

# DISEÑO DE SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ALTO CUNAS, CENTRO POBLADO CHAQUICOCHA

*por Miguel Angel Molina Salas*

---

**Fecha de entrega:** 07-jul-2022 12:02p.m. (UTC-0500)

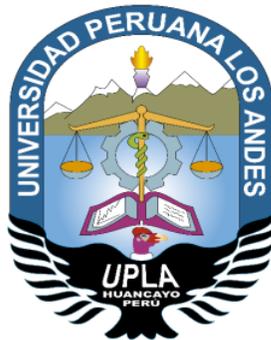
**Identificador de la entrega:** 1867761757

**Nombre del archivo:** TESIS\_MOLINA\_SALAS\_MIGUEL\_ANGEL\_CULMINADA.docx (7.8M)

**Total de palabras:** 18821

**Total de caracteres:** 102270

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS**

**“DISEÑO DE SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO  
SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES, ALTO CUNAS, CENTRO POBLADO  
CHAQUICOCHA”**

**Línea de Investigación Institucional:**

Salud y gestión de la Salud

**PRESENTADO POR:**

Bach. MOLINA SALAS, Miguel

**Para optar el título profesional de:**

INGENIERO <sup>3</sup> CIVIL

**HUANCAYO – PERÚ**

2022

**CONTRATAPA**

---

**ING. HENRY GUSTAVO PAUTRAT EGOAVIL**  
**ASESOR**

#### **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedico a mis padres, quienes siempre han estado apoyándome con el fin de lograr cada uno de mis objetivos profesionales.

**3**  
**HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS**

\_\_\_\_\_  
**Dr. RUBEN TAPIA SILGUERA**  
**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_  
**JURADO**

\_\_\_\_\_  
**JURADO**

\_\_\_\_\_  
**JURADO**

\_\_\_\_\_  
**Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA**  
**SECRETARIO GENERAL**

## ÍNDICE

CONTRATAPA.....	II
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN .....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XII
CAPITULO I.....	14
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
1.1. Planteamiento del problema .....	14
1.2. Formulación y sistematización del problema.....	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos .....	19
1.3. Justificación .....	19
1.3.1. Practica .....	19
1.3.2. Teórica .....	20
1.3.3. Metodológica .....	20
1.4. Delimitaciones .....	20
1.4.1. Delimitación temporal.....	20
1.4.2. Delimitación espacial.....	20
1.5. Limitaciones.....	22
1.6. Objetivos.....	23
1.6.1. Objetivo general .....	23
1.6.2. Objetivos específicos.....	23
CAPITULO II.....	24
MARCO TEÓRICO .....	24
2.1. Antecedentes.....	24
2.1.1. Nacionales.....	24
2.1.2. Internacionales .....	28
2.3. Marco conceptual .....	37

2.4. Definición de términos .....	86
2.5. Hipótesis .....	87
2.5.1. Hipótesis general.....	87
2.5.2. Hipótesis específicas.....	87
2.6. Variables.....	87
CAPÍTULO III .....	90
METODOLOGÍA .....	90
3.1. Método de investigación .....	90
3.2. Tipo de Investigación.....	90
3.3. Nivel de investigación .....	90
3.4. Diseño de investigación.....	91
3.5. Población y muestra .....	91
3.5.1. Población.....	91
3.5.2. Muestra .....	91
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	92
CAPÍTULO IV .....	96
RESULTADOS.....	96
CAPÍTULO V.....	102
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	102
CONCLUSIONES .....	103
RECOMENDACIONES .....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	105
ANEXOS.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Criterios de calidad para aguas de uso agrícola. ....	36
Tabla 2 – Criterios de calidad para aguas de uso agrícola. ....	37
Tabla 3 – Parámetros de diseño de un tanque Imhoff .....	42
Tabla 4 – Rendimiento de los tanques Imhoff.....	43
Tabla 5 – Producción de lodos . ....	44
Tabla 6 – Descripción y nomenclatura del canal Parshall.....	71
Tabla 7 – Medidas estándar de los aforadores Parshall . ....	72
Tabla 8 – Anchos $W$ del canal Parshall - caudal.....	73
Tabla 9 – Coeficientes adimensionales $m$ y $n$ que dependen del ancho de garganta $W$ .....	74
Tabla 10 – Coeficientes adimensionales $m$ y $n$ que dependen del ancho de garganta $W$ .....	75
Tabla 11 – Penetración de las raíces de las plantas emergentes.....	83
Tabla 12 – Parametros del medio ambiente. ....	83
Tabla 13 – Operacionalizacion de las variables.....	87
Tabla 14 – Poblacion según los censos del 1993 y 2007 . ....	94
Tabla 15 – Cañculo de poblacion futura.....	94
Tabla 16 – Determinacion deñ caudadl de diseño . ....	95
Tabla 17 – Datos de temperatura maxima mas cercana al C.P. Chaquicocha.....	95
Tabla 18 – Datos de temperatura minima mas cercana al C.P. Chaquicocha .	96
Tabla 19 – Dimensiones calculadas de la camara de rejias. ....	97
Tabla 20 – Dimensiones calculadas del tanque imhoff. ....	98
Tabla 21 – Dimensiones calculadas del humedal artificial .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Localizacion del centro poblado de chaquicocha.....	17
Figura 2- Efluente del PTAR del centro poblado de chaquicocha. ....	18
Figura 3- Filtro biologico del PTAR. ....	18
Figura 4- Efluente del PTAR que se une al rio Cunas.....	22
Figura 5- Tanque imhoff.....	22
Figura 6- Ubicación departamental de la zona de investigacion. ....	22
Figura 7- Ubicación provincial de la zona de investigacion.....	22
Figura 8- Ubicación provincial de la zona de investigacion .....	23
Figura 9- Forma de medir el caudal de ingreso a la planta mediante Canal Parshall.....	43
Figura 10- Humedales artificiales de flujo superficial.....	55
Figura 11- Sistemas de Humedales artificiales con macrófitas. ....	56
Figura 12- Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (HHAA FSSH).58	
Figura 13- Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (HHAA FSSV)....	59
Figura 14- Canal parshall. ....	69
Figura 15- Nomenclatura de partes de canal parshall.....	69

## RESUMEN

<sup>3</sup> La investigación tuvo como problema general: ¿Será el Diseño de sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha?, el objetivo general fue: Implementar el Diseño de sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, Centro Poblado Chaquicocha, y la hipótesis general fue: El sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial sirve para en el tratamiento de aguas residuales en el sector Alto Cunas del centro poblado de Chaquicocha.

El método de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicada, el nivel de investigación fue explicativo y el diseño de investigación fue no experimental - transversal. La población estuvo conformada por las plantas de tratamiento que se encuentran dentro de la provincia de Concepción, las cuales son: Planta de tratamiento de Sulcan, Usibamba, Chaquicocha, San Roque de Huarmita, Barrio Unión San José de Quero y Barrio Independencia, se tomó como muestra a la planta de tratamiento del centro poblado de Chaquicocha.

La conclusión general fue: El diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial si será una alternativa óptima. Ya que, de acuerdo a las referencias bibliográficas y tesis de investigación realizadas se ha podido corroborar que es favorable para las poblaciones donde se tiene este tipo de aguas residuales (domésticas).

