

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO  
TYPHA AGUSTIFOLIA Y ESCORIA VOLCÁNICA EN HUMEDAL  
ARTIFICIAL”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**  
**QUISPE PÉREZ, ROSARIO VERÓNICA**

**Villa El Salvador**  
**2017**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme permitido culminar mi carrera con éxito y así cumplir la meta más importante en mi vida.

## AGRADECIMIENTO

Siempre resulta difícil agradecer a aquellas personas que han colaborado con un proceso, con un trabajo, porque nunca alcanza el tiempo, el papel o la memoria para mencionar o dar con justicia todos los créditos y méritos a quienes se lo merecen. Partiendo de esta limitación y diciendo de antemano muchas gracias a todas las personas que de una u otra manera han colaborado en el desarrollo de este proyecto de investigación, deseo agradecer especialmente a: A mi padre Nicolás, el cual desde pequeña me ha cuidado y dado mucho cariño, por inculcarme los valores que tengo, orientarme en cualquier dificultad, y ser mi respaldo en todo. A mi madre Georgina por la dedicación que ha tenido conmigo, ser soporte en momentos de indecisión, y sus sabias palabras; mamá para mí siempre serás sinónimo de perseverancia.

A todo mis hermanos, en especial a Percy y Lucia, por ser quienes me han brindado todo su apoyo incondicional además servido de modelo a imitar y deseos de superación en todo aspecto de mi vida.

Al Sr. Simeón Collanqui Visa y su gran familia, ya que esta investigación no hubiera sido posible sin el apoyo de todos ellos.

A mi novio Julio por su apoyo y estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas; por su comprensión, paciencia y amor, dándome ánimos de fuerza y valor para seguir a delante.

A mis compañeros de la universidad, especialmente a mis amigas, por estos cinco años de estudio juntos, conocernos y tener una amistad leal y sincera que perdurara a pesar del tiempo

## ÍNDICE

<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	vi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	2
1.2. Justificación .....	3
1.3. Delimitación del Proyecto .....	3
1.4. Formulación del Problema.....	3
1.5. Objetivos .....	4
1.5.1. Objetivo general .....	4
1.5.2. Objetivos específicos .....	4
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1. Antecedentes de la investigación .....	5
2.2. Bases teóricas.....	10
2.2.1. Humedal artificial (HA).....	10
2.2.2. Vegetación.....	14
2.2.3. Remoción de materia orgánica .....	18
2.2.4. Los microorganismos.....	19
2.2.5. Sustrato .....	20
2.2.6. Proceso de absorción del cromo .....	21
2.3. Marco Conceptual .....	23
i. Curtiembre.....	23
ii. Los humedales artificiales.....	23
iii. Los humedales artificiales de flujo sub superficial.....	23
iv. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) .....	24
v. Demanda química de oxígeno (DQO): .....	24
vi. Cromo hexavalente (Cr(VI)).....	24
vii. Sólidos suspendidos totales (SST) .....	25
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA</b> .....	26
2.4. Ámbito espacial .....	26
i. Ubicación de la curtiembre “CURTIDURIA CRISMA” .....	26
2.5. Diseño del sistema de humedales.....	26
i. Sistema de pretratamiento.....	27
ii. Sistema de tratamiento .....	28
iii. Análisis.....	29
iv. Lógica del funcionamiento del sistema de Humedales Artificiales.....	33

v. Costo del proyecto .....	35
vi. Costo de transformación.....	36
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>44</b>

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Componentes de un humedal artificial .....	10
<b>Figura 2:</b> Mecanismos de remoción de contaminantes .....	12
<b>Figura 3:</b> Transferencia de oxígeno desde las raíces.....	13
<b>Figura 4:</b> Esquema general de Humedal Artificial Subsuperficial (HASS) .....	14
<b>Figura 5:</b> Construcción de los humedales .....	29
<b>Figura 6:</b> Plano del diseño de humedales .....	30

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Resumen de las características de las tres especies más utilizadas en los humedales artificiales .....	16
<b>Tabla 2:</b> Características físicas y mecánicas de la escoria volcánica.....	31
<b>Tabla 3:</b> Presupuesto de la Investigación .....	35
<b>Tabla 4:</b> Producción de agua residual en procesos de curtido-CURTIDURIA CRISMA .....	36
<b>Tabla 5:</b> Producción de agua tratada en el sistema Humedales Artificiales Subsuperficiales -CURTIDURIA CRISMA.....	36
<b>Tabla 6:</b> Costos de insumos para el tratamiento de agua residual de la curtiembre CURTIDURIA CRISMA .....	36
<b>Tabla 7:</b> Resultados obtenidos de los parámetros evaluados del efluente de curtiembre y después del procedo de tratamiento mediante humedales artificiales .....	37

## INTRODUCCIÓN

El agua residual de curtiembre, se caracteriza, por presentar alta contaminación orgánica y tóxica asociada a la presencia de cromo, sulfuro y sales. Ello constituye un problema ambiental puesto que no cumplen con las exigencias de descarga de sus aguas industriales. Es así que estos efluentes generados por esta industria son difíciles de tratar. Los métodos convencionales del tratamiento de los efluentes de curtiembres incluyen pretratamientos (tamices, ecualización), tratamiento primario (químico) y secundario (biológico, generalmente por barros activados). Estos últimos tienen un alto costo de capital, operación y mantenimiento lo cual, junto con las nuevas leyes y estándares ambientales, ha llevado a la industria a buscar nuevos métodos de tratamiento. Sus principales ventajas son el costo de inversión relativamente bajo y el escaso mantenimiento necesario en comparación con otras tecnologías de tratamiento biológico.

De esta forma, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo implementar un sistema de tratamiento para el efluentes de curtiembre con humedal artificial utilizando *Thypha angustifolia* y escoria volcánica como material adsorbente de contaminantes, en la empresa CURTIDURIA CRISMA, Arequipa, con el fin de remover los contaminantes presentes en aguas residuales y determinar parámetros de calidad que permitan establecer la eficiencia de remoción, tales como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de oxígeno (DQO), Cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

En la ciudad de Arequipa se desarrollan diversas actividades socioeconómicas; tales como la agricultura, comercio, minería, industria, entre otras. En el rubro industrial las curtiembres, es decir el lugar donde se realiza el curtido de pieles de ganado vacuno para usarlo como cuero. Las industrias de curtiembre son altamente contaminantes por la descarga al ambiente de altos contenidos de materia orgánica, residuos ácidos que alteran el pH, efluentes con cromo total y entre otros que alcanzan niveles tóxicos, por lo que se requiere de urgente atención para minimizar su generación e impacto.

Por otro lado, al finalizar cada proceso realizan la disposición final de sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento para su reúso; lo que

genera un mayor costo a los empresarios de este rubro. En tal sentido, esta investigación pretende proponer un método eficiente y de bajo costo para el tratamiento de agua residual proveniente de las curtiembres mediante el uso de humedales artificiales.

## **1.2. Justificación**

La presente investigación tiene como finalidad brindar un tratamiento eficiente a los efluentes de curtiembre de la empresa “CURTIDURIA CRISMA” mediante un sistema de humedales artificiales. Los resultados de la investigación nos permitirán determinar el efecto de la totora (*Typha angustifolia*) y las escorias volcánicas en sistema de humedal artificial sub superficial en el tratamiento de efluentes de curtiembre. Ésta propuesta pretende ser una alternativa viable y de bajo costo para el tratamiento de los efluentes de curtiembre.

## **1.3. Delimitación del Proyecto**

El proyecto se realizará en el departamento de Arequipa, provincia de Arequipa, distrito Cerro Colorado Asociación Urbanizadora, y está delimitado a los efluentes de la empresa “CURTIDURIA CRISMA”.

## **1.4. Formulación del Problema**

¿De qué manera el uso de las totoras (*Typha angustifolia*) y escoria volcánica en sistemas de humedal artificial sub superficial (HASS) permitirá realizar un tratamiento adecuado de los efluentes de curtiembre de la empresa “CURTIDURIA CRISMA”, Arequipa?

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia del sistema de humedal artificial subsuperficial utilizando *Typha angustifolia* y escoria volcánica para en el tratamiento de efluentes de curtiembre de la empresa “CURTIDURIA CRISMA”, Arequipa.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Diseñar y construir humedales artificiales.
- Evaluar parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de las aguas residuales evaluadas: DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y cromo hexavalente.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

**MINCHOLA, J. & GONZÁLES, F. (2013).** Humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Los resultados de este estudio demostraron el potencial y la viabilidad del uso de un humedal artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas capaz de mitigar el impacto en la minera “Barrick”; como especie vegetal se utilizó la *Typha angustifolia*. La muestra lo constituyó el efluente entrada y salida del humedal.

