parte de los sedimentos no se re suspendan; sin embargo, es aún un riesgo potencial cuando las aguas se tornen agresivas a un pH de 3.0 u.e. ó menor.

Si la acidez del agua se torna más agresiva, la sustitución de las aguas ácidas por aguas básicas, sería de mayor duración para la recuperación del pH ideal cuando solamente se trata a nivel de afluentes. Por lo que se recomienda iniciar el tratamiento de alcalinización en periodos de inicio de lluvias cuando el nivel del embalse se encuentra en sus valores de niveles más bajos.

Después del periodo de estiaje cuando el volumen del embalse se encuentra en los niveles bajos de almacenamiento; al llegar el periodo de lluvias y recibir aguas en gran volumen, se produce la recuperación ligera del pH; en cambio en el periodo de estiaje, el promedio de acidez disminuye como se puede apreciar en los resultados del primer y segundo monitoreo de caracterización física y química.

Este proceso de mejoramiento de la calidad de las aguas del embalse, se puede acelerar efectuando el tratamiento en la zona de la interface del agua ácida y básica, mediante el uso de soda cáustica, operación costosa que reduce el tiempo de remediación.

La gran extensión superficial del embalse de 45 km² en su nivel máximo, produce significativamente una elevada tasa de evaporación de no menor de 40 MMC, que afecta a la calidad de las aguas concentrando la acidez. Por efecto de lluvias se tiende a elevar ligeramente el pH por dilución de las aguas, lo que contrariamente ocurre cuando existe ausencia de lluvias. Lo que se puede interpretar que es necesario iniciar el tratamiento, cuando se encuentren las mejores condiciones. Como antecedente de oportunidad, se tiene que durante de operación del año 2010 en el periodo de estiaje se alcanza el nivel mínimo de 75MMC; recuperándose posteriormente en los años 2011 y 2012 el nivel máximo, por las intensas lluvias prolongadas hasta la segunda quincena del mes de mayo del 2012.

Considerando el 23% como volumen muerto del embalse (ver información de flujos en capítulo de hidrología), el flujo mezclado más el flujo pistón constituye el 77% del volumen del embalse. Generalmente después de un periodo de estiaje, el embalse dispone de 150 MMC como máximo, en donde el flujo mezclado tendrá el tiempo de residencia de 1.25 años determinado pro la relación de volumen almacenado y el caudal promedio (115.5 MMC/ 2.933 M3).

CONSORCIO V-5

Ing. Raul Zamudio Castillo
ING. QUÍMICO
CIP. 66858

CONSORCIO V-5

Dr. Cesar Lazcano Carreño
BIOLOGO
CBP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
CIP. 6530

10.0 SELECCION DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLOGICO

10.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para la selección de la alternativa se seguirá las siguientes reglas

- Crear condiciones biológicas para asegurar el pH adecuado.
- Aplicación de macro nutrientes
- Selección de Vegetación Adecuada y Selecta

10.2 SELECCIÓN DE PUNTOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO EN AFLUENTES

De acuerdo a la caracterización Físico Química, Hidrobiológica, Toxicológica, Microbiológica Parasitológica y evaluaciones in situ de campo proponemos aplicar el Tratamiento Biológicos en los siguientes puntos:

10.2.1 Río Antajarane

Ubicación del Tratamiento Biológico en Antajarane

ESTE	NORTE	PUNTO DE TRATAMIENTO BIOLOGICO
376160	8151686	Antajarane Antes de Confluencia, a 400 m antes del E43

Las consideraciones tomadas en cuenta, para ubicación de esta área es debido a que, es el punto de concentración de todos los atribuyentes (manantiales, quebradas) del Río Antajarane. A partir de allí se forma el delta para distribución del agua. El Tipo de tratamiento que se propone desarrollar es el acondicionamiento hidráulico para mejoramiento y conservación de Bofedales, esto en consideración a la existencia de Bofedales con áreas aproximadas de 4-5 Has afectados por la falta de una buena distribución hidráulica a consecuencia de las avenidas de los ríos.

Se ha considerado construir un dique de concreto con la finalidad de recuperar los bofedales, por lo que, se debe efectuar un manejo planificado de los humedales naturales que solo es depurado como alimento de los auquénidos de la zona, los controles de los tallos de las macrofitas, envejecidas se deterioran permaneciendo en la zona como nueva fuente de contaminación. Para tratar las aguas de escorrentía con las macrofitas que crecen en el Alveo del Río, para el caso específico del río Antajarane se ha diseñado una pantalla de represamiento en la zona de sedimentación, donde se han formado torrenceras dejando secas las terrazas laterales, la pantalla de represamiento de las aguas subterráneas y el cauce del río en esta zona, tiene una longitud de 160 mts con ancho de

0.90mts por 2.0 mts de profundidad, así mismo quedara independizado el Cauce del Antajarane del Hualcane, debido a que en su tramo final el hualcane trabaja como floculador.

En los años posteriores el terrazo aguas arriba del dique a ser construido deberá ser limpiado y nivelado porque trabaje a todo el ancho del rio. La extensión de los humedales naturales o rehabilitados con cosechas periódicas previa evaluación y estaciones de control estará bajo el control de los operadores de estos humedales.

Diseño de humedal Antajarane

$$Q = 0.17 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = 0.85\%$$

$$n = 0.05$$

$$L = 20\text{m}$$

$$Y = 0.03345$$

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{N}$$

$$R = \frac{A}{P_m} = \frac{20 \times 0.03341}{20.669} = 0.10358$$

$$S^{1/2} = 0.0085 = 0.0911$$

$$V = 0.2863 \text{ m/s} < 0.60 \text{ m/s}$$

Conclusión; se determina que es una zona de sedimentación .no conveniente po tanto:

Calculamos para un ancho de 20 mts.

$$\text{Para } Q \text{ máximo} = 1.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 20\text{m}$$

$$S = 0.85\%$$

$$Y = 0.16$$

$$V = 0.2869 \text{ m/s} < 0.60 \text{ m/s}$$

Se determina que es una zona de sedimentación para los caudales máximos por tanto:

Calculamos para un ancho de 10 mts.

$$Q = 1.85$$

$$H = 0.05$$

$$S = 0.85\%$$

$$L = 10.00\text{m}$$

$$Y = 0.26$$

$$V = 0.75\text{m/s} > 0.60\text{ m/s} \quad \text{Zona conveniente.}$$

Determinación del Área del Bofedal

Tasa de Remoción de Macrofitas.