**Palabras claves:** Humedal artificial y aguas residuales

### **3** ABSTRACT

The research had as a general problem: Will the subsurface flow artificial wetland system design be an alternative for wastewater treatment, Alto Cuna, Chaquicocha populated center? The general objective was: To implement the artificial wetland system design of subsurface flow for wastewater treatment, Alto Cunas, Centro Poblado Chaquicocha, and the general hypothesis was: The subsurface flow artificial wetland system is used to treat wastewater in the Alto Cunas sector of the Chaquicocha town center.

**3** The research method was scientific, the type of research was applied, the level of research was explanatory, and the research design was non-experimental - cross-sectional. The population was made up of the treatment plants that are within the province of Concepción, which are: Treatment plant of Sulcan, Usibamba, Chaquicocha, San Roque de Huarmita, Barrio Unión San José de Quero and Barrio Independencia, it was taken as a sample to the treatment plant of the town center of Chaquicocha

The general conclusion was: The design of the subsurface flow artificial wetland will be an optimal alternative. Since, according to the bibliographical references and research theses carried out, it has been possible to corroborate that it is favorable for the populations where this type of wastewater (domestic) is present.

**Keywords:** Artificial wetland and wastewater

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló de acuerdo a los lineamientos del <sup>3</sup> Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de la Universidad Peruana Los Andes; se elaboró con mucho beneplácito la investigación titulado “Diseño de sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha”; investigación que establece como propósito fundamental: Implementar el diseño de sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, Centro Poblado Chaquicocha

En el Perú, se realizó lo siguiente: “El proyecto consistió en la implementación de una tecnología innovadora y limpia para el tratamiento de aguas residuales como son los sistemas de humedales artificiales. Así mismo este proyecto contribuyo a la reducción de la contaminación de las fuentes superficiales de la región, la protección de la salud de los habitantes y evitar el deterioro del medio ambiente, así como fomento nuevas opciones para el recurso de las aguas residuales en sistemas integrados de producción agrícola y darle valor agregado con la instalación de un biohuerto comunitario en la comunidad de Lacabamba” (Lovera, Quipuzco, Laureano, Becerra y Valencia, 2006).

En consecuencia, la presente investigación propone un modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en el centro poblado Chaquicocha, esto como una posible alternativa de solución, desde el punto de vista teórico, económico, social, ambiental y de sustentabilidad, para así contribuir en la conservación del ambiente de la zona (Distrito de San José de Quero, Centro Poblado Chaquicocha) y por ende de la Región Junín.

Esta investigación de tipo aplicada, considera el nivel explicativo; como diseño de investigación no experimental - transversal, y como técnicas de recopilación de data a las fuentes documentales, registros teniendo como instrumentos a las

fichas técnicas. Como técnica para el análisis de datos se aplicó la estadística descriptiva el cual nos permitió conocer los resultados.

<sup>3</sup> El trabajo desarrollado y presentado se justifica en razón de que con esta investigación se pretende implementar el diseño <sup>7</sup> de un sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales

Para el entendimiento del tema investigado, la tesis se encuentra dividido mediante capítulos, explicándose cada capítulo de una manera directa y concreta en relación al tema investigado.

En el capítulo I, se describe el planteamiento del problema, formulación y sistematización del problema, la justificación, las delimitaciones, limitaciones y los objetivos de la investigación.

En el capítulo II, se redacta los antecedentes (internacionales y nacionales), el marco conceptual, la definición de términos, el planteamiento de las hipótesis y la identificación de variables de la investigación.

En el capítulo III, se redacta la metodología aplicada, describiéndose el método, tipo, nivel, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procesamiento de la información y técnicas de análisis de datos de la investigación.

<sup>3</sup> En el capítulo IV, se plasma los resultados obtenidos del diseño del <sup>2</sup> humedal artificial subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales.

En el capítulo V, se da la discusión de los resultados obtenidos, y poder formular las respectivas conclusiones y recomendaciones a la investigación desarrollada, y finalmente redactar las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo de la investigación.

<sup>3</sup> En la parte final de la investigación, se anexan la documentación que sustenta el desarrollo de la investigación.

## CAPITULO I

### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

Según Yáñez, N. y Poats, S. 2007, da a conocer que: <sup>1</sup>“El agua es desde su formación, un elemento indispensable para los seres vivos, fuente y sustento de vida, base del desarrollo de muchas de las actividades más importantes para el ser humano, ya que de todas las especies que habitan el planeta, el hombre es el mayor consumidor de este recurso como lo manifiesta.

Conforme la población ha ido aumentando, la demanda y el uso de este recurso se han vuelto desordenados e insostenibles. De acuerdo a Paredes (2018) menciona que: “Este líquido vital constituye más del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos e interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos; además interviene de manera fundamental en el proceso de fotosíntesis de las plantas y es el hábitat de una gran variedad de seres vivos.

Asimismo, mientras mayor es la población de una ciudad, mayor cantidad de agua residual se genera, lo que presentan serios problemas para su eliminación final. De acuerdo a Paredes (2018) menciona que: “La contaminación progresiva del agua y su escasez plantean amenazas para la salud humana y la calidad de vida, pero su incidencia ecológica es más general. El libre flujo de un agua no contaminada resulta clave para el sostenimiento de los ecosistemas que dependen del agua. La escasez de agua de buena calidad perjudica al medio acuático, húmedo y terrestre, sometiendo a una presión todavía mayor a la flora y la fauna, que padecen ya las repercusiones de la urbanización y el cambio climático.”

---

<sup>1</sup> Yáñez, N. y Poats, S. 2007. Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. Swindon: WRc.

De acuerdo a los inicios, el tratamiento se hacía mediante el vertido de las aguas residuales al suelo, pero prontamente la superficie de los terrenos no fue suficiente para absorber los volúmenes considerables de aguas residuales. En Inglaterra, después de la epidemia del cólera de mitad del siglo XIX, se inició la construcción de los sistemas de alcantarillado, pero el tratamiento de aguas residuales recibió poca atención. Debido a lo pequeño de sus ríos en longitud y caudal, la contaminación del agua, pronto se convirtió en un problema. Al principio, el tratamiento estuvo dirigido a evitar problemas con la industria y agricultura más que a los problemas de salud, por la inexistencia de sistemas de manejo de aguas residuales.

Según IAGUA (2018) menciona que: En el Perú, como en la mayoría de países, tenemos dos panoramas frente al tratamiento de agua residual. Las aguas residuales domésticas o industriales que van al alcantarillado, y, las aguas residuales que debe tratar cada empresa privada o pública, bajo su responsabilidad y cumpliendo los estándares indicados por la ley nacional. En momentos en que el fenómeno del niño está golpeando todo el país y nos demuestra lo vulnerables que estamos frente a estas situaciones por la falta de medidas de prevención; momentos en que nos enfocamos en la búsqueda de soluciones frente a la escasez de agua potable, no debemos olvidar la problemática que enfrenta el país en el tema del tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

En el Perú, se realizó lo siguiente: “El proyecto consistió en la implementación de una tecnología innovadora y limpia para el tratamiento de aguas residuales como son los sistemas de humedales artificiales. Así mismo este proyecto contribuyó a la reducción de la contaminación de las fuentes superficiales de la región, la protección de la salud de los habitantes y evitar el deterioro del medio ambiente, así como fomento nuevas opciones para el recurso de las aguas residuales en sistemas integrados de producción agrícola y darle valor agregado con la instalación de un biohuerto comunitario en la comunidad de Lacabamba” ( Lovera, Quipuzco, Laureano, Becerra y Valencia, 2006 ).