Se determinó la concentración de DBO5 (mg/l), SST (mg/l), Coliformes fecales (NMP/100 ml), Coliformes totales (NMP/100 ml), pH, Temperatura (°C) y Oxígeno disuelto (OD) (mg/l) con respecto al tiempo de retención (TR) (días). También se determinó la remoción

porcentual DBO<sub>5</sub>, SST, Coliformes fecales, Coliformes totales y la tasa de incremento de oxígeno.

Los resultados permitieron estimar la eficiencia de remoción del DBO<sub>5</sub> (73,00%), SST (84,00%), Coliformes fecales (93,00%), Coliformes totales (86,00%), y la tasa de incremento de oxígeno disuelto fue del 18,73%. En general, los resultados de este estudio demostraron que los humedales artificiales son eficientes en la remoción de contaminantes e incremento de oxígeno disuelto.

**CAMPOS, C. (2013).** Análisis y mejora de procesos de una curtiembre ubicada en la ciudad de Trujillo (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. De esta investigación se resume que: El estudio presentó una serie de propuestas que buscan mejorar los procesos de fabricación de una curtiembre. La cual se encuentra ubicada en la ciudad de Trujillo y se dedica a la producción de planchas de cuero. Los principales problemas que se determinaron en la empresa fueron; los relacionados a las condiciones de trabajo, la falta de aprovechamiento de sus efluentes y la pérdida de tiempo que se genera al trasladar las mantas de cuero de una zona hacia otra.

Por tal motivo, uno de los objetivos de ésta investigación consistía en mejorar las condiciones de trabajo del operario, brindarle una mayor seguridad y satisfacción. Para lo cual se recurrió a herramientas ergonómicas para sus análisis de datos (métodos OWAS y REBA). Seguidamente, se buscó que los efluentes de la curtiembre sean

reutilizados hasta en cuatro oportunidades. Finalmente, se observó la pérdida de tiempo en la carga y descarga de mantas.

Se concluyeron que es rentables para la empresa (VPN=S/. 134 064 nuevos soles y TIR=65%). Además de que la inversión que se necesita está dentro de los rangos permitidos para la empresa (S/. 54 270 nuevos soles).

**SOTOMAYOR, R. (2006).** Tratamiento de los efluentes de la industria del cuero en la ciudad de Arequipa, (maestría). Universidad Alas Peruanas, Perú. Esta investigación consistió en el desarrollo de una propuesta que permita optimizar los procesos productivos, utilizando tecnologías alternativas bioquímicas para el tratamiento de sus aguas residuales. En ese sentido, se diseñaron humedales verticales a escala laboratorio, y como material vegetal se utilizó el Phragmites y Scirpus y como lecho filtrante se usó piedra gruesa (2"-4") y escoria volcánica. De acuerdo a los análisis cualitativos que se realizaron en la investigación las concentraciones de  $Cr^{+3}$  y  $Cr^{\circ}$  total eran elevadas, pero después del tratamiento quedó demostrado que no había presencia de cromo trivalente, ni de cromo total.

**CERÓN, P. (2011).** Estudio de un sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre, en la ciudad de Quito (tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Ecuador. Esta investigación consistió establecer las condiciones más adecuadas para llevar a cabo el tratamiento

físico-químico de los principales efluente de la curtiembre: pelambre, curtido y remojo de modo que se obtenga un efluente con concentraciones que cumplan la norma en cuanto a sulfuro y cromo y del cual se hay removido la mayor cantidad de materia orgánica y sólidos posible. Para ello, se determinó la relación de mezcla pelambre/curtido adecuada para lograr su neutralización, posteriormente se determinó la necesidad de la incorporación de un sistema de lechada de cal para la absorción del H<sub>2</sub>S removido; a los lodos obtenidos en el proceso de neutralización y que albergan el cromo se los sometió a un proceso de estabilización por solidificación con cemento. El efluente de remojo fue sometido a un proceso de coagulación floculación para remover materia orgánica y sólidos. Se obtuvieron porcentajes de remoción de sulfuro superiores al 99%, de cromo superiores al 98%, de materia orgánica alrededor del 70% y de sólidos suspendidos del 66% con un tiempo de sedimentación de los lodos de 6 días aproximadamente, para disminuir dicho tiempo se estudió la incorporación de un filtro lento que promovió la filtración superficial del efluente y que presentó características similares al que es sometido a sedimentación.

**DOTRO, G., TUJCHNEIDER, M., PARIS, O., FAGGI, A. & PIOVANO, P. (2009).** Tratamiento de efluentes de curtiembre con humedales construidos (tesis de pregrado).Universidad de Flores, Argentina. De esta investigación de resume que se realizaron estudios preliminares

para seleccionar el sustrato y determinar la tratabilidad del efluente con humedales construidos, y una caracterización hidrogeológica del sitio donde se emplazarán los humedales a escala piloto, demostrando con los resultados que tanto la piedra granítica como calcárea evaluadas son aptas para su uso en humedales construidos. Se construyeron nueve sistemas de humedales artificiales a escala de laboratorio a los cuales operó por 90 días con efluente de la curtiembre, obteniéndose remociones de material orgánica del 60% a pesar de tratar un efluente complejo; así mismo concluyeron que el sitio elegido para los humedales piloto presenta condiciones apropiadas desde el punto de vista climático, edáfico e hidrológico. Los resultados obtenidos fueron utilizados para el diseño y construcción de dos humedales a escala piloto.

## 2.2. Bases teóricas

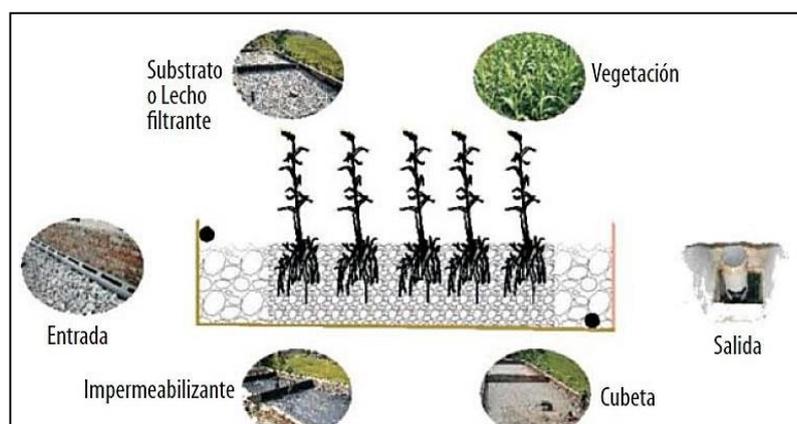
### 2.2.1. Humedal artificial (HA)

Un humedal artificial es una cubeta de poca profundidad rellena de algún tipo de material (substrato), generalmente arena o grava, y plantada con vegetación resistente a condiciones de saturación. Las aguas residuales se introducen en la cubeta y fluyen sobre la superficie o a través del substrato y son vertidas fuera de ésta a través de una estructura que controla la profundidad de dichas aguas en el interior del humedal (ONU-HABITAT, 2008).

Un humedal artificial está conformado por cinco componentes principales, tales como:

- Cubeta
- Substrato o Lecho filtrante
- Vegetación
- Membrana impermeabilizante
- Estructuras de entrada y salida

**Figura 1:** Componentes de un humedal artificial



**Fuente:** ONU-HABITAT, 2008.

La cubeta excavada se rellena con un sustrato permeable (se ha usado roca, grava, arena y suelo) y el nivel de agua se mantiene por debajo de la parte superior del sustrato, de tal manera que se produzca un flujo subsuperficial. Este sustrato da soporte a las raíces de los mismos tipos de vegetación emergente, plantada en la superficie superior del sustrato. Por medio de sistemas de estructuras de entrada y salida, se consigue que la distribución y recolección de aguas residuales sea homogénea. En caso de que sea importante proteger las aguas subterráneas, se debe usar una membrana impermeabilizante (ONU-HABITAT, 2008).

#### **i. Ventajas de los humedales artificiales: Entre las principales**

##### **ventajas mencionamos:**

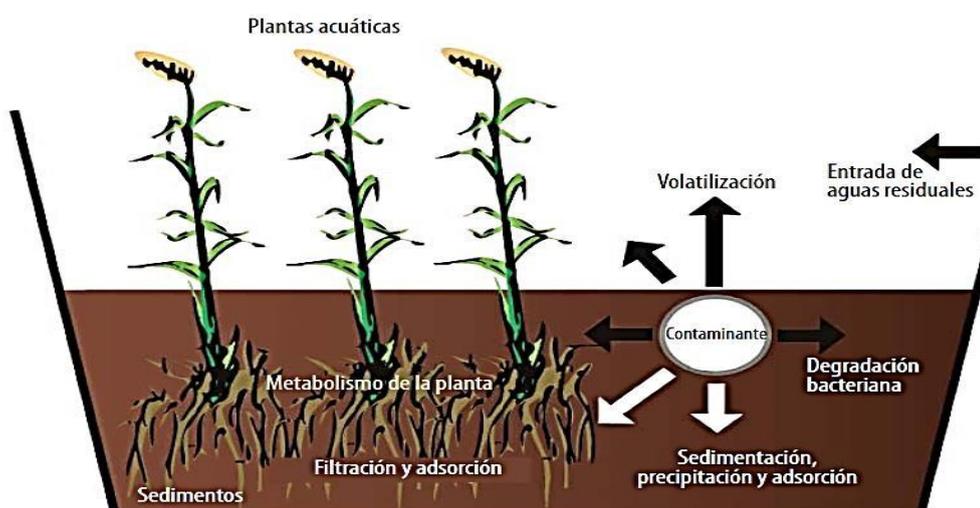
- Su construcción puede ser más barata que la de otras opciones de tratamiento
- Son procesos naturales
- Es de construcción sencilla (se pueden construir con materiales locales).
- Operación y mantenimiento sencillos,
- Son rentables (bajos costos de operación y mantenimiento),y tienen estabilidad en los procesos.