15 Tn/Ha/año (Rendimiento de la macrofita seleccionada)

$$4.109\text{gr/m}^2/\text{día}$$

$$0.1712\text{ gr/m}^2/\text{hora}$$

$$\text{Caudal Promedio} = 0.175\text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{Carga Metálica de Fe} = 0.177\text{mg/L} = 0.177\text{gr/m}^3$$

Para 0.175m³/s la carga metálica es:

$$C_m = 0.03097\text{ gr/seg} = 111.51\text{gr/h}$$

Por tanto para el Área Ah: 111.51 gr/h

$$\text{Tasa de Remoción: } 0.1712\text{ gr/m}^2$$

$$A = 651.34\text{m}^2$$

Para 1.85 m³/s la carga metálica es:

$$C_m = 0.32745\text{ gr/s} = 1178.82\text{gr/h}$$

$$\text{Tasa de Remoción: } 0.1712\text{gr/m}^2/\text{h}$$

$$A_s = 6885.63\text{ m}^2$$

Longitud para Ancho de 10 mts

$$L_1 = 65.134\text{m}$$

$$L_2 = 688.56\text{ m}$$

CONSORCIO V-5

Ing. Raúl Zamudio Castillo
ING. QUÍMICO
CIP. 66858

CONSORCIO V-5

Dr. César Lazcano Carreño
BIÓLOGO
CBP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
CIP. 66858

Numero de Pantalla

$N_1 = 1$ Pantalla

$N_2 = 7$ Pantalla cada 117 mts.

Muro de Incausamiento

Primer caso: 135mts

Segundo caso: 1377mts

Se concluye que no es conveniente construir los humedales por los altos costos de los muros de defensa y por dejar fuera del ámbito de influencia del Río Antajarane las 4 ha de macrofitas de la zona, por lo que se ha determinado construir un dique de concreto a fin de habilitar las 4 ha de bofedales colocando un muro de 160mts transversal al río en la Coordenada E: 0376160 N: 8151686.

10.2.2 Río Cacachara.

Acondicionamiento de humedales en el Río Cacachara ubicado antes de la confluencia en el Río Patara UTM Ver Plano general

Diseño Humedal Cacachara

$Q = 5.00 \text{ m}^3/\text{s}$

$S = 1.81\%$

$n = 0.05$

$L = 60\text{m}$

$Y = 0.15$

$$V = \frac{(60 \times 0.15)^{2/3} (0.0181)^{1/2}}{60.30} = 0.75 \text{ m/s} > 0.60 \text{ m/s}$$

Carga Metálica $C_m = 6.284 \text{ ml/L} = 6.284 \text{ gr/m}^3$

$Q \text{ Promedio} = 1.492 \times 6.284 = 9.3757 \text{ gr/seg} = \frac{33752.62 \text{ gr/h}}{24}$

Tasa de remoción: $0.1712 \text{ gr/m}^2 \text{ h}$

$A_h = 197,153.0 \text{ m}^2 = 20 \text{ Ha}$

Con 20% de Eficiencia = 4 Ha

$A = 40,000 \text{ m}^2$

$b = 60$

$L = \frac{40,000}{60} = 666 \text{ mts}$

Numero de Pantalla

12 Pantallas a 60 m = 660m

Total 12 Pantallas

10.2.3 Quebrada Jacosive.*Tratamiento Biológico propuesto con humedales artificiales con tecnología WETLAND.*

ESTE	NORTE	PUNTO DE TRATAMIENTO BIOLOGICO
386528	8156631	Quebrada de Jacosive, 500mts antes de confluencia con río Cacachara

10.2.4 Quebrada Paulletane

El tratamiento Biológico propuesto es la instalación de Humedales Artificiales con tecnología Wetland.

ESTE	NORTE	PUNTO DE TRATAMIENTO BIOLOGICO
384600	8151500	E 22 Quebrada Palleutane, a 650mts antes de confluencia con el Río Cacachra

Criterios de Diseño

Los parámetros de diseño se rigen bajo los siguientes criterios

- Profundidad de Agua (cm) : 45
- Número de Células : Múltiple
- Aspecto de Ratio L/W : > 4/1
- Velocidad de flujo (ft/s) : 0.1 – 1
- Tiempo de Retención (Días) : 0.25 – 75
- Sustrato : Compost

Parámetros de Diseño:

- Caudal promedio por segundo : 0,4 m³/s
- Caudal promedio por día : 34 560 m³/d
- pH promedio : 3 – 4

- Carga de Fe : 11 mg/L
- Factor pH : 5.0
- Eficiencia : 90 %
- Carga de Fe por día : 380 000 g/ Fe / día x 0,1

$$\text{Área Superficie: } \frac{\text{Carga Fe /d} \times 0,1}{\text{Factor pH}}$$

Aplicando valores se obtiene un área mínima de: 7 600 m²

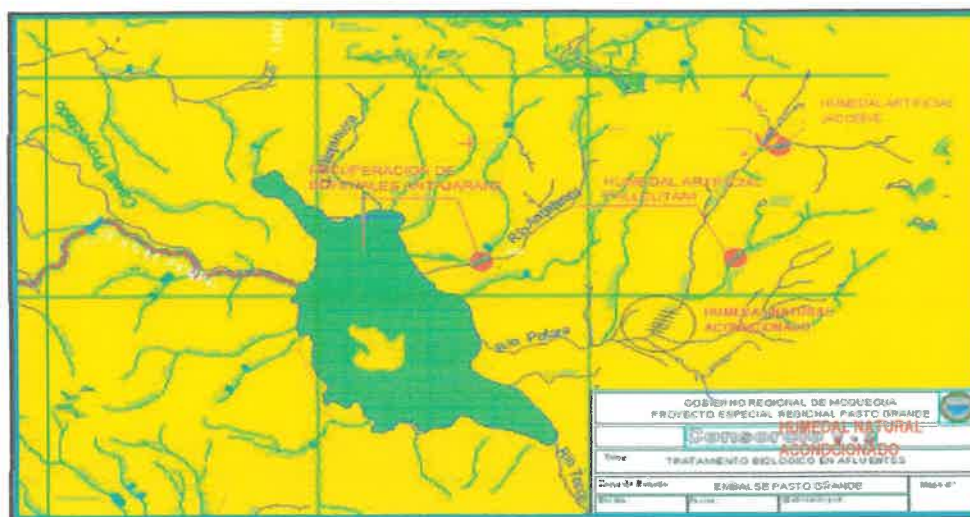
Considerando los datos se propone un sistema de tres humedales seriados de las siguientes características:

- Canal de caliza : 50 m x 25 m x 0,7 m
- 3 Humedales : 100 m x 25 m x 0,7 m
- 0,20 cm de fondo de piedra y grava
- 0,50 cm de flujo de agua