En consecuencia, la presente investigación propone un modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en el centro poblado Chaquicocha, esto como una posible alternativa de solución, desde el punto de vista teórico, económico, social, ambiental y de sustentabilidad, para así contribuir en la conservación del ambiente de la zona (Distrito de San José de Quero, Centro Poblado Chaquicocha) y por ende de la Región Junín .

**Figura N° 01.-** Localización del centro poblado de Chaquicocha.



**Fuente:** Google Maps – 2022

El centro poblado de Chaquicocha actualmente cuenta con un sistema de alcantarillado y PTAR, el cual fue ejecutado y puesta en operación en el año 2017 por el distrito de San José de Quero. Sin embargo, en la visita realizada se pudo verificar que los componentes del PTAR (Desarenador, cámara de rejillas, tanque Imhoff, lechado de secado y filtro biológico) no se encuentran en condiciones favorables. Además, el sistema de tratamiento de aguas residuales ha colapsado, por lo cual el efluente ha venido contaminando el río Cunas, tal como se puede visualizar en las siguientes figuras.

**Figura N° 02.-** Efluente del PTAR del centro poblado de Chaquicocha



**Fuente:** Propia.

**Figura N° 03.-** Filtro biológico del PTAR de Chaquicocha en pésimas condiciones.



**Fuente:** Propia.

**Figura N° 04.-** Efluente del PTAR que se une al río Cunas y lo contamina.



**Fuente:** Propia

En la imagen se puede visualizar, lo que actualmente viene suscitando en el río Cunas se encuentra contaminada por el efluente que emana del PTAR del centro poblado de Chaquicocha. Asimismo, dicha planta de tratamiento se encuentra inoperativa ya que sus componentes (Desarenador, cámara de rejillas, tanque Imhoff, lechado de secado y filtro biológico) han colapsado.

**Figura N° 05.-** Tanque Imhoff del PTAR de Chaquicocha se encuentra inoperativa.



**Fuente:** Propia

3

## 1.2. Formulación y sistematización del problema

Ante esta disposición se plantea la siguiente interrogante como problema general:

### 1.2.1. Problema general

16  
¿Será el Diseño de sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha.?

2

### 1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál será el caudal medio para diseñar el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha ?
- b) ¿Serán favorables Los resultados del estudio de mecánica de suelos para el Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha ?
- c) ¿Cuáles son las dimensiones del sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha?

## 1.3. Justificación

2

### 1.3.1. Practica

Los pobladores del centro poblado de Chaquicocha, cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales convencional, el cual se encuentra inoperativa. Es por ello, que se han hecho necesario el desarrollo e implementación del sistema de tratamiento, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población y evitar la contaminación del rio Cunas. Asimismo, contribuir a la disminución del deterioro ambiental en la Región

Por tanto, se ha realizado esta investigación, la cual propone un diseño de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en el centro poblado de Chaquicocha – san José de Quero

### 1.3.2. Teórica

Con la elaboración de este trabajo de investigación, se busca lograr un archivo en el cual unifique conocimientos con resultados obtenidos de la disminución en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en comparación con las plantas de tratamientos convencionales que se viene utilizando.

### 1.3.3. Metodológica

La metodología utilizada para la recolección de datos que se empleo es realizar insitu, donde se busca obtener datos que se alejen de la realidad, con la finalidad de dar solución de acuerdo a la problemática que se encuentra el centro poblado de Chaquicocha, San José de Quero.

Este trabajo de investigación es importante porque ayudara en próximas investigaciones que se realicen a partir de ello.

## 1.4. Delimitaciones

### 1.4.1. Delimitación temporal

El trabajo de investigación se llevó a cabo en 4 meses, del mes de noviembre del 2021 hasta el mes de febrero del 2022.

### 1.4.2. Delimitación espacial

La investigación se realizó en las condiciones climatológicas de la fecha en el centro poblado de Chaquicocha – San José de Quero.

Figura 6- Ubicación departamental de la zona de investigación.



Fuente: <https://www.deperu.com/calendario>

Figura 7- Ubicación provincial de la zona de investigación.



Fuente: <https://www.dehuancayo.com/>

**Figura 8- Ubicación distrital de la zona de investigación.**



Fuente: <https://www.familysearch.org/es/wiki/Concepci%C3%B3n,Junin>

Los gastos financieros generados en la elaboración del presente trabajo de investigación, fueron asumidos íntegramente en su totalidad por el investigadores de la presente tesis.

### 1.5. Limitaciones

Básicamente la limitación de la investigación se centró en el análisis de las muestras de agua residual para la obtención de los parámetros que se requiere para la investigación, la cual se tomó de la planta de tratamiento del centro poblado de Chaquicocha. Ya que, en la ciudad de Huancayo solo no se cuenta con muchos laboratorios que realicen este trabajo.

## 1.6. <sup>2</sup>Objetivos

### 1.6.1. <sup>2</sup>Objetivo general

Implementar el Diseño de sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, Centro Poblado Chaquicocha

### 1.6.2. <sup>2</sup>Objetivos específicos

- a) Determinar el caudal medio para diseñar el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha.
- b) Analizar los resultados del estudio de mecánica de suelos para el Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha.
- c) Establecer las dimensiones del sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Nacionales

**Maldonado (2018)**, en su investigación titulada: "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en la remoción de nitrógeno" para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería, nos menciona:

En la presente tesis de investigación el objetivo fue evaluar los mecanismos de los humedales artificiales para remover Nitrógeno del agua residual doméstica. La evaluación consistió en comparar cómo varía la capacidad de un humedal para remover nitrógeno al variar dos condiciones: 1) antigüedad del humedal, y 2) oxigenación del humedal.

Con este propósito, se construyeron 03 humedales en paralelo, de dimensiones  $L=2.00\text{m}$ ,  $a=0.5\text{m}$  y  $h=0.5\text{m}$ , estos fueron: un humedal convencional recién construido usado como BLANCO (H2), un humedal convencional en funcionamiento con 01 año de antigüedad (H1), y un humedal convencional recién construido al que se le instaló un sistema de aireación intermitente (H3). Los 03 tuvieron la siguiente composición: zonas de entrada y salida de grava canto rodado de 3" y zona de tratamiento de grava canto rodado de 2". La macrófita utilizada fue el Junco (*Thypha spp*). El Tiempo de Retención Hidráulico fue de 24 horas aproximadamente. El caudal del afluente fue de 104 ml/min para cada uno y este se captó a la salida del reactor UASB de CITRAR.

Los parámetros evaluados fueron: turbiedad, temperatura, pH, humedad relativa, temperatura ambiente, conductividad, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, fósforo total, DQO, OD y sólidos.