#### **ii. Limitaciones y desventajas de los humedales artificiales**

- Requieren un área amplia

- El tratamiento por medio de humedales puede resultar económico en comparación con otras opciones si existe terreno disponible y asequible
- Aún falta desarrollar los criterios de diseño para diferentes tipos de aguas residuales y climas.
- Un humedal artificial es un complejo entramado de aguas residuales, substrato y vegetación además de una selección de microorganismos (fundamentalmente bacterias).
- La vegetación juega un papel fundamental ya que proporciona una superficie y un medioambiente apropiados tanto para el crecimiento de los microbios como para la filtración.
- La remoción de los contaminantes dentro de los humedales se logra por medio de varios complejos procesos físicos, químicos y biológicos.

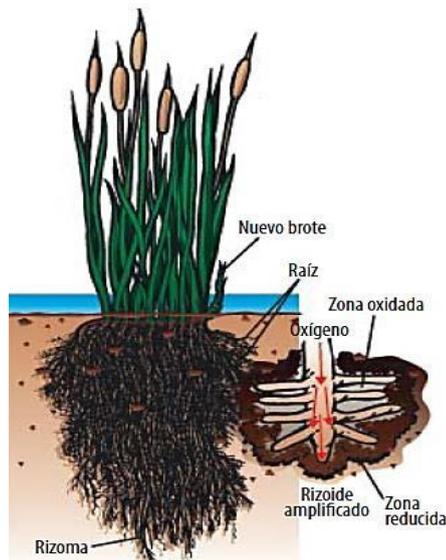
**Figura 2:** Mecanismos de remoción de contaminantes



**Fuente:** (adaptado de Wetteland International, 2003).

Tanto los sólidos en suspensión como los sedimentados que no son eliminados en el tratamiento primario son eliminados de forma efectiva en el humedal mediante filtración y sedimentación. Las partículas se sedimentan en microceldas estáticas o son forzadas por restricciones de caudal.

**Figura 3:** Transferencia de oxígeno desde las raíces



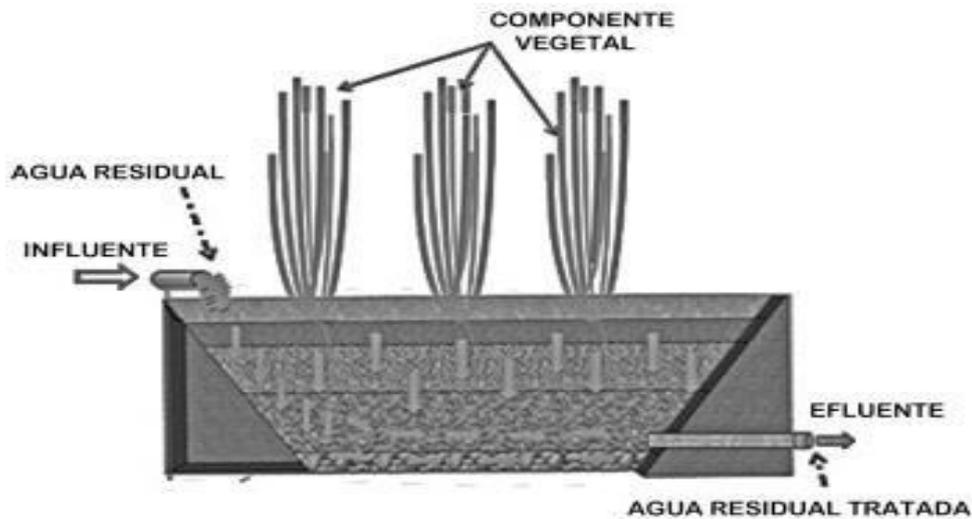
**Fuente:** Adaptado de Wetteland International, 2003.

El crecimiento microbiano tanto en suspensión como adherido es responsable de la remoción de compuestos orgánicos solubles, que son degradados biológicamente, tanto de forma aeróbica (en presencia de oxígeno disuelto) como anaeróbica (en ausencia de oxígeno disuelto). El oxígeno requerido para la degradación aeróbica es proporcionado directamente desde la atmósfera por difusión o por liberación desde las raíces de las plantas hacia la rizosfera. No obstante, la transferencia de oxígeno desde las raíces es insignificante.

### iii. Humedal artificial de flujo sub superficial (HASS)

En los sistemas de tipo HASS, el flujo de agua discurre de forma subterránea, favoreciendo que el agua a tratar no quede expuesta al ambiente y permiten la depuración de cargas elevadas de contaminantes orgánicos.

**Figura 4:** Esquema general de Humedal Artificial Subsuperficial (HASS)



**Fuente:** Adaptado de Wetteland International, 2003.

#### 2.2.2. Vegetación

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir

diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación (Arias, 2004).

De acuerdo a Lara (1999), las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

**Tabla 1:** Resumen de las características de las tres especies más utilizadas en los humedales artificiales

Nombre Científico	Familia	Nombre (s) Comunes (s)	Características Sobresalientes	Distancia de Siembra	Penetración de raíces en gravas	Temperatura		Salinidad	pH
						Deseable	Germinación	ppt	
<b><i>Thypha SPP</i></b>	Tifacea	Espadaña, Enea, Anea, Junco, Bayón, Bayunco, Bohorno, Henea, Junco de pasión, Maza de agua	Ubicua en distribución. Capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales. Se propaga fácilmente, capaz de producir una biomasa anual grande. Tiene potencial pequeño de remoción de N y P por la vía del poda y cosecha.	60cm	Relativamente pequeña (30 cm) por lo que no es recomendable para sistemas de flujo superficial	(10 - 30)	(12 - 24)	30	(4 - 10)
<b><i>Scirpus ssp</i></b>	Ciperácea	<b>Totora</b>	Carecen en grupo. Plantas ubicuas. Crecen en aguas costeras, anteriores salobres y humedales. Crecen bien en aguas desde 5cm hasta 3m de profundidad.	30cm	60cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	18 - 27		20	(4 - 9)
<b><i>Phragmytes ssp. Australis mas comun</i></b>	Gramínea	Carrizo	Anuales. Altos. Rizoma perenne extenso. Plantas acuaticas usadas mas extensas. Pueden ser mas eficaces en la transferencia de oxigeno porque sus rizomas penetran verticalmente y mas profundamente. Son muy usadas en humedales porque ofrecen un bajo valor alimenticio.	60cm	40cm por lo que es recomendable para sistemas	(12 - 23)	(10 - 30)	45	(2 - 8)

Fuente: Lara, 19

- ***Typha angustifolia***

La totora tiene su ubicación preferente en América del Sur, pero puede desarrollarse también en América Central y en las regiones más meridionales y cálidas de América del Norte. Esta especie se le denomina en distintos idiomas; en el castellano: Anea, enea, aceña, espadaña. Es una hierba perenne, acuática o semiacuática, erecta y rizomatosa. Las rizomas, robustas entre 8-10 cm bajo la superficie del suelo, pueden alcanzar hasta 70 cm de longitud y tiene entre 0,5 y 3 cm de grosor. Las raíces son abundantes y poco profundas. De cada brote vegetativo en los rizomas emergen de doce a dieciséis hojas basales, erectas, lineales, plantas, con 8 a 15 mm de anchura y 1 a 3 m de longitud de desarrollo pleno. Las hojas son de color verde grisáceo pálido, gruesas, con una sección transversal esponjosa, en forma D angular alargada, con parénquima (Mateo, 2005).