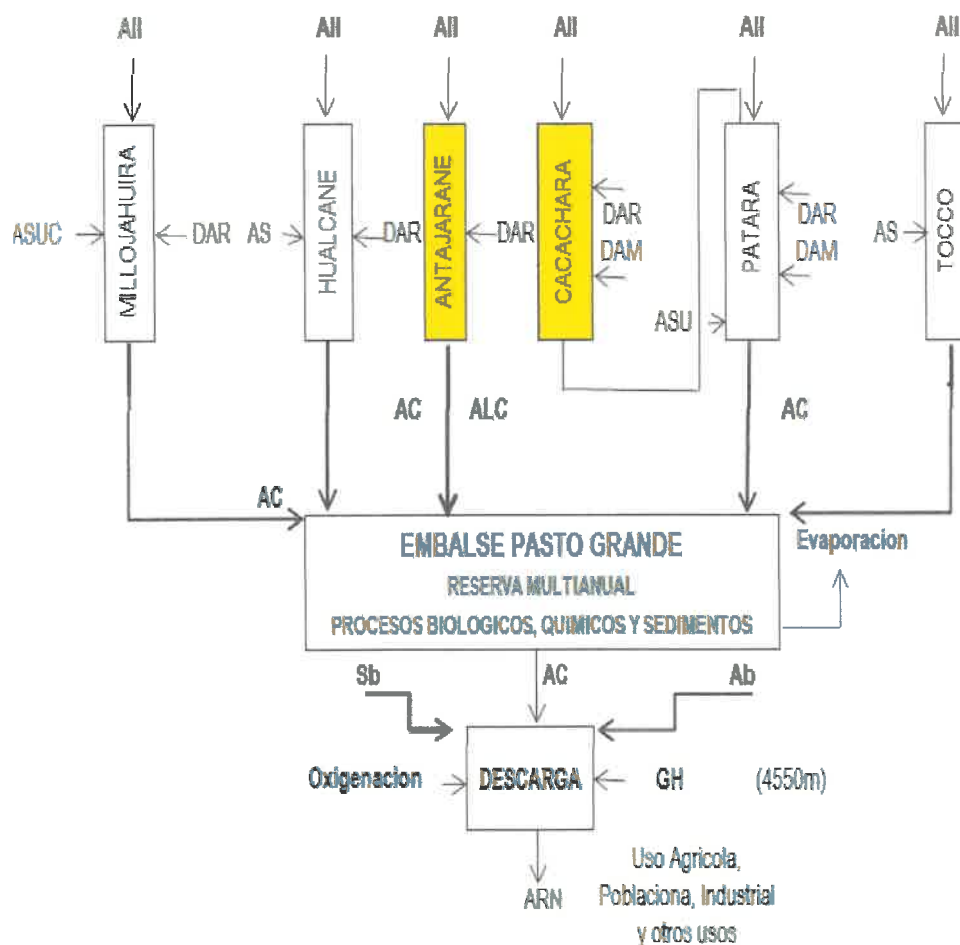
Los parámetros de diseño son los siguientes:

1. Concentración de metal en afluente (Fe) = 11 mg/L
2. Carga de metal/d = 11g/m³ x 0,4 m³ x 86 400s/d = 380 kg Fe/d
3. Carga de metal en efluente = 1,1 mg/L
4. Carga de metal en efluente = 38 Kg/d
5. Volumen total del humedal = 1 750m³
TRH = 1 750 m³/ 0,4 m³/s = 1,21 h

Esquema de Ubicación de Tratamiento Biológico en Afluentes



SITUACION ACTUAL



Tratamiento Mixto

Leyenda:

All: Agua de Lluvia	ACC: Agua Concentrada
ASU: Agua Subterránea	ARN: Agua Con Remediación Natural
ASC: Agua subterránea Contaminada	GH: Gradiente Hidráulica
AC: Agua Contaminada	SB: Suelos Básicos
AS: Agua Sedimentada	Ab: Aguas Básicas.
AE: Agua Evaporada	ASUC: Agua subterránea Contaminada

CONSORCIO V-8

Ing. Raúl Zamudio Castillo
ING. QUIMICO
CIP. 66858

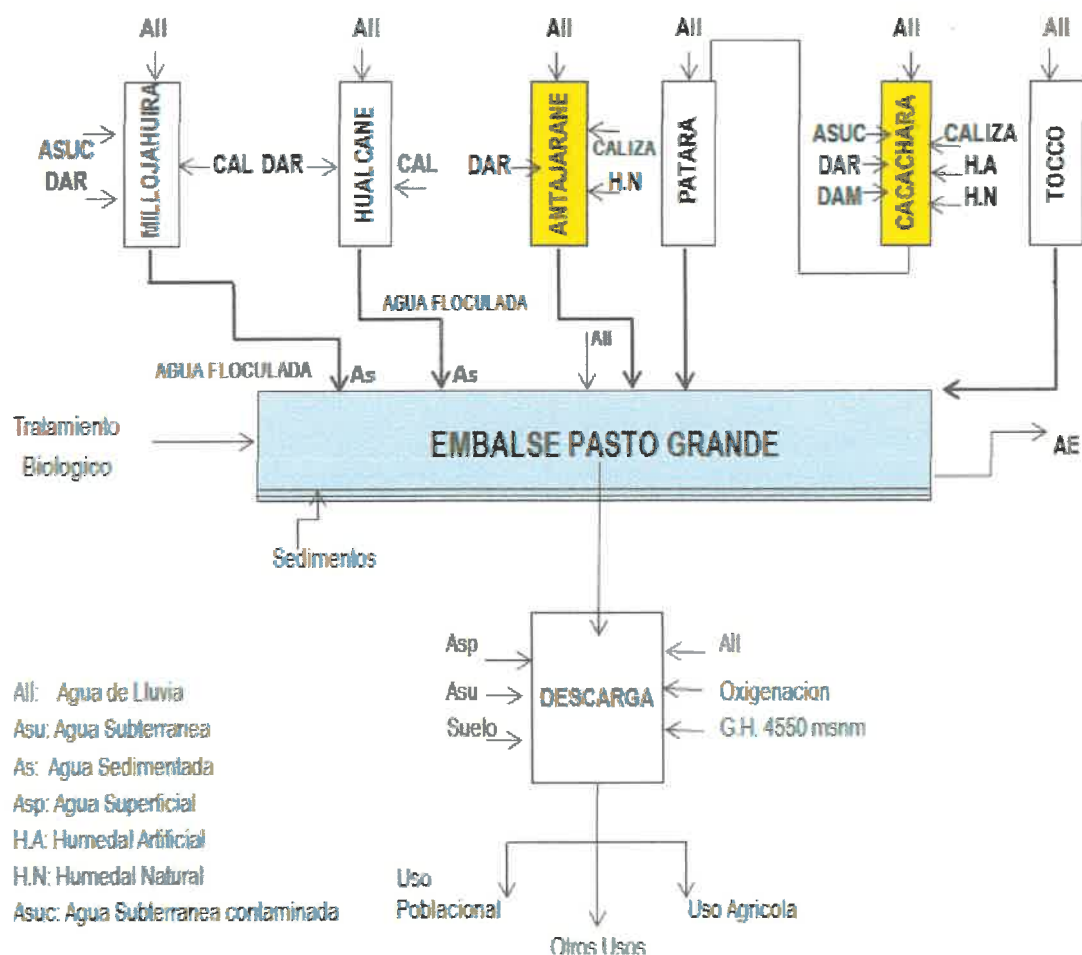
CONSORCIO V-5

Dr. César Lázcano Carreño
BIOLOGO
CIP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
CIP. 6530