En la primera evaluación, se comparó la capacidad para remover nitrógeno de un humedal antiguo (H2) respecto a uno nuevo (H2). Para este caso, el periodo de arranque tuvo una duración de 06 semanas (de la semana 05 a la semana 10), mientras que la fase experimental tuvo una duración de 24 Semanas. En la fase experimental se distinguen 02 sub-fases, la primera sub-fase comprende desde la semana 11 a la semana 17, y la segunda sub-fase comprende desde la semana 18 hasta la semana 34. Durante la primera sub-fase, la cual corresponde a la fase en la cual se comparó el humedal antiguo con el nuevo, se encontró un valor promedio de Nitrógeno Total de 69 mg/l en el afluente, mientras que en el efluente de H1 fue de 56 mg/l y en H2 fue de 63 mg/l. Asimismo, el valor promedio del Nitrógeno Amoniacal en el afluente fue de 54 mg/l, mientras que en el efluente de H1 fue de 47 mg/l, y en H2 fue de 53 mg/l. Se concluyó que H1 tiene mayor capacidad de remover Nitrógeno que H1 debido a que las raíces de los juncos de H1 son más gruesas y permiten una mayor oxigenación del agua residual.

En la segunda evaluación, se comparó la capacidad de remover nitrógeno de un humedal con aireación intermitente (H3) respecto a uno convencional (H2). Para este caso, el periodo de arranque o puesta en marcha tuvo 03 fases. En la primera fase (de la semana 05 hasta la semana 10) se utilizó un periodo de aireación de 6 horas ON y 6 horas OFF, en la segunda fase (de la semana 11 hasta la semana 16) se utilizó un periodo de aireación de 3 horas ON y 3 horas OFF, y en la tercera fase (de la semana 17 hasta la semana 22) se utilizó un periodo de aireación de 2 horas ON y 4 horas OFF. Cada fase tuvo una duración de 06 semanas, resultando un periodo de arranque total de 18 semanas. La máxima eficiencia de remoción de Nitrógeno se produjo en la fase 3. Asimismo, la fase experimental tuvo una duración de 12 Semanas (de la semana 23 a la semana 34), donde se encontró un valor promedio de

Nitrógeno Total de 44 mg/l en el afluente, mientras que en el efluente de H2 fue de 37 mg/l y en H3 fue de 24 mg/l. Asimismo, el valor promedio del Nitrógeno Amoniacal en el afluente fue de 38 mg/l, mientras que en el efluente de H2 fue de 32 mg/l, y en H3 fue de 4 mg/l. Se concluyó que la eficiencia de H3 para remover Nitrógeno es mucho mayor a la de H2, debido a que se mejoró el proceso de Nitrificación y Desnitrificación en H2 debido a la aireación intermitente.

El estudio se realizó por un periodo total de 38 semanas, de las cuales las 04 primeras semanas corresponden al periodo de construcción e instalación de los humedales, las siguientes 18 semanas corresponden al periodo de puesta en marcha y elección de los ciclos de aireación y no aireación del H3, las subsecuentes 12 semanas corresponden a la etapa experimental y de recopilación de datos, y las últimas 04 semanas corresponden al periodo de cierre del proyecto.

**Flores y Huamán (2018)**, en su investigación titula: "Sistema de depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la comunidad campesina de Ocopa - distrito Lircay", para que puedan optar el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Huancavelica, nos menciona:

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal diseñar un sistema de depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la Comunidad Campesina de Ocopa - Distrito Lircay. La investigación de ubica dentro del tipo Aplicada; nivel Explicativo; diseño no experimental de corte Longitudinal; asimismo, se empleó el método Científico - Deductivo. Se consideró la encuesta, observación y revisión bibliográfica como técnicas para la recolección de datos. Se tomaron 6 muestras compuestas en el afluente y efluente del

componente de tratamiento mediante HA para su análisis; obteniendo los siguientes resultados: el tratamiento de HA de flujo subsuperficial redujo en promedio los agentes contaminantes en: 35.32% SST, 27.59% DBO5, 18.68% DQO, 36.91% Aluminio, 37.72% Nitrógeno total, 34.47% Fosforo total, 32.67% Grasas y aceites, 19.59% PH y 34.35% Coliformes totales; de este modo llegado a las siguientes conclusiones: El sistema de depuración de aguas residuales mediante HA de flujo subsuperficial presenta los siguientes componentes: pretratamiento (cámara de rejillas, desarenador, canaleta Parshall, laguna de maduración y cámara de estabilización de sólidos), tratamiento (humedal artificial de flujo subsuperficial) y almacenamiento (reservorio). El tren de componentes permite reducir los agentes patógenos de las aguas servidas eficientemente, debido a que el sistema es adaptable a las condiciones fisicoquímicas, biológicas, climáticas e hidráulicas de la zona.

**Raymundo (2017)** en su trabajo de investigación titulado: “Modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el centro poblado la punta - Sapallanga”, para optar en el título profesional de Ingeniero civil en la Universidad Nacional del Centro del Perú, nos menciona:

En el presente trabajo de investigación tiene como objetivo proponer un modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el Centro Poblado La Punta - Sapallanga – 2017; para cumplir con el objetivo planteado se utilizó un tipo de investigación aplicada, nivel de investigación explicativa, método de investigación científico, diseño de investigación no experimental transversal, asimismo se tomó como población 18 humedales naturales del departamento de Junín y como muestra, 6 muestras compuestas tomadas en el afluente y efluente de los humedales naturales de flujo superficial de

Sapallanga, La Ribera y Chupaca; desarrollada la investigación se obtuvo el siguiente resultado: el diseño del modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial presenta una etapa de pre – tratamiento compuesto por los componentes: rejilla y canal de aproximación, desarenador, canal Parshall, cámara de estabilización de sólidos, laguna de maduración, asimismo una etapa de tratamiento mediante humedal artificial de flujo superficial con las siguientes dimensiones: área superficial de 242.21 m<sup>2</sup>; longitud del humedal de 26.96 m.; ancho del humedal de 8.99 m.; altura de 0,6 m; con un tiempo de retención hidráulico de 1.71 días, y área transversal de 5.39 m<sup>2</sup>; y reservorio de geometría rectangular para acumulación. De este modo se llegó a la siguiente conclusión: la propuesta de modelo de tratamiento mediante humedal artificial de flujo superficial en el Barrio Mallqui es adaptable, ya que los parámetros físicos, químicos, biológicos, climáticos e hidráulicos de la zona tienen similitud a los parámetros físicos, químicos, biológicos, climáticos e hidráulicos de los humedales naturales de Sapallanga, La Ribera y Chupaca.