- **Exigencias climáticas y edáficas**

Crece a pleno sol o en sombra ligera; no tolera la sombra total. Soporta temperaturas de hasta -40°C. Se desarrolla en cualquier lugar con suelo mojado, saturado o encharcado la mayor parte del año, sin periodo prolongados de desecación; admite suelos ácidos o básicos, calizos o no. Puede establecerse en suelos pobres en materia orgánica, pero que se enriquecen mucho debido a la gran cantidad de residuos que se generan y acumulan (Mateo, 2005). Son hábitats muy adecuado, arroyos, ciénagas, riberas de lagos y estanques, estuarios marinos, cunetas, canales y desagües de riego, etc. Soporta perfectamente la inundación continua y las

deseccaciones estivales ligeras, pero generalmente está restringida a áreas con una lámina de agua que no supere los 80 cm como máximo: lo ideal es que no supere los 50 cm. Se desarrolla fundamentalmente en agua dulce, pero aparecen también aguas ligeramente salobres. Además admite mayores profundidades de agua, así como condiciones calcáreas, salinas y alcalinas (Mateo, 2005).

### **2.2.3. Remoción de materia orgánica**

La remoción de materia orgánica tiene lugar principalmente mediante biodegradación aeróbica o anaeróbica. Una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos.

La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos (Brix en Kolb, 1998).

Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes y elementos traza. De acuerdo a su fuente de nutrientes, están clasificados como heterótrofos o autótrofos. Los heterótrofos requieren material orgánico como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos, en cambio, los autótrofos no utilizan materia orgánica sino dióxido de carbono como fuente de carbono (Gray en Kolb, 1998).

Ambos grupos usan luz o una reacción química de oxidación-reducción como fuente de energía para todas las síntesis y son llamados fotótrofos y quimiótrofos, respectivamente (Cooper, 1996). Dos clases diferentes de biodegradación microbial, la aeróbica o la anaeróbica, tienen lugar en los humedales construidos, dependiendo de la presencia de oxígeno disuelto.

#### **2.2.4. Los microorganismos**

Se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Arias, 2004).

Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Asimismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera (Lara, 1999).

### 2.2.5. Sustrato

En los humedales, el sustrato llamado también medio granular, está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico (Arias, 2004).

La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos (Arias, 2004).

El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales de acuerdo a Lara (1999), son importantes por varias razones:

Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.

- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía para algunas de las más

importantes reacciones biológicas en el humedal (Lara, 1999).

El medio es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacciones físicas y químicas.

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende en el caudal de agua a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración, ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar (Arias, 2004).

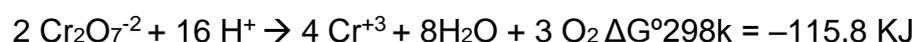
Por el contrario, si el lecho granular está formado por gravas y arenas, disminuye la capacidad de adsorción y el poder filtrador del medio, pero aumenta la conductividad hidráulica (Arias, 2004).

De forma indirecta, el medio granular contribuye a la eliminación de contaminantes porque sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora (biopelículas) (Arias, 2004).

#### **2.2.6. Proceso de absorción del cromo**

Los residuos provocados por la erosión de depósitos naturales y los efluentes industriales que contienen cromo (principalmente de las curtiembres) se incorporan a los cuerpos de aguas

superficiales. La forma química dependerá de la presencia de materia orgánica en el agua, pues si está presente en grandes cantidades, el cromo VI se reducirá a cromo III, que podrá ser absorbido por las partículas o formar complejos insolubles (Metcalf y Eddy, 1995).



Estos complejos pueden permanecer en suspensión y ser incorporados a los sedimentos. La proporción de cromo III es directamente proporcional a la profundidad de los sedimentos (Metcalf y Eddy, 1995).

En teoría, el cromo VI puede resistir en este estado en aguas con bajo contenido de materia orgánica, mientras que con el pH natural de las aguas, el cromo III formará compuestos insolubles, a menos que se formen complejos. Se desconoce la proporción relativa de cromo III y cromo VI en las aguas (Metcalf y Eddy, 1995).

El mecanismo de cómo actúan las plantas acuáticas se produce a través de formaciones de complejos entre el metal pesado (cromo) y los aminoácidos presentes dentro de la célula, previa absorción de estos metales a través de las raíces (Metcalf y Eddy, 1995).

Otro posible mecanismo sugiere que los microorganismos presentes en las raíces producen sólidos que flocculan y luego sedimentan por gravedad (Novotny y Olem, 1994).

## **2.3. Marco Conceptual**

### **i. Curtiembre**

El término curtiembres, es un sinónimo de la palabra curtiduría que viene a definir al lugar donde se realiza el curtido o lo que es lo mismo el proceso mediante el cual las pieles de diversos animales son convertidas en cuero. Es, por tanto, la industria o taller donde se llevan a cabo las diversas tareas que componen el mencionado procedimiento de transformación. En concreto, el mismo se compone de cuatro fases: la limpieza, el curtido, el recurtimiento y el acabado (Aida, F. (1992).

### **ii. Los humedales artificiales**

Los humedales artificiales se han implementado para tratar aguas domésticas y municipales, aguas industriales y de crianza de animales, escorrentías de agua de lluvia y urbanas, drenaje ácido de minas, remediación de agua subterránea y otras aplicaciones. (Kadlec y Wallace, 2009).

### **iii. Los humedales artificiales de flujo sub superficial**

Los humedales de flujo subsuperficial consisten en una tecnología natural de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales, la depuración se consigue gracias a varios fenómenos físicos, químicos y biológicos, tanto en el relleno sólido (substratos), como en la parte del rizoma de las plantas, estas plantas macrófitas acuáticas emergentes realizan varias funciones entre las que se destacan el transporte de gases desde la atmósfera hacia los sustratos (Lucas, 2005).

#### **iv. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación bioquímica, de los compuestos orgánicos degradables existentes en el líquido residual. Fijando ciertas condiciones de tiempo y temperatura, por ejemplo, en 5 días y a 20 °C (Perry, 2000).

#### **v. Demanda química de oxígeno (DQO)**

Expresa la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química de la materia orgánica. Generalmente es mayor que el valor de la DBO<sub>5</sub>, porque suele ser mayor el número de compuestos que se oxidan por vía química que biológica, ante la presencia de un oxidante fuerte como los dicromato. La fijación química se debe al oxígeno consumido por los cuerpos reductores sin intervención de organismos vivos, esto es común en los efluentes industriales. Es una característica cuantificable del grado de contaminación del agua por la presencia de sustancias orgánicas mensurando la cantidad de oxígeno necesario para su oxidación (Chamy, 2005; Clesceri, 1992).

#### **vi. Cromo hexavalente (Cr (VI))**

El cromo hexavalente es un agente oxidante fuerte que muestra efectos negativos a la salud, lo cual la hace una especie peligrosa. Las especies principales de cromo hexavalente en medio acuoso son principalmente cinco:  $H_2CrO_4/HCrO_4^-$ ;  $CrO_4^{2-}$ ;

$HCr_2O_7^-/Cr_2O_7^{2-}$ ; su presencia depende del pH (Miretzky y Cirelli, 2010).

### **vii. Sólidos suspendidos totales (SST)**

Los sólidos suspendidos totales (SST), se consideran como la cantidad de residuos retenidos en un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro nominal de 0.45 micras y hace referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual (CAN, 2005).

## **CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA**

### **2.4. Ámbito espacial**

#### **i. Ubicación de la curtiembre “CURTIDURIA CRISMA”**

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa “CURTIDURIA CRISMA”, que se localiza en la Asociación Urbanizadora Peruarbo Sector Perú II, Mz. A4, Lt. 9 del distrito Cerro Colorado perteneciente a la provincia de Arequipa del departamento de Arequipa.

### **2.5. Diseño del sistema de humedales**

Se diseñaron los 04 humedales subsuperficiales de acuerdo a la metodología establecida por Lara en el año 1999. Para llevar a cabo el dimensionamiento de los humedales subsuperficiales se tuvo como factor limitante el área de construcción de los mismos, debido a que la

empresa no contaba con espacio suficiente. De esta forma se tuvieron que diseñar en base al espacio indicado por la empresa CURTIDURÍA CRISMA.

El espacio disponible para dimensionar los 04 humedales artificiales fue (Ver Anexo XIII):

- Ancho: 1.5m
- Largo: 6m

Un área de 1.5 m de ancho y 2.55 m de largo se dispuso para construir los 04 humedales, la diferencia de espacio fue para la implementación del pretratamiento, específicamente para un tanque sedimentador y un tanque de almacenamiento (Ver Anexo I).

#### **i. Sistema de pretratamiento**

La implementación del sistema de pretratamiento consta de los siguientes componentes:

- Camas de rejas gruesas  
Cantidad: 02 unidades.
- Camas de rejas finas  
Cantidad: 02 unidades.
- Poza de bombeo a base de concreto.  
Capacidad: 1000L
- Tanque de sedimentación, tolva industrial base cónica  
Capacidad: de 600L
- Tanque de almacenamiento o alimentación.  
Capacidad: 600L

## **ii. Sistemas de tratamiento**

Consistió en 02 humedales subsuperficiales artificiales:

- **Tratamiento 1(T<sub>1</sub>) y Tratamiento 2 (T<sub>2</sub>):** Se construyeron los 02 humedales artificiales subsuperficiales a base de concreto (ladrillo y cemento) (Ver Anexo II).