TRATAMIENTO



- Afluentes: Tratamiento Químico - Millojahuira – Hualcane.
Tratamiento Mixto - Antajarane – Cacachara.
- Embalse: Solo Tratamiento Biológico
Solo Tratamiento de Emergencia
- Descarga: Tiene un alto potencial de remediación

Análisis del Tratamiento Químico, Biológico y Mixto

- 1) La contaminación por aguas acidas es el problema que viene impactando negativamente por los Ríos Millojahuira, Hualcane y Cacachara y no solo compromete la calidad de las aguas del Embalse, también las estructuras generando un riesgo potencial.
- 2) La utilización del cauce del Río como floculador y el embalse como sedimentador con uso de Polímeros permiten asegurar la estabilidad de los sedimentos dentro del embalse lo cual es positivo. Se cumple con las ECAs clase IV
- 3) El tratamiento químico o activo es costoso pero es la forma más efectiva de resolver un problema en el corto plazo que ha afectado la biodiversidad del embalse reduciendo el número de especies.
- 4) El río Cacachara es un afluente del Patara donde no se puede tratar estas aguas como las indicadas anteriormente, la solución planteada para una cuenca tan amplia, con muchas quebradas y microcuencas, con variaciones de caudal que representa las 2/3 del caudal del Patara con 188 Km² de cuenca el tratamiento como está propuesto con caliza es manejable.
- 5) El Río Cacachara antes de su confluencia con el río Patara tiene un pH de 3.7 y al mezclarse con las aguas del Río Patara que tiene 6.3 de pH llega a un pH de 4.6 u.e. después de la confluencia

Para el caudal promedio de 1.00m³/s del Río Cacachara se debe elevar el pH en 3 u.e. para lograr un pH de 6.6u.e. de tal manera que la calidad de las aguas cumpla con las Normatividad Ambiental ECAs para Agua en el Río Patara y en el Embalse.

- 6) Los humedales existentes ubicados en el alvio del Río Cacachara deberán tener un manejo técnico a fin de renovar oportunamente las micrófitos previa evaluación con planta piloto elegida dentro de las áreas de los humedales del Cacachara, estas PVA tienen la propiedad de remover los minerales pesados reduciendo la carga metálica del Río Cacachara.
- 7) Por lo indicado se concluye: que el Tratamiento Mixto se aplica en el Río Antajarane y Cacachara tratando el promedio anual de 1,2 m³/s con caliza y Humedales naturales.
- 8) El tratamiento con cal y polímero se aplica en los Ríos Millojahuira y Hualcane, tratando el promedio anual de 0.771m³/s
- 9) El tratamiento Mixto Y Químico de los afluentes corresponden al 67.2% de los 4 afluentes los que representa 62 MMC del promedio anual que requiere tratamiento

CONSORCIO V-5

 Ing. Raul Zamudio Castillo
 ING. QUIMICO
 CIP. 68258

CONSORCIO V-5

 Dr. César Lázcano Carreño
 BIÓLOGO
 CBP. 269

CONSORCIO V-5

 Ing. Víctor Díaz Nuñez
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 3530

TRATAMIENTO MIXTO
COSTOS DE INVERSION OPERACION Y MANTENIMIENTO

DESCRIPCION	RIO ANTAJARANE	RIO CACACHARA	TOTAL
COSTOS DE INVERSION			
2 HUMEDALES ARTIFICIALES		S/. 2,258,042.25	S/. 2,258,042.25
1 HUMEDAL DE CACACHARA		S/. 3,415,857.51	S/. 3,415,857.51
REHABILITACION HUMEDAL DE ANTAJARANE	S/. 261,861.47		S/. 261,861.47
3 CAMARAS DE CONTACTO		S/. 1,948,503.10	S/. 1,948,503.10
TOTAL	S/. 261,861.47	S/. 7,622,402.86	S/. 7,884,264.33
COSTOS OPERATIVOS			
HUMEDALES ARTIFICIALES		S/. 210,000.00	S/. 210,000.00
RIO CACACHARA CON CALIZA		S/. 1,442,412.12	S/. 1,442,412.12
RIO ANTAJARANE CON CALIZA	S/. 254,299.50		S/. 254,299.50
HUMEDALES NATURALES	S/. 230,300.00	S/. 23,000.00	S/. 253,300.00
TOTAL	S/. 484,599.50	S/. 1,675,412.12	S/. 2,160,011.62
COSTOS DE MANTENIMIENTO			
HUMEDALES ARTIFICIALES		S/. 90,320.00	S/. 90,320.00
HUMEDAL DE CACACHARA		S/. 136,634.00	S/. 136,634.00
HUMEDAL ANTAJARANE	S/. 10,474.40		S/. 10,474.40
CAMARA DE CONTACTO		S/. 77,940.00	S/. 77,940.00
TOTAL	S/. 10,474.40	S/. 304,894.00	S/. 315,368.40

CONSORCIO V-5

Ing. Raúl Zamudio Castillo
 ING. QUÍMICO
 CIP. 66358

CONSORCIO V-5

Dr. César Lázcano Carreño
 BIOLOGO
 CBP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 6530

CONCLUSIONES

- La remediación del sistema pasto grande es un proceso que demandará un periodo de 2 años hasta alcanzar los niveles de calidad indicados, cumpliendo con la normatividad vigente a nivel de la descarga de los afluentes y a la salida del embalse, después de los 2 primeros años de tratamiento cumpliendo con los ECAs para agua categoría 3 y categoría 4 vigentes.
- El tratamiento mixto se circunscribe a los ríos Antajarane y Cacachara utilizando tratamiento con caliza en el cauce de los ríos y acondicionamiento de humedales naturales en los ríos Antajarane y Cacachara, adicionalmente 2 humedales artificiales con carácter de experimental en los ríos Jacosive y Palleutane xxxxx se ha considerado 3 cámaras de contacto de 30 l/s, 50 l/s y 100 l/s/seg. en los Ríos Jacosive, Acosiri y Cacachara respectivamente.
- En el embalse está previsto efectuar tratamiento biológico el tratamiento químico se limita a casos de emergencia o a decisiones de reducir el periodo de remediación. es decir no es posible Tratamiento Mixto
- La descarga incluido las aguas de transvase no requieren tratamiento Mixto por el alto potencial de oxigenación por el gradiente hidráulico de 4550 m mas la mezcla de aguas básicas de la cuenca de Moquegua.