#### 2.1.2. Internacionales

**Salazar y Sánchez (2015)** <sup>4</sup> en su trabajo de investigación titulado: “Evaluación y propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Churuguzo, Parroquia Tarqui, Cantón Cuenca, provincia del Azuy”, <sup>7</sup> para optar en título de Ingeniero Civil en la Universidad de Cuenca - Ecuador, nos menciona:

La presente investigación nos indica que el tratamiento de aguas residuales constituye un tema de gran interés debido a que está directamente ligado con la salud pública y la dignidad humana. La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca (ETAPA EP) dentro del país ha sido pionera en la implementación de sistemas tanto convencionales

como descentralizados de tratamiento de agua residual. Sin embargo, los sistemas una vez implementados no pueden operar y mantenerse por sí mismos, el deterioro comienza a evidenciarse y por ello tomar las medidas correctivas es un punto clave para preservar la operatividad y eficiencia de los sistemas. El presente trabajo contempla la evaluación y propuesta de rediseño del sistema descentralizado ubicado en la Comunidad de Churuguzo, Tarqui del cantón Cuenca. Se llevo a cabo en primer lugar evaluaciones realizadas previamente y se complementó con caracterizaciones del agua residual afluente al sistema. La Planta cuenta actualmente con una fosa séptica y dos humedades artificiales de flujo horizontal subsuperficial. Con base en una exhaustiva revisión de la bibliografía técnica, se plantearon como alternativas de rediseño utilizar como unidad central de tratamiento: i) Humedales Recíprocos, ii) Reactor de Recirculación con medio filtrante, y iii) Modificar los actuales humedales. Una vez efectuados los correspondientes diseños y analizada la factibilidad técnica y económica de cada una de las alternativas planteadas, se optó por rediseñar la tecnología actual del sistema, es decir, los humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial, aplicando como metodología de diseño la propuesta por Kadlec & Knight (1996). Además, en función del caudal u cargas contaminantes, se procedió a rediseñar las estructuras del pretratamiento, la fosa séptica y las líneas de conducción. Como parte del diseño definitivo también se incluye la propuesta de Operación y Mantenimiento del sistema.

**Torres (2016)** En su investigación “propuesta de mejoramiento de las operaciones en la planta de tratamiento de agua residual en el municipio de la calera (Cundinamarca)”, <sup>7</sup> para optar en título de Ingeniero Civil en la Universidad Católica de Colombia, nos menciona:

La presente investigación nos indica que, en el municipio de La Calera, Cundinamarca, actualmente se encuentra viviendo un auge de vivienda bastante acelerado, producto de este comportamiento, se puede predecir que las estructuras bajo las cuales está diseñada la cabecera municipal, muy pronto serán insuficientes para abastecer la tan creciente demanda que generan los nuevos residentes del municipio.

<sup>12</sup> **Situación** que ha afectado, como se esperaba, a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio, la cual entró en operación desde el año 2000 y cuyo periodo de diseño era de 25 años. No obstante, nunca se contempló un aumento en la población exponencial en tan poco tiempo.

Debido a este acontecimiento se planteó la interrogante de si está la PTAR del municipio de La Calera funcionando adecuadamente según los estatutos que rigen el manejo de aguas residuales y si su operación es lo suficientemente efectiva.

**Para** resolver adecuadamente la inquietud surgida, en primera instancia se desarrolló un diagnóstico técnico y operativo de cada una de las unidades de tratamiento que componen la PTAR, en la cual se encontraron falencias en la operación de la planta y los controles realizados.

**Como** caso específico, el diagnóstico determinó que la principal falla por la cual la planta no cumple con la legislación ambiental, es la sobrecarga del caudal tratado, respuesta al aumento en la población que abastece la planta. Así mismo, una importante falencia en la operación de la planta es que, el vertedero de exceso descarga directamente un caudal considerable que no presenta tratamiento alguno que mitigue la carga orgánica que este líquido lleva.

**El** mejoramiento de los procesos se basó la implementación de una estructura que reduzca la cantidad de grasas ingresada a los reactores SBR, de manera que los procesos aerobios ejecutados

en los tanques se realicen de manera efectiva y eficiente. De igual forma, se realizó un enfoque especial a un tratamiento emergente al caudal captado por el vertedero de excesos.

**En** relación al comportamiento de los reactores, se debe esperar a realizar el cambio de equipos que se tienen destinados para realizar la medición de la operación y de efectividad que los nuevos equipos generarían.

**Todos** los procesos dentro de la planta presentan grandes eficiencias y cumplen adecuadamente con sus funciones, de manera que, sus deficiencias no se presentan en las estructuras o procesos que tiene sino en aquellas operaciones que no realiza la planta.

**Promoviendo** la operación integral y eficaz de la planta, se propuso la creación de una trampa de grasas que permita eliminar dichas sustancias del líquido, antes de su entrada a los reactores. Acción que pretende mejorar el comportamiento de las reacciones biológicas dentro de los tanques, ya que al ser reacciones basadas principalmente entorno al oxígeno, las grasas y aceites roban mucho oxígeno, que es necesario para descomponer y sedimentar la materia orgánica presente en el líquido.

**Como última propuesta se planteó un distrito de riego a la flora del predio, alimentado por todo el caudal recogido en el aliviadero. Sistema que se utilizará como medio emergente en la operación de la planta, evitando así el vertimiento directo de dicho caudal y sobre todo fomentando el afloramiento de la vegetación de la propiedad.**

**Mantilla (2017)**, en su investigación titula: “Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales de las parroquias Chaltura y natabuela, del cantón Antonio ante, de la provincia de Imbabura”, para optar la disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil en la Universidad Privada del Norte, nos menciona:

<sup>13</sup> El presente trabajo de investigación muestra que, la planta de tratamiento de aguas residuales de las parroquias Chaltura y Natabuela, del cantón Antonio Ante, de la provincia de Imbabura, se realizó una evaluación preliminar para determinar si la planta se encuentra funcionando correctamente para los fines que fue creada. Para conocer la eficiencia de la planta depuradora se estudió el tratamiento secundario que consiste en un sistema de 38 estanques con plantas acuáticas flotantes (jacinto y lenteja de agua).

Las muestras tomadas a la entrada y salida del tratamiento secundario durante un período de 16 días fueron utilizadas para realizar los análisis de DBO5 y coliformes fecales (E. coli) en el laboratorio. Estos resultados fueron utilizados para determinar el porcentaje de eficiencia en la remoción de DBO5 y coliformes fecales; además se realizó la predicción de la calidad del efluente utilizando dos modelos cinéticos teóricos (reactor completamente mezclado y flujo tipo pistón), el tiempo de retención promedio calculado y el cálculo de la carga orgánica superficial a la entrada del tratamiento secundario.

Las eficiencias obtenidas para DBO5 y coliformes fecales fueron 56,6% y 83,5%, respectivamente. Para el caso del tiempo de retención promedio se obtuvo un valor de 6,39 días y para la carga orgánica superficial un valor de 309,55 kg DBO5/ha.d. En el caso de la predicción de la calidad del efluente con el reactor completamente mezclado y flujo tipo pistón se obtuvieron valores inferiores a los resultados experimentales, esto se debe a que se utilizó una constante de velocidad de reacción recomendada por la literatura técnica, que no se reproduce en la realidad de esta planta de depuradora.

Finalmente, la calidad del efluente de esta planta de tratamiento no cumple con los estándares de calidad para uso como agua de

riego, debido a que el valor de coliformes fecales excede el límite permisible según la norma vigente en nuestro país.

## **1** 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. Marco Legal

De acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua (2011), en la en la Ley N° 29338 (Ley de recursos hídricos) manifiesta lo siguiente:

#### **Artículo 79: Vertimiento de agua residual.**

La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización (...).

#### **Artículo 80: Autorización de vertimiento.**

Todo vertimiento de agua residual en una fuente natural de agua requiere de autorización de vertimiento, para cuyo efecto debe presentar el instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva, el cual debe contemplar los siguientes aspectos respecto de las emisiones:

1. Someter los residuos a los necesarios tratamientos previos.
2. Comprobar que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación.