A cada humedal se incorporó una tubería de drenaje en el fondo; las que actúan como colectores de las aguas tratadas; a su vez se instalaron mallas finas de plástico como filtros para impedir que los residuos sólidos y pequeñas gravas puedan pasar por el tubo causando posibles estancamientos (Ver Anexo III).

La primera capa de los humedales fue implementada utilizando escorias volcánicas, recubriéndolas después con mallas finas de plástico. Los ejemplares de totoras se colocaron de manera que estuvieran distribuidos por toda el área del humedal (3x6 filas), dándole un soporte a cada uno de ellos. Finalmente, se colocó otra capa fina a base de confitillo para recubrir los vacíos de todo el área del humedal y evitar la proliferación de larvas (Ver Anexo IV).

- **Control 1(C<sub>1</sub>)**

Se instalaron las tuberías con la misma lógica que los T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>. Posteriormente, se incorporaron los medios filtrantes como la escoria volcánica y confitillo sin el material vegetal (Ver Anexo III).

- **Control 2 (C<sub>2</sub>)**

Se colocaron los ejemplares de totoras y como soporte se colocaron piedras llamadas cantos rodados.

**Figura 5:** Construcción de los humedales



**iii. Análisis**

Se determinó el periodo de retención del agua residual en el humedal artificial subsuperficial, según (Reed et al, 1995).

El tiempo de retención hidráulica en los humedales fue calculado usando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{L * W * d * n}{Q}$$

**Dónde:**

L: Longitud del estanque. (m)

W: Ancho del estanque. (m)

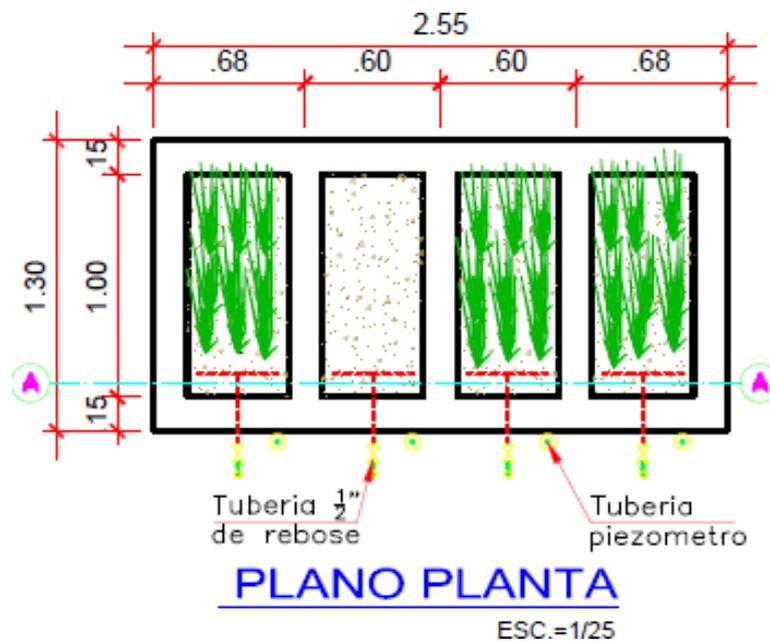
d: profundidad del agua en el estanque. (m)

n: porosidad, o espacio utilizado por el agua para fluir a través del humedal. La porosidad es un por ciento y se expresa en forma decimal.

Q: Flujo promedio a través del humedal. ( $m^3/d$ )

De acuerdo al espacio disponible, el área estuvo distribuida de la siguiente manera:

**Figura 6:** Plano del diseño de humedales



**Fuente:** Elaboración propia

De la imagen ello se tiene:

- L: 0.45 (m)
- W: 1 (m)
- d: 50. (m)

Según la Caracterización Mecánica de la Escoria Volcánica (Tezontle), de la Zona de Morelia, Michoacán, México se tiene que la porosidad de la escoria es 21.1% aproximadamente (Chávez C. y Arreygue E., 2011).

**Tabla 2:** Características físicas y mecánicas de la escoria volcánica.

<b>ESCORIA VOLCÁNICA</b>	<b>BANCO 1</b>
Densidad relativa aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	2.05
Densidad relativa de sólidos (SS)	2.642
Peso específico de las partículas (gr/cm <sup>3</sup> )	2.176
<b>Porosidad (%)</b>	<b>21.1</b>
Índice de resistencia de carga puntual (kg/cm <sup>2</sup> )	46.3

▪ **Determina el periodo de retención**

$$t = \frac{L * W * d * n}{Q} \quad t = \frac{0.45m * 1m * 0.5m * 21.1}{Q}$$

Teniendo en cuenta la información técnica disponible en la empresa Curtiduría CRISMA el flujo promedio (Q) es **2m<sup>3</sup>/d**. Entonces, reemplazando este valor en la fórmula anterior, tenemos:

$$t = \frac{0.45m * 1m * 0.5m * 21.1}{2m^3/d}$$

$$t = 2.37 \text{ días}$$

▪ **Determinación de caudal a cada humedal**

Según el flujo promedio se calculó el caudal instantáneo que ingresará a cada humedal artificial, tomando en cuenta que el horario de trabajo del humedal es las 24 horas. Teniendo en cuenta que el flujo promedio (Q) es 2m<sup>3</sup>/D, se realizó la conversión de unidades de m<sup>3</sup>/día a ml/s:

$$Q = \frac{2000L}{D} * \frac{D}{24H} * \frac{H}{3600S} * \frac{1000ml}{L}$$

$$Q_{instantaneo} = \frac{23.14ml}{s}$$

▪ **Calculo de la eficiencia del Humedal Artificial**

A partir de datos obtenidos en sistemas que se encuentran en operación (Reed et al, 1995), plantean que la ecuación (1) puede ser aplicada para el diseño de estos sistemas:

$$\frac{C}{C_0} = \exp(-K_T * t) \dots (1)$$

Dónde:

C: concentración del efluente (mg/l)

C<sub>0</sub>: concentración del afluente (mg/l)

K<sub>T</sub>: constante de 1er orden en función de la temperatura (d<sup>-1</sup>)

t: tiempo de retención hidráulica (días)

**Siendo constante de Primer Orden**

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(T-20)} \dots (2)$$

La temperatura promedio para este proyecto es de 14 °C, correspondiente al valor medio de temperatura ambiente de la zona geográfica en la que se sitúa el proyecto.

Reemplazando en la ecuación (2)

$$K_T = 1.104(1.06)^{(14-20)}$$

$$K_T = 0,778 \text{ d}^{-1}$$

Una vez identificado este valor se procede a calcular el valor de la concentración del efluente con la ecuación (1) teniendo en

cuenta que se tiene como dato  $C_o=765\frac{mg}{l}$  (Ver anexo XIV), dato

del proyecto.

$$\frac{C}{C_o}=\exp(-K_T*t) \dots\dots(1)$$

$$C=765 \exp(-0,778 \text{ d}^{-1}*2.37\text{d})$$

$$C=45.46\frac{mg}{l}$$

### La determinación de la eficiencia del humedal artificial

$$E\%=\frac{C_o-C}{C_o} \dots\dots(3)$$

$$E\%=\frac{470.7-45.46}{470.7}$$

$$E\%=\frac{470.7-45.46}{470.7}$$

**E%=90.34% promedio.**

Las eficiencias identificadas para el sistema de humedales artificiales en función de la remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) resultan óptimas para su implementación.

#### iv. Lógica del funcionamiento del sistema de humedales artificiales

El agua residual proveniente de los 02 botales son canalizados mediante un canal hecho de concreto, cuyas dimensiones fueron (Ver Anexo XIII):

- Profundidad: 0.20m
- Largo: 7.35m
- Ancho: 0.35m

Se colocaron en el canal 02 rejas gruesas y 02 rejas finas, con el objetivo de separar el material sólido como pelos, nervios, entre otros; su limpieza es de forma manual.

El efluente se canaliza hacia una cámara de captación de capacidad 468

L. Dimensiones de la cámara de captación:

- Profundidad: 0.60 m útiles
- Largo: 1.20 m
- Ancho: 0.65 m

Por rebose ingresa a una poza de bombeo, donde está instalada una bomba sumergible de 2 HP. Las dimensiones de la poza de bombeo fueron (Ver Anexo IX):

- Profundidad: 1.30m útiles
- Largo: 1m
- Ancho: 1m

Se bombea el agua hacia una tolva cónica (digestor de rotoplas) de capacidad de 600L, por la forma que tiene sedimenta el lodo proveniente del agua residual, el lodo que finalmente se dispone hacia un lecho secado (Ver Anexo VIII).

En serie se conecta a otra tolva cónica de capacidad de 600L, que recibe los efluentes de la primera tolva, además es utilizado como un tanque de alimentación para los humedales artificiales (ver Anexo X). Las conexiones de tuberías de  $\frac{1}{2}$  pvc se conectan al tanque de alimentación, cuya función consiste en alimentar a los humedales a un caudal instantáneo y constante de 23.14 ml/s (Ver Anexo VII).