RECOMENDACIONES

- Efectuar el tratamiento químico de los Ríos Antajarane y Cacachara y afluentes con piedra caliza, utilizando cámaras de contacto a ser preparadas en el cauce de los afluentes al Río Cacachara o utilizando las Cámaras de Contacto diseñadas.
- Efectuar un manejo tecnificado de los humedales naturales de los Ríos Antajarane y Cacachara apoyados por el Laboratorio de investigación propuesto.

CONSORCIO V-5

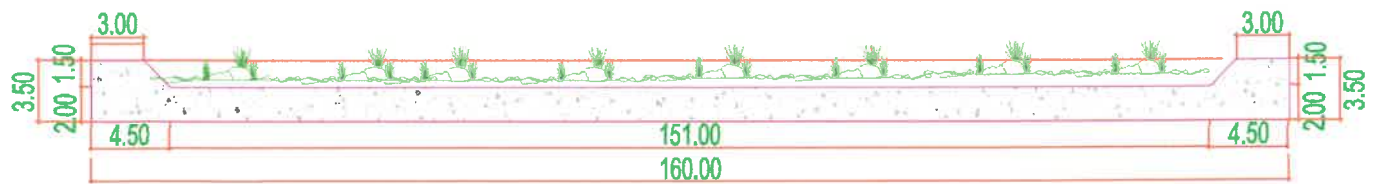
Ing. Raúl Zamudio Castillo
ING. QUÍMICO
CIP. 66358

CONSORCIO V-5

Dr. César Lázcano Carreño
BIOLOGO
CBP. 269

CONSORCIO V-5

Ing. Víctor Díaz Nuñez
INGENIERO CIVIL
CIP. 3530

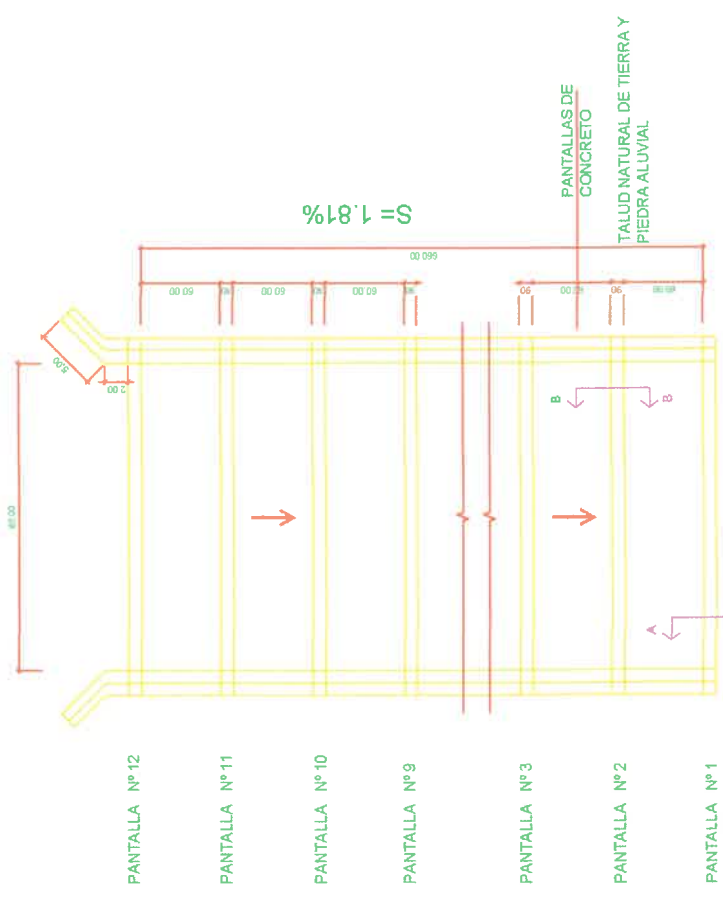


Handwritten signatures and initials in blue ink.

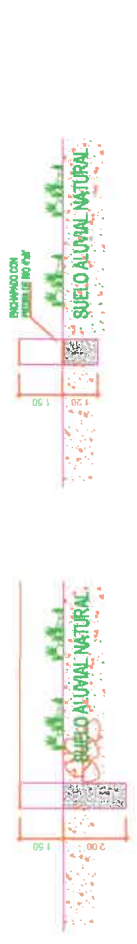
PROYECTO FECHA HOJA	PLAN DE REVISIÓN FECHA REVISOR	GOBIERNO REGIONAL DE MOQUEGUA PROYECTO ESPECIAL REGIONAL PASTO GRANDE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE VIDA DEL COMITÉ DE EMBALEQUE PUEBLO VIEJO REHABILITACIÓN DE HUMEDAL NATURAL DE ANTAMORANE	PROYECTO FECHA HOJA PROYECTO FECHA HOJA	GOBIERNO REGIONAL DE MOQUEGUA PROYECTO ESPECIAL REGIONAL PASTO GRANDE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE VIDA DEL COMITÉ DE EMBALEQUE PUEBLO VIEJO REHABILITACIÓN DE HUMEDAL NATURAL DE ANTAMORANE CV-5-001 UNIDAD DE AN SECUENCIA
--	---	---	---	--