La autorización de vertimiento se otorga por un plazo determinado y prorrogable, de acuerdo con la duración de la actividad principal en la que se usa el agua y está sujeta a lo establecido en la Ley y en el Reglamento.

#### **Artículo 82: reutilización del agua residual**

La Autoridad Nacional, autoriza el reúso del agua residual tratada, con opinión del Consejo de Cuenca (...)

El titular de una licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas se requiere autorización.

Según la Autoridad Nacional del Agua (2011), en el D.S. N° 001-2010-AG, Reglamento de la ley de recursos hídricos, en el título V, capítulo VII: Reúso de aguas residuales tratadas, manifiesta lo siguiente en los siguientes artículos:

#### **Artículo 148: Autorización de reúso de aguas residuales tratadas**

Podrá autorizarse el reúso de aguas residuales tratadas únicamente cuando se cumplan con todas las condiciones que se detallan a continuación:

- a) Sean sometidos a los tratamientos previos y que cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales.
- b) Cuenten con la certificación ambiental otorgada por la autoridad ambiental sectorial competente, que considere específicamente la evaluación ambiental de reúso de las aguas.
- c) En ningún caso se autorizará cuando ponga en peligro la salud humana y el normal desarrollo de la flora y fauna o afecte otros usos.

#### **Artículo 150: Criterios para evaluar la calidad de agua para reúso**

Las solicitudes de autorización de reúso de aguas residuales tratadas serán evaluadas tomándose en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reúso del agua o, en su defecto, las guías correspondientes de la Organización Mundial de la Salud.

### 2.2.1.1. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

De acuerdo al Ministerio del Ambiente (2010), nos muestra los criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N°01. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
aluminio	Al	mg/l	5
arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	1
Berilio	Be	mg/l	0.1
Boro	B	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0.01
Carbonatos totales	concentración total de carbonatos	mg/l	0.1
cianuro total	CN	mg/l	0.2
cobalto	Co	mg/l	0.05
cobre	Cu	mg/l	2
cromo hexavalente	Cr	mg/l	0.1
flúor	F	mg/l	1
hierro	Fe	mg/l	5
litio	Li	mg/l	2.5
materia flotante	visible		ausencia
manganeso	Mn	mg/l	0.2
molibdeno	Mo	mg/l	0.01
mercurio total	Hg	mg/l	0.001
níquel	Ni	mg/l	0.2
organofosforados totales	concentración de organofosforados totales	mg/l	0.1
organoclorados totales	concentración de organoclorados totales	mg/l	0.2
plata	Ag	mg/l	0.05
potencial de hidrogeno	PH		de 6 a 9
plomo	Pb	mg/l	0.05
selenio	Sb	mg/l	0.02
solidos disueltos totales		mg/l	3000
transparencia de las aguas medidas con el disco secchi			minimo 2 m
vanadio	V	mg/l	0.1
aceites y grasas	solubles en hexano	mg/l	0.3
Coliformes totales	Mnp/100 ml		1000
huevos de parásitos		huevos/litro	0
zinc	Zn	mg/l	2

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010

### 2.2.2.2. Límites permisibles para descargar aguas residuales en cuerpos receptores de agua dulce

De acuerdo a la OMS (2006), nos muestra los límites permisibles para descargar aguas residuales en cuerpos receptores de agua dulce, tal como se muestra a continuación.

Tabla N°02. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
aceite y grasas	sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
alkil mercurio		mg/l	no detectable
aldehidos		mg/l	2
aluminio	Al	mg/l	5
arsénico total	As	mg/l	0.1
bario	Ba	mg/l	2
cadmio	Cd	mg/l	0.02
cianuro total	CN	mg/l	0.1
cloro activo	Cl	mg/l	0.5
cloroformo	extracto carbon cloroformo	mg/l	0.1
cloruros	Cl	mg/l	1000
cobre	Cu	mg/l	1
cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes fecales	Nmp/100l		200
Coliformes totales	Nmp/100l		5000
color real	color real	unidades de color	inapreciable en dilución 1:20
compuestos fenólicos	fenol	mg/l	0.2
chromo hexavalente	Cr	mg/l	0.5
demanda biológica de oxígeno	DBO5	mg/l	100
demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	250
dicloroetileno	dicloroetileno	mg/l	1
estaño	Sn	mg/l	5
fluoruros	f	mg/l	5
fosforo total	P	mg/l	10
hierro total	Fe	mg/l	10
Hidrocarburos petróleo	TPH	mg/l	20
manganeso total	Mn	mg/l	2
Materia flotante	visibles		ausencia
mercurio total	Hg	mg/l	0.05
Niquel	Ni	mg/l	2
Nitratos + Nitritos	N	mg/l	10
Nitrógeno total Kjendal	N	mg/l	15
organoclorados totales	concentración de organoclorados totales	mg/l	0.05

organofosforados totales	concentracion de organofosforados totales	mg/l	0.1
plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrogeno	PH		de 5 a 9
selenio	Se	mg/l	0.1
solidos sedimentables		ml/l	1
solidos suspendidos totales		mg/l	100
solidos totales		mg/l	1600
sulfatos	SO4	mg/l	1000
sulfitos	SO3	mg/l	2
sulfuros	S	mg/l	0.5
temperatura	°C		<35
tenso activos	sustancias activas al azul	mg/l	0.5
tetracloruro de carbono	de metileno tetracloruro	mg/l	1
	de carbono tricloruetileno	mg/l	1
vanadio	V	mg/l	5
zinc	Zn	mg/l	5

Fuente: OMS, 2006

## 2.3. Marco conceptual

### 2.3.1. Pretratamiento o tratamiento preliminar

<sup>2</sup>Este tratamiento tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior. Son usuales el empleo de canales con rejas gruesas y finas, desarenadores, y en casos especiales se emplean tamices. Estas unidades, en ocasiones obviadas en el diseño de plantas de tratamiento, son necesarias para evitar problemas por el paso de arena, basura, plásticos, etc., hacia los procesos de tratamiento propiamente dichos (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS).

<sup>2</sup> Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS

**a) Rejas o cámara de rejas.** - <sup>3</sup>Esta unidad normalmente es parte de la captación o de la entrada del desarenador.

- El diseño se efectúa en función del tamaño de los sólidos que se desea retener, determinándose según ello la siguiente separación de los barrotes.
- La limpieza de las rejas puede ser manual o mecánica, dependiendo del tamaño e importancia de la planta, o de la llegada intempestiva de material capaz de producir un atascamiento total en pocos minutos.
- La velocidad media de paso entre los barrotes se adopta entre 0,60 a 1 m/s, pudiendo llegar a 1,40 m/s, con caudal máximo.
- Las rejas de limpieza manual se colocan inclinadas a un ángulo de 45° a 60°. Se debe considerar una superficie horizontal con perforaciones en el extremo superior de la reja con la finalidad de escurrir el material extraído.
- Debe preverse los medios para retirar los sólidos extraídos y su adecuada disposición. (O.S. 020 <sup>23</sup>Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano).