El agua residual tarda 2.3 días aproximadamente para pasar por el humedal artificial subsuperficial que contiene como medio filtrante a la escoria volcánica y como material vegetal a la totora, que en su tallo y su sistema radicular se generan los sitios para la fijación de

microorganismos que se encargan de degradar la carga orgánica del efluente; además oxigena el espacio poroso del medio filtrante mediante el escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de la totora. Después del periodo de retención el efluente sale del humedal mediante tres niveles de tuberías que están instaladas, nivel bajo, medio y alto. Estas aguas son canalizadas mediante tuberías de pvc hacia el sistema de alcantarillado (Ver Anexo X).

v. **Costo de proyecto**

**Tabla 3:** Presupuesto de la Investigación

<b>PRESUPUESTO DE LA INVESTIGACIÓN</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO (S./)</b>	<b>P. TOTAL (S./)</b>
<b>MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN</b>					
1	Tanque de 600L	Unidad	2	500,00	S/. 1.000,00
2	Ladrillos	Unidad	480	1,30	S/. 624,00
3	Accesorios: Codos, Tees, Uniones, Tapones	Unidad	70	4,00	S/. 280,00
4	Cemento	Bolsas	10	17,00	S/. 170,00
5	Bomba Sumergible 2HP	Unidad	1	780,00	S/. 780,00
6	Tuerveria de pcv 2"	m	6	8,00	S/. 48,00
7	Tuberia de pcv 1/2"	Unidad	6	6,00	S/. 36,00
8	Typha Angustifolia	Unidad	32	1,00	S/. 32,00
9	Escoria volcánica	Kg	80	1,50	S/. 120,00
10	Pintura	Unidad	2	8,00	S/. 16,00
11	Sierra Metálica	Unidad	2	10,00	S/. 20,00
12	Pegamento	Litros	1	14,00	S/. 14,00
13	Teflón	Unidad	4	2,50	S/.10,00
14	Mano de Obra	Unidad	1	275,00	S/.275,00
<b>LABORATORIO</b>					
15					
16	Análisis de muestras 1	Unidad	4	325,00	S/. 1.300,00
17	Análisis de muestras 2	Unidad	4	325	S/. 1.300,00
<b>GASTOS GENERALES</b>					
18					
19	Servicio de Transporte de materiales	Unidad	2	50	S/. 100,00
20	Viáticos	Unidad	2	1500	S/. 3.000,00
<b>TOTAL</b>					S/. 9.125,00

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4:** Producción de agua residual en procesos de curtido-CURTIDURIA CRISMA

PRODUCCIÓN MES	Agua requerida en la producción del cuero (m <sup>3</sup> /Día)	Producción de agua residual al mes (m <sup>3</sup> ) (20 días de trabajo)
PELAMBRE	2m <sup>3</sup> /D	25
CURTIDO		10
CROMADO		5
	Total	40

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 5:** Producción de agua tratada en el sistema Humedales Artificiales Subsuperficiales -CURTIDURIA CRISMA

PRODUCCIÓN MES	Eficiencia de humedal-promedio	Cantidad de ingreso	Consumo de agua al mes (m <sup>3</sup> )
Tratamiento 1(T <sub>1</sub> )	90.34%	10m <sup>3</sup>	9
Tratamiento 2(T <sub>1</sub> )		10m <sup>3</sup>	9
Control 1(C <sub>1</sub> )		10m <sup>3</sup>	9
Control 2(C <sub>2</sub> )		10m <sup>3</sup>	9
		TOTAL	36

**Fuente:** Elaboración propia

#### vi. Costo de transformación

**Tabla 6:** Costos de insumos para el tratamiento de agua residual de la curtiembre CURTIDURIA CRISMA

Costos de insumos para el tratamiento de agua residual de la curtiembre CURTIDURIA CRISMA	Mensual	
	(soles)	(US\$)
ENERGIA (Recibo)	S/.200.00	\$61.54
INSUMOS QUÍMICOS	S/.0.00	\$0.00
AGUA (recibo)	S/.500.00	\$153.85
PLANILLA	S/.1,000.00	\$307.69
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	S/.80.00	\$24.62
DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS	S/.825.00	\$253.85
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/.2,605.00</b>	<b>\$801.54</b>
Costo Unitario de Producción de agua (US\$/M <sup>3</sup> )		\$22.26
<b>Costo del agua tratada en el humedal artificial (Soles/Litro)</b>		<b>S/. 0.07</b>

**Fuente:** Elaboración propia

## RESULTADOS

En la Tabla N° 3, se muestra los porcentajes de remoción de parámetros de importancia analizados (SST, DBO<sub>5</sub>, DQO y Cromo Hexavalente) de la poza de bombeo y en la línea de salida de los humedales artificiales (Ver Anexo XIV).

**Tabla 7:** Resultados obtenidos de los parámetros evaluados del efluente de curtiembre y después del procedo de tratamiento mediante humedales artificiales.

<b>Parámetros Analizados</b>	<b>Efluente de curtiembre -poza de bombeo</b>	<b>Salida de Humedal Artificial (tratamiento 02-T<sub>2</sub>)</b>	<b>Salida de Humedal Artificial (tratamiento 01-T<sub>1</sub>)</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) mg/L	765	674	702
Sólidos Suspendidos Totales (SST) mg/L	407	98	163
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L	1174	1252	1383
Cromo Hexavalente mg/L	0.034	0.029	0.051
Temperatura ° C	18.0	17.0	17.0

**Fuente:** informe de ensayos n° 0963-2017, BHIOS LABORATORIOS

- En base a los resultados obtenidos por el laboratorio, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de la poza de bombeo fue 765 mg/L reduciéndose después de los humedales en 11.9% esto en relación a T<sub>2</sub> y a T<sub>1</sub> en 8.24%.
- Según los análisis cuantitativos realizados por el laboratorio BHIOS LABORATORIOS, la concentración inicial de Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T) fue 407mg/L, pero después del tratamiento empleado por

los sistemas de humedales artificiales, podemos indicar que hubo una reducción en 75.92% en relación a T<sub>2</sub> y en T<sub>1</sub> en 59.95% .

- Según los resultados obtenidos en el laboratorio, concentración inicial en la poza de bombeo de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue 1174mg/L, ésta cantidad se incrementó después de los humedales artificiales en un 6.64% en T<sub>1</sub> y en T<sub>2</sub> en 17.80%, debido a que una parte de las plantas se marchitaron y pierden parte de su capacidad de depuración.
- Para cromo hexavalente se determinó la concentración inicial de 0.034mg/L en la poza de bombeo, observando así una remoción en 14.71% en T<sub>2</sub> y en T<sub>1</sub> se observó un incremento en 50% con respecto a la concentración inicial.

## CONCLUSIONES

- El empleo de la totora (*Thypha angustifolia*) y escoria volcánica en el humedal artificial subsuperficial, permitió reducir los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en 75.92% en relación a tratamiento 2(T<sub>2</sub>) y en tratamiento 59.95% para el tratamiento 1(T<sub>1</sub>), respectivamente; demostrando la eficiencia de la utilización de éstos componentes.
- El empleo de la totora (*Thypha angustifolia*), la escoria volcánica y las dimensiones elegidas permitió diseñar un humedal artificial.
- La evaluación de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Cromo Hexavalente permitió caracterizar fisicoquímicamente la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales con el empleo del humedal artificial.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar la totora cubriendo un área superficial mayor que permita elevar la eficiencia de depuración.
- Realizar un número mayor de tomas de muestras y los respectivos análisis de evaluación de los parámetros fisicoquímicos.
- Realizar las toma de muestra a los controles 1(C<sub>1</sub>) y control 2(C<sub>2</sub>) para determinar con exactitud la eficiencia e influencia de *Typha angustifolia* y escoria volcánica en la remoción de los parámetros como DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y Cromo hexavalente.
- Considerar los lodos generados en el pretratamiento como residuos peligrosos pues contienen metales pesados y otros productos químicos precipitados utilizados en el proceso de curtido de cuero.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aida, F. (1991) Tecnología del cuero, Buenos Aires, Argentina, Editorial Albatros.
- Arias, O. (2004). Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial, Tesina, Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental, Barcelona.
- COMUNIDAD ANDINA. Manual de Estadísticas Ambientales. CAN: Santa Cruz de la Sierra, 2005. p. 31-45.
- Ceron P.(2011). Estudio de un sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre, Tesis, Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales. Quito,
- Clesceri L. Greenberg A. Rodees R. (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation. Madrid: Díaz de Santos S. A. 17a edición.
- Chamy R. Carrera, J. Jeison D. y Ruiz G., (2005). Avances en biotecnología ambiental: Tratamiento de residuos líquidos y sólidos. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Universitarias de Valparaíso S.A.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Luis, F., Pérez, A. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia.
- Kadlec, R. H. & Wallace, S. (2009). Treatment Wetlands. CRC Press. 2nd Edition. Pág. 1016. Boca Ratón. Florida, USA.
- Dotro, G., Tujchneider, O., Paris, M., Faggi, A., Piovano, N. (2009). Tratamiento de efluentes de curtiembre con humedales construidos, Universidad de Flores. Argentina.