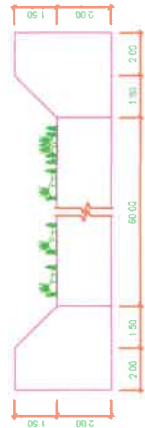
CORTE LONGITUDINAL



PLANTA



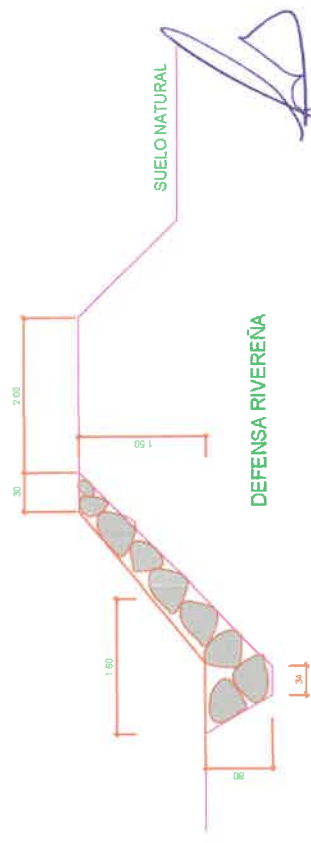
CORTE A - A



CORTE B - B

MURO 1-1

MUROS DEL 2 al 12

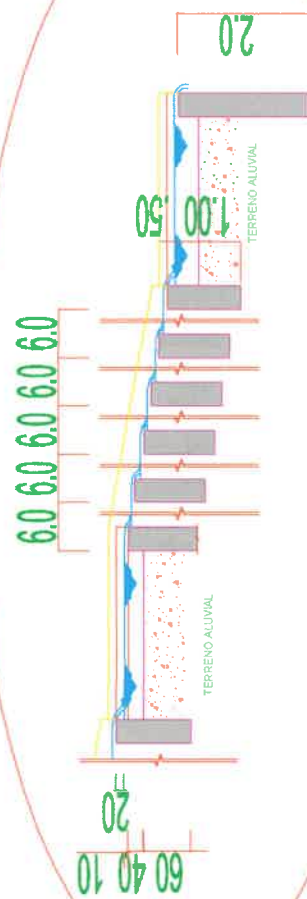


DEFENSA RIVERENA

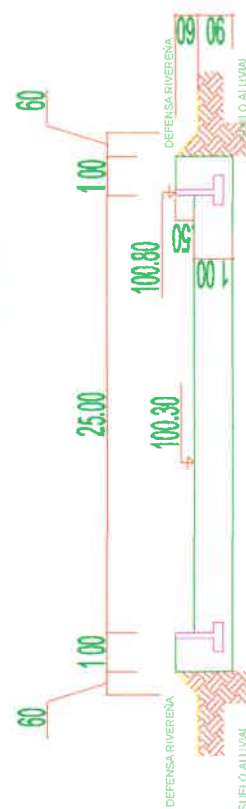
NOTAS		PLANOS DE DEFENSA RIVERENA		GOBIERNO REGIONAL DE MOQUEGUA	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		PROYECTO ESPECIAL REGIONAL PASTO GRANDE	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		MONUMENTO A LA CULTURA Y AL TURISMO DEL BARRIO PASTO GRANDE	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		HUMEDALES NATURALES	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		RIO CACACHARA	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		CI/S-002	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		PROYECTO	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		DISEÑO	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		CONSTRUCCION	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		MANTENIMIENTO	
P. DE PLANO		P. DE PLANO		SECUENCIA	



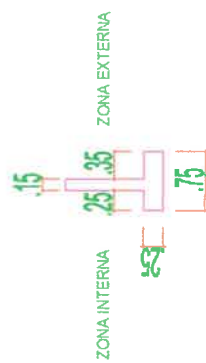
CORTE LONGITUDINAL A-A



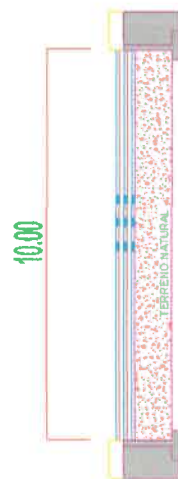
CORTE TRANSVERSAL C-C



PLANTA



MURO DE CONTENCIÓN

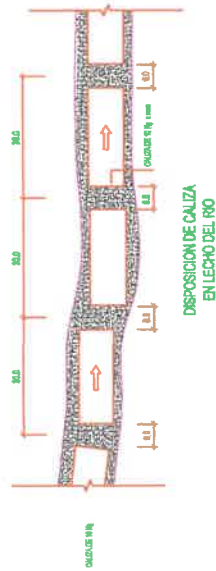
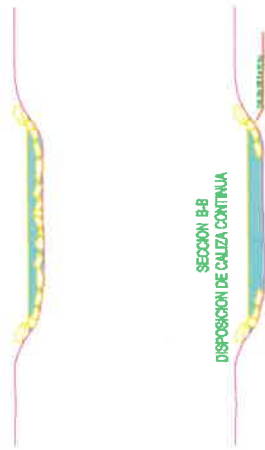
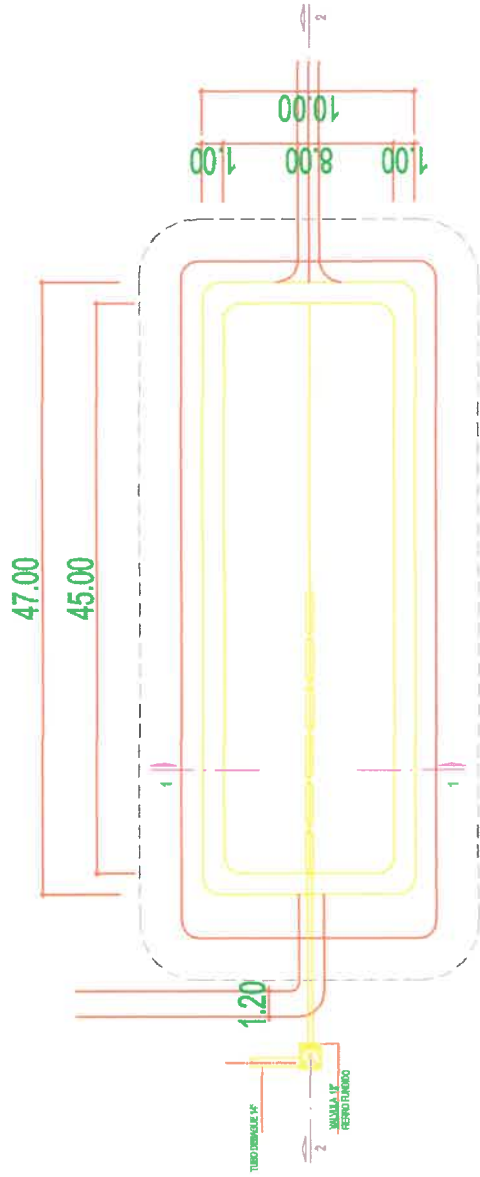
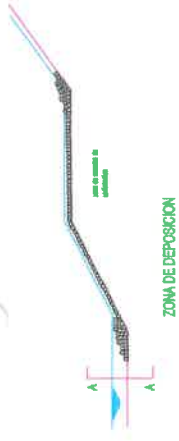
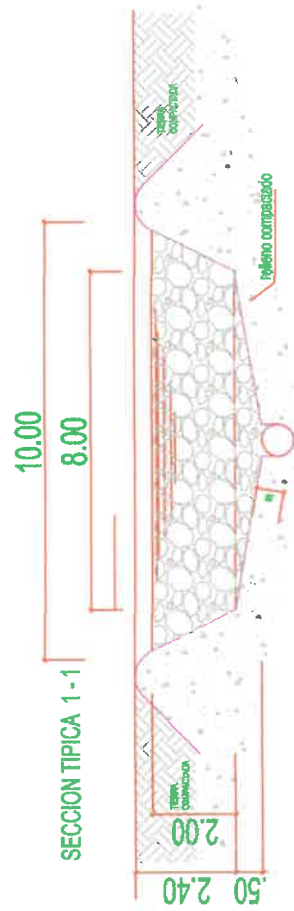