**b) Desarenadores.** – Sirve para realizar la remoción de partículas en suspensión.

**b.1. Remoción de partículas**

- Aguas sin sedimentación posterior deberá eliminarse 75% de las partículas de 0,1 mm de diámetro y mayores.
- Aguas sometidas a sedimentación posterior deberá eliminarse 75% de la arena de diámetro mayor a 0,2 mm. Deberá proyectarse desarenadores cuando el agua a tratar acarree arenas. Estas unidades deberán diseñarse para permitir la remoción total de estas partículas.

**b.2. Criterios de diseño**

- <sup>4</sup>El período de retención deber estar entre 5 y 10 minutos.

<sup>3</sup> O.S. 020 Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano  
<sup>4</sup> O.S. 020 Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano

- La razón entre la velocidad horizontal del agua y la velocidad de sedimentación de las partículas deber ser inferior a 20.
- La profundidad de los estanques deberá ser de 1,0 a 3,0 m.
- En el diseño se deberá considerar el volumen de material sedimentable que se deposita en el fondo. Los lodos podrán removerse según procedimientos manuales o mecánicos.
- Las tuberías de descarga de las partículas removidas deberán tener una pendiente mínima de 2%.
- La velocidad horizontal máxima en sistemas sin sedimentación posterior será de 0,17 m/s. y para sistemas con sedimentación posterior será de 0,25 m/s. g) Deberá existir, como mínimo, dos unidades. (O.S. 020 Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano).

### **2.3.2. Tratamiento primario**

Se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) orgánica sedimentable presente en el agua residual. Es común en zonas rurales el empleo del tanque séptico como unidad de tratamiento primario con disposición final por infiltración.

El tanque Imhoff ha sido empleado en localidades de mediano tamaño como un buen sistema de tratamiento primario. Por ejemplo, en la ciudad de Ayacucho se han instalado 6 unidades de tanque Imhoff como parte del sistema de tratamiento. También se emplea tanques de sedimentación primaria, tanques de flotación y lagunas primarias en sistemas de lagunas de estabilización.

<sup>5</sup>Una reciente investigación en Brasil ha encontrado al Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA o también conocido como UASB por sus siglas en inglés) como un sistema que puede ser promovido como unidad primaria de tratamiento. Aunque esto desvirtúa el concepto tradicional del tratamiento UASB, que ha sido considerado de nivel secundario, su inclusión en los procesos de tratamiento como unidad primaria ha tenido resultados positivos, coincidiendo con el enfoque de ecoeficiencia sobre la mejora en la eficiencia de los procesos, por lo que resulta una opción innovadora que será descrita más adelante (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS).

<sup>6</sup>El objetivo de los tratamientos primarios es la reducción de los sólidos en suspensión (flotantes y sedimentables), mediante su sedimentación, consiguiéndose, además, una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica (Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua).

**a) Tanque Imhoff.** – Constan de un único depósito, en el que se separan la zona de sedimentación, que se sitúa en la parte superior, de la zona de digestión de los sólidos decantados, que se ubica en la zona inferior del depósito.

La configuración de la apertura que comunica ambas zonas, impide el paso de gases y partículas de fango de la zona de digestión a la de decantación, de esta forma, se evita que los gases que se generan en la digestión afecten a la decantación de los sólidos en suspensión sedimentables, como ocurre en el caso de las fosas sépticas.

<sup>7</sup>En su funcionamiento se dan procesos físicos y biológicos, similares a los expuestos en las fosas sépticas. La principal

---

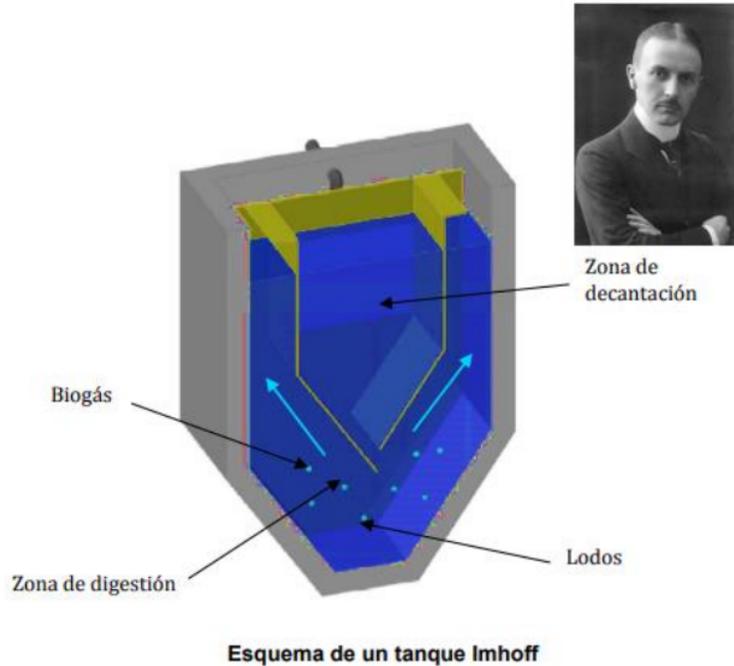
<sup>5</sup> Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS

<sup>6</sup> Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua

<sup>7</sup> Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua

diferencia de los tanques Imhoff con las fosas sépticas estriba en la corta estancia del agua residual en el proceso, lo que permite la obtención de efluentes con bajo grado de septicidad (Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua).

**Figura 8- Ubicación distrital de la zona de investigación.**



**Rango de aplicación  $\leq 1.000$  h.e.**

**Fuente:** Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua

**Tabla N°03. Parámetros de diseño de un tanque Imhoff**

Parámetros	Valores recomendados
<b>Zona de decantación</b>	
Carga superficial ( $m^3/m^2 \cdot h$ )	1,0-1,5 a $Q_{máximo}$
Tiempo de retención (minutos)	90 a $Q_{máximo}$
<b>Zona de digestión</b>	
Tiempo de digestión (meses)	6
Volumen zona digestión ( $m^3/habitantes$ )	0,07

Fuente: <sup>2</sup> Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua

Tabla N°04. Rendimiento de los tanques Imhoff

Parámetro	Reducción (%)
DBO <sub>5</sub>	25-35
MES	55-65
DQO	20-30
Coliformes fecales (reducción u. log)	0-1

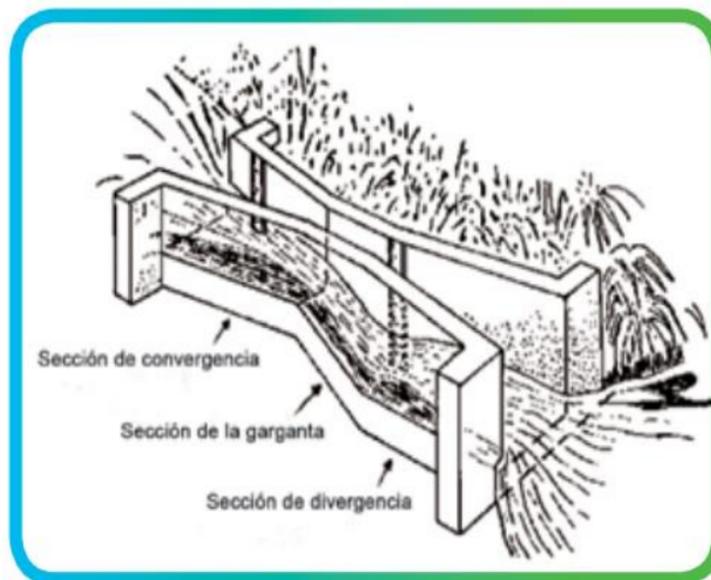
Fuente: <sup>2</sup> Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua

Tabla N°05. Producción de lodos

Parámetros	Valores
Producción de lodos (kg MS/habitante.a)	6-10
Concentración (%)	4,0-6,0
Volumen (L/habitante.a)	120-200

Fuente: Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua

Figura 9- <sup>27</sup> Forma de medir el caudal de ingreso a la planta mediante Canal Parshall



Fuente: <sup>13</sup> Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.