Lagos, L. (2016). Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local, Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Kadleck, R., Knight, R., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. y Haberl, R. (2000). Constructed wetlands for pollution control: Processes, performance, design and operation, IWA Specialist Group on use of Macrophytes in Water Pollution Control, IWA Publishing.

Kolb, P. (1998). Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós, Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur, Universität für Bodenkultur.

Lara, J. (1999). Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales, Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña -Instituto Catalán de Tecnología, Barcelona.

Mera, R. (2010). Gestión Ambiental para minimizar la contaminación generada por la industria de curtiembre en el distrito de El Porvenir, Tesis, Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Perú.

Mateo, M. (2005) Cultivos agrícolas. En Prontuario de agricultura (440-447). Madrid: Mundi-Prensa.

Llegas, A., Guadalupe, E. (2006). diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, 15(17):85-96. Perú.

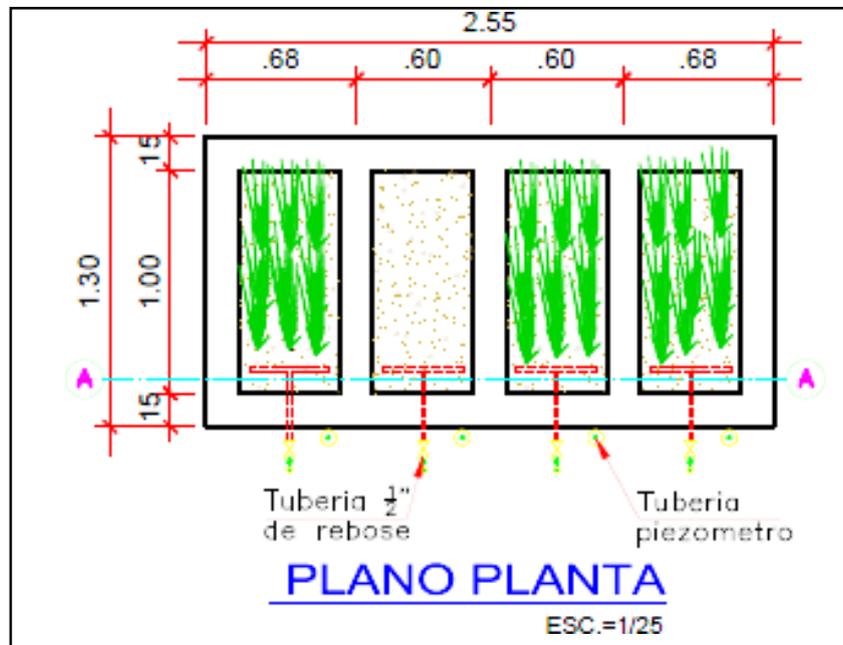
ONU-HABITAT. (2008). Manual de Humedales Artificiales. Programa Agua para las ciudades asiáticas de ONU-HABITAT, Nepal, Katmandú.

Perry, R. (2000). Manual del Ingeniero Químico; 7.a ed.; Editorial Mc Gras Hill; Revista de Ciencia y Tecnología.

REED S.C., Natural Systems for waste management and treatment. 2da edición  
Mcgraw Hill, New York 1995.

## ANEXOS

### Anexo I: Plano de los humedales artificiales



### Anexo II: Construcción de los humedales artificiales



### Anexo III: Instalación de los colectores de agua tratada en los humedales subsuperficiales



### Anexo IV: Medio filtrante y material vegetal



**Anexo V: Distribución de *Typha angustifolia* en el humedal artificial subsuperficial**



**Anexo VI: *Typha angustifolia***



## Anexo VII: Instalación de alimentación de agua y desagüe de los humedales artificiales



**Anexo VIII: Instalación de las tolvas cónicas de rotoplas (biodigestores)**



### Anexo IX: Instalación de la bomba sumergible en la cámara de bombeo



### Anexo X: Sistema de instalación completa



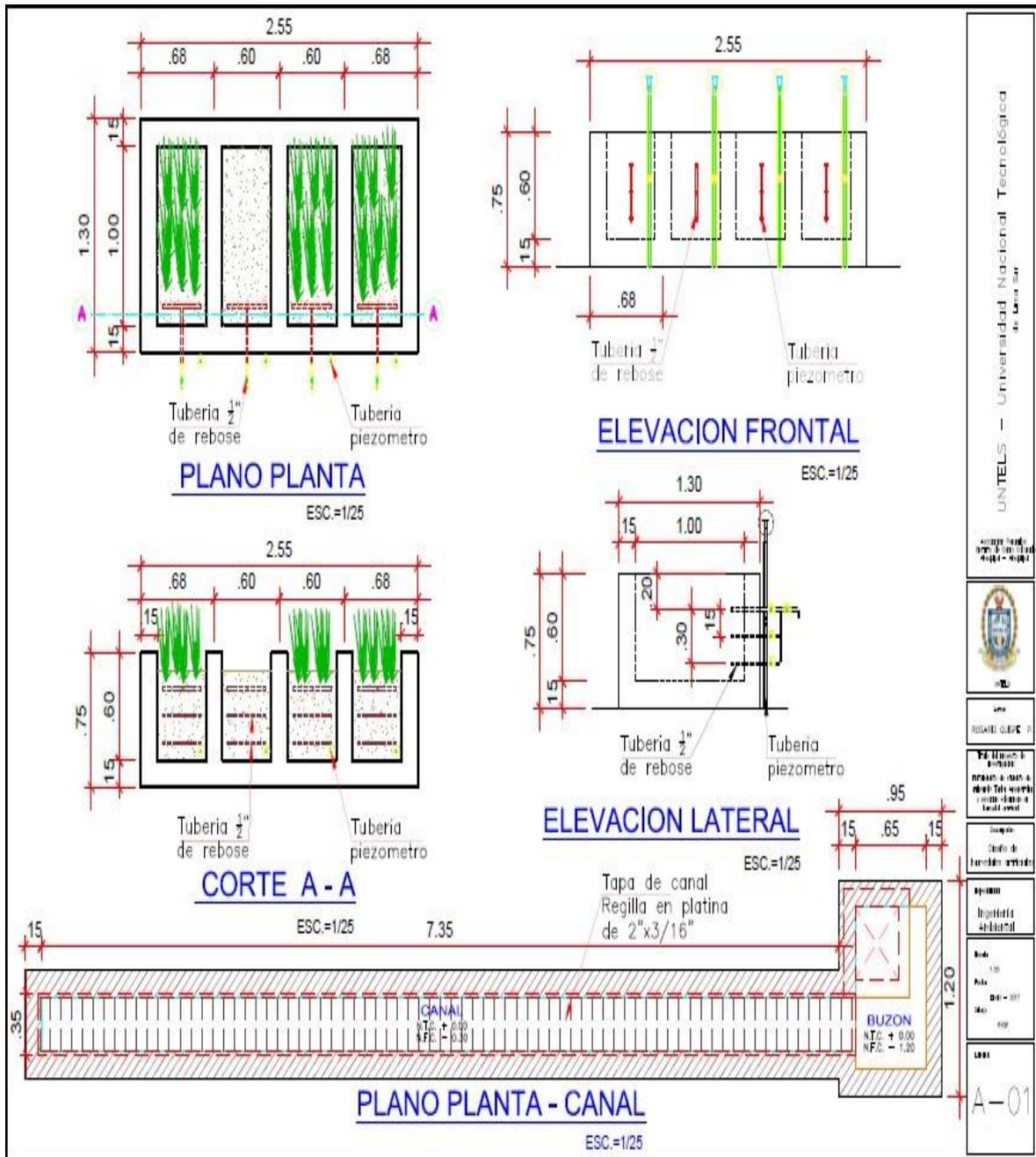
### Anexo XI: Muestreo de agua



### Anexo XII: Muestra de la salida del humedal artificial y poza de bombeo



### Anexo XIII: Planos del humedal artificial subsuperficial



UNTELS - Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur



Escuela de Ingeniería Ambiental

Curso de Fundamentos de Ingeniería Ambiental

Docente: Ing. [Nombre]

Alumno: [Nombre]

Fecha: [Fecha]

Grado: [Grado]

Curso: [Curso]

Nota: [Nota]

Calificación: [Calificación]

Fecha: [Fecha]

UNTELS

**Anexo XIV: Resultados de laboratorio del muestreo y análisis de los parámetros (DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y Cromo hexavalente)**



**INFORME DE ENSAYOS N° 0965-2017  
PÁGINA 02 DE 04**

**RESULTADOS DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE DE CURTIEMBRE POZA DE BOMBEO – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO TYPHA ANGUSTIFOLIA Y ESCORIAS VOLCÁNICAS EN HUMEDAD ARTIFICIAL" (H-3)	UNIDADES
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	785	mg/L

**ABREVIATURAS:**

- mg/L : miligramos por litro de muestra

**OBSERVACIONES**

- Ninguna

**MÉTODOS UTILIZADOS:**

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000. 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 day BOD Test. Pag.5-2 a 5-7. 22<sup>nd</sup> Ed. 2012.

**FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS:** 08-13 / 03 / 2017

**INFORME DE ENSAYOS N° 0965-2017  
PÁGINA 03 DE 04**

**RESULTADOS FISCOQUÍMICOS**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE DE CURTIEMBRE POZA DE BOMBEO – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO TYPHA ANGUSTIFOLIA Y ESCORIAS VOLCÁNICAS EN HUMEDAD ARTIFICIAL" (H-3)	UNIDADES
Sólidos Suspendedos Totales	407	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1174	mg/L
Cromo Hexavalente	0.034	mg/L

**ABREVIATURAS:**

- mg/L : Miligramos por litro de muestra

**OBSERVACIONES**

- Ninguna

**MÉTODOS UTILIZADOS:**

- Sólidos Suspendedos Totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2540-D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C. Pag. 4. 22<sup>nd</sup> Ed. 2012.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5000 Method 5220 D. Chemical Oxygen Demand (COD).Closed Reflux, Colorimetric Method. Pag. 5-6. 22<sup>nd</sup> Ed. 2012
- Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3500-Cr B. Chromium. Colorimetric Method. Pag.1-3. 22<sup>nd</sup> Ed. 2012.

**FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS:** 08-14 / 03 / 2017

**INFORME DE ENSAYOS N° 0965-2017**  
**PÁGINA 04 DE 04**

**RESULTADOS DE MEDICIONES EN CAMPO**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE DE CURTIEMBRE	
	POZA DE BOMBEO – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO TYPHA ANGUSTIFOLIA Y ESCORIAS VOLCÁNICAS EN HUMEDAD ARTIFICIAL" (H-3)	UNIDADES
Temperatura	18.0	° C

**ABREVIATURAS:**

- ° C : Grados Celsius

**OBSERVACIONES:**

- Ninguna

**MÉTODOS UTILIZADOS:**

- Temperatura : NTP 214.050:2013 Calidad de agua. Determinación de la Temperatura en Agua

**FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS:** 08 / 03 / 2017

**NOTAS IMPORTANTES**

- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características puedan variar durante el almacenamiento

**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:** 15 / 03 / 2017

**INFORME DE ENSAYOS N° 0964-2017**  
**PÁGINA 02 DE 04**

**RESULTADOS DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE DE CURTIEMBRE	
	LÍNEA DE SALIDA DE HUMEDAD ARTIFICIAL DE TRATAMIENTO 02 – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO TYPHA ANGUSTIFOLIA Y ESCORIAS VOLCÁNICAS EN HUMEDAD ARTIFICIAL" (H-2)	UNIDADES
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	674	mg/L

**ABREVIATURAS:**

- mg/L : miligramos por litro de muestra

**OBSERVACIONES**

- Ninguna

**MÉTODOS UTILIZADOS:**

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000. 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 day BOD Test. Pag.5-2 a 5-7. 22<sup>nd</sup> Ed. 2012.

**FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS:** 08-13 / 03 / 2017

**INFORME DE ENSAYOS N° 0964-2017**  
**PÁGINA 03 DE 04**

**RESULTADOS FÍSICOQUÍMICOS**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE DE CURTIEMBRE	
	LÍNEA DE SALIDA DE HUMEDAD ARTIFICIAL DE TRATAMIENTO 02 – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO <i>TYPHA ANGUSTIFOLIA</i> Y ESCORIAS VOLCÁNICAS EN HUMEDAD ARTIFICIAL" (H-2)	
UNIDADES		
Sólidos Suspendedos Totales	98	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1252	mg/L
Cromo Hexavalente	0.029	mg/L

**ABREVIATURAS:**

- mg/L : Miligramos por litro de muestra

**OBSERVACIONES**

- Ninguna

**MÉTODOS UTILIZADOS:**

- Sólidos Suspendedos Totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2540-D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C. Pag. 4. 22nd Ed. 2012.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5000 Method 5220 D Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method. Pag. 5-6. 22nd Ed. 2012
- Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3500-Cr B. Chromium. Colorimetric Method. Pag. 1-3. 22nd Ed. 2012.

FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: 08-14 / 03 / 2017

**INFORME DE ENSAYOS N° 0964-2017**  
**PÁGINA 04 DE 04**

**RESULTADOS DE MEDICIONES EN CAMPO**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE DE CURTIEMBRE	
	LÍNEA DE SALIDA DE HUMEDAD ARTIFICIAL DE TRATAMIENTO 02 – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO <i>TYPHA ANGUSTIFOLIA</i> Y ESCORIAS VOLCÁNICAS EN HUMEDAD ARTIFICIAL" (H-2)	
UNIDADES		
Temperatura	17.0	° C

**ABREVIATURAS:**

- ° C : Grados Celsius

**OBSERVACIONES:**

- Ninguna

**MÉTODOS UTILIZADOS:**

- Temperatura : NTP 214.050:2013 Calidad de agua. Determinación de la Temperatura en Agua

FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: 08 / 03 / 2017

**NOTAS IMPORTANTES**

- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características puedan variar durante el almacenamiento

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS: 15 / 03 / 2017

**INFORME DE ENSAYOS N° 0963-2017**  
**PÁGINA 02 DE 04**

**RESULTADOS DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE DE CURTIEMBRE	
	LÍNEA DE SALIDA DE HUMEDAD ARTIFICIAL DE TRRATAMIENTO 01 – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO <i>TYPHA ANGUSTIFOLIA</i> Y ESCORIAS VOLCÁNICAS EN HUMEDAD ARTIFICIAL" (H-1)	UNIDADES
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	702	mg/L

**ABREVIATURAS:**

- mg/L : miligramos por litro de muestra

**OBSERVACIONES**

- Ninguna

**MÉTODOS UTILIZADOS:**

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5000. 5210-B Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5 day BOD Test. Pag.5-2 a 5-7. 22<sup>nd</sup> Ed. 2012.

FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: 08-13 / 03 / 2017

**INFORME DE ENSAYOS N° 0963-2017**  
**PÁGINA 03 DE 04**

**RESULTADOS FISICOQUÍMICOS**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE DE CURTIEMBRE	
	LÍNEA DE SALIDA DE HUMEDAD ARTIFICIAL DE TRRATAMIENTO 01 – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO <i>TYPHA ANGUSTIFOLIA</i> Y ESCORIAS VOLCÁNICAS EN HUMEDAD ARTIFICIAL" (H-1)	UNIDADES
Sólidos Suspendidos Totales	163	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1383	mg/L
Cromo Hexavalente	0.051	mg/L

**ABREVIATURAS:**

- mg/L : Miligramos por litro de muestra

**OBSERVACIONES**

- Ninguna

**MÉTODOS UTILIZADOS:**

- Sólidos Suspendidos Totales : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 2000. Method 2540-D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C. Pag. 4. 22<sup>nd</sup> Ed. 2012.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 5000 Method 5220 D Chemical Oxygen Demand (COD).Closed Reflux, Colorimetric Method. Pag. 5-6. 22<sup>nd</sup> Ed. 2012
- Cromo Hexavalente : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF. Part 3000. Method 3500-Cr B. Chromium. Colorimetric Method. Pag.1-3. 22<sup>nd</sup> Ed. 2012.

FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS: 08-14 / 03 / 2017

**INFORME DE ENSAYOS N° 0963-2017**  
**PÁGINA 04 DE 04**

**RESULTADOS DE MEDICIONES EN CAMPO**

DETERMINACIÓN	EFLUENTE DE CURTIEMBRE LÍNEA DE SALIDA DE HUMEDAD ARTIFICIAL DE TRATAMIENTO 01 – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "TRATAMIENTO DE EFLUENTE DE CURTIEMBRE UTILIZANDO <i>TYPHA ANGUSTIFOLIA</i> Y ESCORIAS VOLCÁNICAS EN HUMEDAD ARTIFICIAL" (H-1)	UNIDADES
Temperatura	17.0	° C

**ABREVIATURAS:**

- ° C : Grados Celsius

**OBSERVACIONES:**

- Ninguna

**MÉTODOS UTILIZADOS:**

- Temperatura : NTP 214.050:2013 Calidad de agua. Determinación de la Temperatura en Agua

**FECHA DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS:** 08 / 03 / 2017

**NOTAS IMPORTANTES**

- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características puedan variar durante el almacenamiento

**FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:** 15 / 03 / 2017