CORTE TRANSVERSAL B-B
ZONA DE OXIGENACION

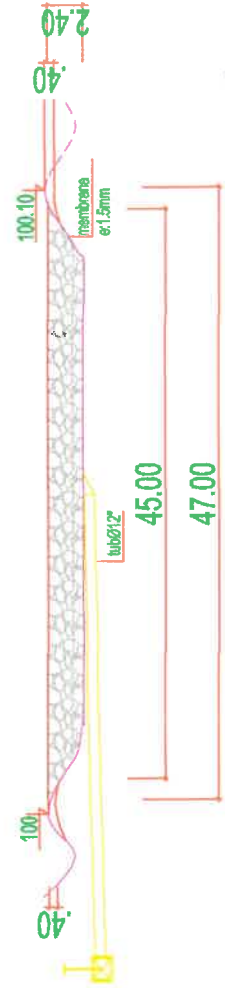
051

[illegible]

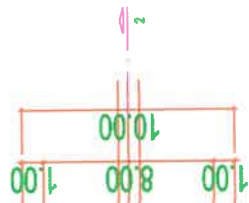
DISPOSICION DE CALIZA CADA 30 m
corría natural del cauce del río antaño.


$$q = 50 \text{ L/t.sg}$$


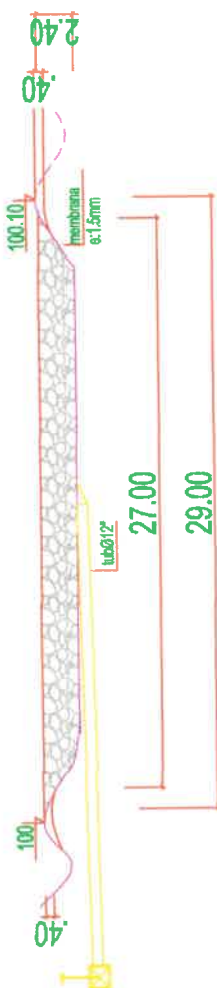
PLANTA
PARA USARSE EN ZONAS SIN ARRASTRE DE
SEDIMENTOS O COLOCAR UN DESARENADOR.



POZA DE MEMBRANA IMPERMEABLE
CORTE LONGITUDINAL B - B



$q=30\text{L/sg}$
 $V=(2\text{ horas})=360\text{ m}^3=27\text{ m}$
 $(2\text{ horas})=540\text{ m}^3=54$
 base relleno compactado
 $0.5 \times 8 \times 27 = 108$
 muros relleno con piedras
 $2.30 \times 2 = 50 \times (24 \times 54) \times 78 = 390$



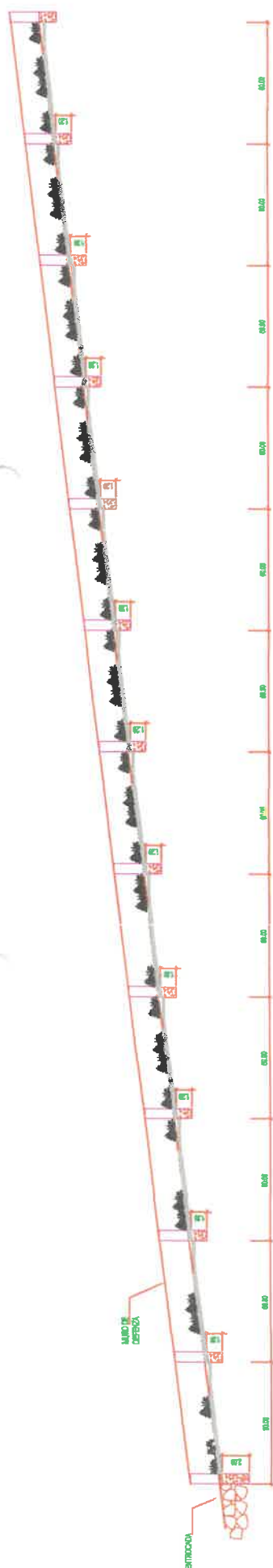
PLANO GENERAL

CORTE 1-1

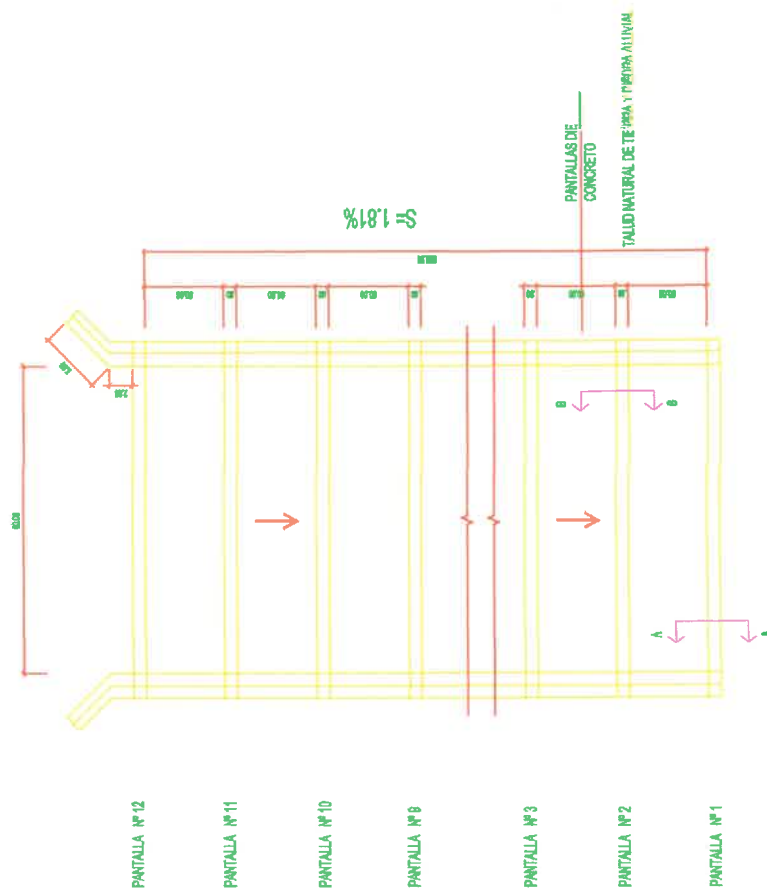
$$S=41000$$

053

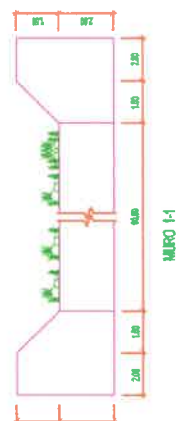
[illegible]



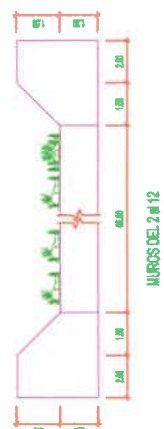
CORTE LONGITUDINAL



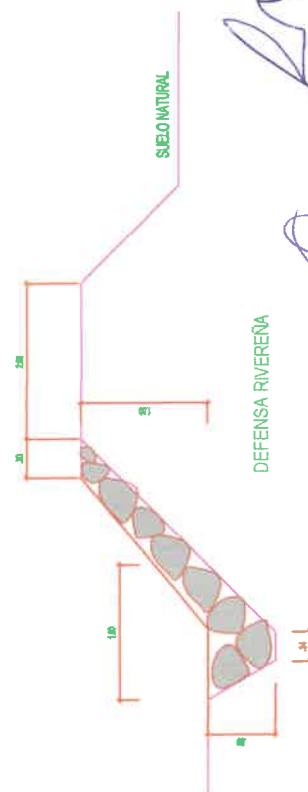
CORTE A-A



1-1 OBTAIN



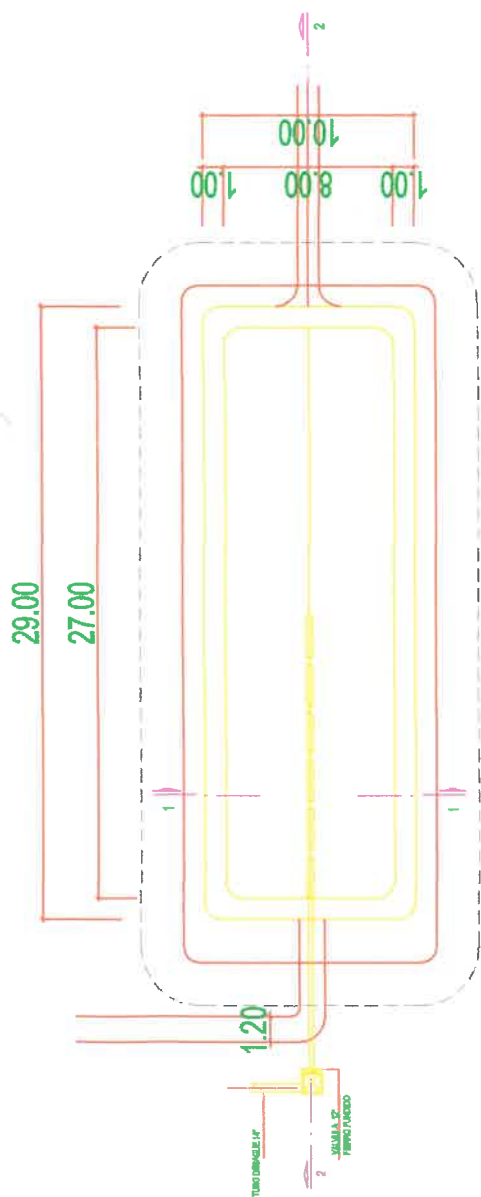
Muros del 2 al 12



DEFENSA RIVEREÑA

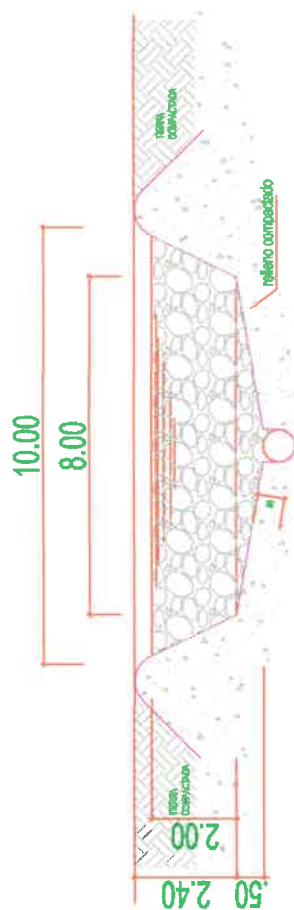
PLANTA

[illegible]



PLANTA

PARA USARSE EN ZONAS SIN ARRASTRE DE SEDIMENTOS O COLOCAR UN DESARENADOR.

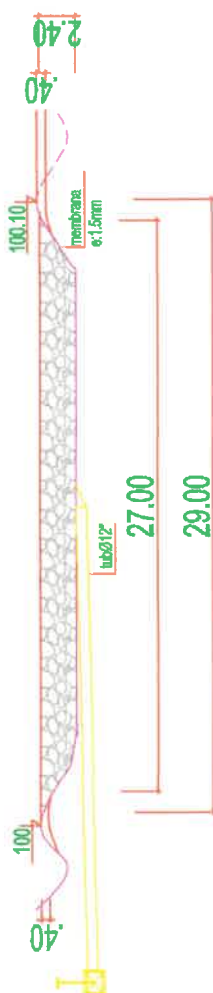


SECCION TIPICA 1-1

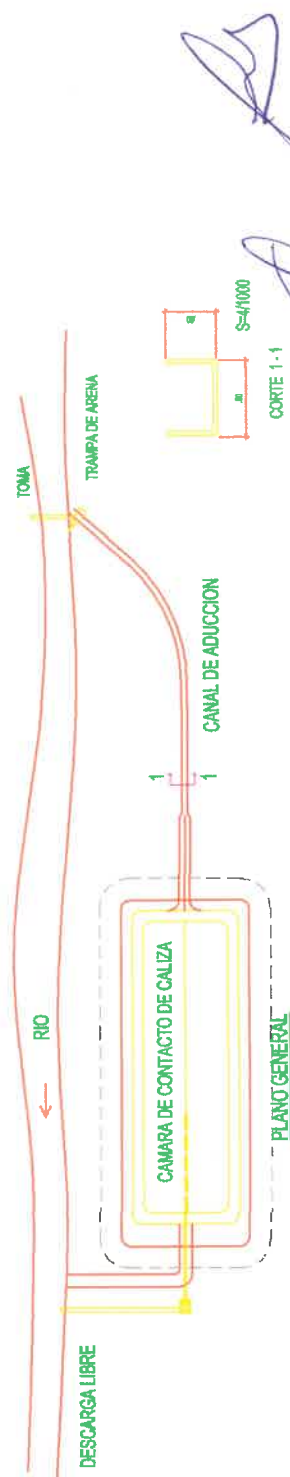
 $q = 50 \text{ t/sq}$
$$V = (2 \text{ horas}) = 360 \text{ m}^3 = 27 \text{ m}$$
$$(2 \text{ horas}) = 540 \text{ m}^3 = 54$$

base relleno compactado $0.5 \times 8 \times 27 = 108$

muros relleno con piedras $2,30 \times 2 = 50 \times (24 \times 54) \times 78 = 390$



POZA DE MEMBRANA IMPERMEABLE
CORTE LONGITUDINAL B-B



PLANO GENERAL

[illegible]