### <sup>2</sup> 2.3.3. Humedal artificial de flujo superficial

<sup>8</sup>Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. Este sistema consta en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente (Cooper, 1996).

<sup>9</sup>Uno de los objetivos de estos sistemas es purificar el agua mediante remoción del material orgánico (DBO), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fósforo. Los mecanismos son complejos e involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química (Cooper, 1996).

<sup>10</sup>Estos sistemas eliminan contaminantes con varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización. Reemplazan así el tratamiento secundario e inclusive, bajo ciertas condiciones, al terciario y primario de las aguas residuales. El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: La actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos (Kolb, 1998).

<sup>11</sup>Este sistema de humedales tiene tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la

<sup>8</sup> Cooper, 1996. Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. Swindon: WRc.

<sup>9</sup> Cooper, 1996. Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. Swindon: WRc.

<sup>10</sup> Kolb, 1998. Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós.

<sup>11</sup> Lara, 1999. Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales

materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Lara, 1999).

#### **2.3.4. Parámetros que intervienen en el tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial**

##### **2.3.4.1. Parámetros físicos**

###### **a) Sólidos suspendidos totales (SST)**

<sup>12</sup>Son en total de las partículas orgánicas o inorgánicas que se encuentra suspendidos formando una capa flotante en los lagos, ríos o en los sistemas de tratamiento afectando la transferencia de oxígeno y el paso de rayos solares los cuales son indispensables para la actividad fotosintética de la flora y fauna acuática. Los sólidos suspendidos más pesados que el agua, se sedimentan y pasan a formar parte del suelo acuático provocando descomposición orgánica en ausencia de oxígeno con olores fétidos y gases desagradables. Son materiales de tamaño microscópicos en el agua. Pueden eliminarse por decantación o filtración (Marsilli, 2005).

###### **b) Turbidez**

<sup>13</sup>La turbidez es una característica óptica que en términos generales describe la claridad u opacidad del agua. No tiene que ver con el color, sino que se relaciona más con la pérdida de transparencia debida al efecto de partículas en suspensión y material coloidal (NIHON KASETSU).

<sup>14</sup>La turbidez impacta en los ecosistemas acuáticos por dispersar la luz solar y reducir la concentración de oxígeno. Afecta a la fotosíntesis, así como a la respiración y reproducción de los peces. Las partículas suspendidas

<sup>12</sup> Marsilli, 2005. Tratamiento de aguas residuales

<sup>13</sup> NIHON KASETSU. La turbidez en las aguas residuales

<sup>14</sup> NIHON KASETSU. La turbidez en las aguas residuales

también ayudan a la adhesión de metales pesados y muchos otros compuestos tóxicos. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia menor será su calidad (NIHON KASETSU).

**c) Conductividad eléctrica**

<sup>15</sup>Es un parámetro el cual mide la cantidad de sales minerales que se encuentran disueltos en el agua residual. Es la cantidad de iones disueltos que permiten la conducción eléctrica, este parámetro puede variar de acuerdo a la cantidad de sales minerales disueltas (Orellana, 2005).

**d) Color y olor**

<sup>16</sup>Las aguas residuales domiciliarias tienen color gris cuando es fresco y al envejecer toma un color negro brillante. Cualquier variante indica la presencia de residuos industriales y su color nos puede indicar de qué producto se trata. El color interfiere con la transmisión de la luz, por lo que de volcarse a un curso de agua disminuirá la acción fotosintética. El olor de un efluente doméstico es indicativo de su vejez, pues cuando es fresco es ligeramente pútrido, pero cuando es viejo se septiza y produce hidrógeno sulfurado que le confiere un olor fuertemente pútrido (Jimeno, Análisis de agua y desagüe, 1993).

**e) Residuos sólidos**

<sup>17</sup>Es el total de los residuos por evaporación, sólidos fijos y volátiles. Se mide la suma de las sustancias que existen en el líquido cloacal, en suspensión y en solución, estables a 100 ° C. También incluye a los sólidos en suspensión, totales,

---

<sup>15</sup> Orellana, 2005. Características del agua potable. Ingeniería Sanitaria-UTN - FRRO

<sup>16</sup> Jimeno, 1993. Análisis de agua y desagüe

<sup>17</sup> Marsilli, 2005. Tratamiento de aguas residuales.

fijos y volátiles, que son retenidos por un filtro de amoníaco (Jimeno, Análisis de agua y desagüe, 1993).

#### **2.3.4.2. Parámetros químicos**

##### **a. Potencial de hidrogeno (PH)**

<sup>18</sup>Es la verificación de la concentración de ion hidrógeno donde es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion-hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos y el efluente puede modificar la concentración de ion de hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. La escala de pH puede tomar valores de 0 a 14, siendo el punto pH =7 el correspondiente a una disolución neutra, esto es, sin carácter ácido ni alcalino. Para valores menores de 7 se trata de una disolución de carácter ácido siendo mayor la acidez cuando menor sea el valor de pH registrado. Por el contrario, una disolución cuyo pH sea mayor que 7 será una disolución alcalina o básica (Marsilli, 2005).

##### **b. Oxígeno disuelto**

<sup>19</sup>Es la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en el efluente donde puede ser un indicador de la cantidad de bacterias o animales acuáticos en el área. Cuando hay una sobrepoblación de bacteria, por ejemplo, esta puede causar una reducción significativa de OD (World Health Organization 1987).

##### **c. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

<sup>20</sup>Esta demanda consiste en la calidad de oxígeno expresada en mg/l., necesaria para la degradación biológica de la

<sup>18</sup> Marsilli, 2005. Tratamiento de aguas residuales.

<sup>19</sup> World Health Organization 1987. Wastewater Stabilization Ponds: Principles of Plan Ning and Practica (Vol. No. 11).

<sup>20</sup> Jimeno, 1993. Análisis de agua y desagüe

materia orgánica contenida en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales en general residuales. El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO5 a 5 días. La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Jimeno, Análisis de agua y desagüe, 1993).

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

<sup>21</sup>Esta demanda consiste en la cantidad de oxígeno expresada en mg/l., necesario para la degradación química de la materia orgánica contenidas en aguas servidas o naturales, se mide en el laboratorio bajo condiciones determinadas. El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido tanto de las aguas naturales como de las residuales (Marsilli, 2005). La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO5, siendo esto debido al mayor de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica (Marsilli,2005).

#### **e. Acidez**

<sup>22</sup>La acidez consiste en la capacidad de neutralizar iones OH, asimismo se puede decir que la acidez del agua natural o residual es su capacidad cuantitativa para reaccionar con una base fuerte hasta un PH designado (Severiche, Castillo y Acevedo, 2013).

---

<sup>21</sup> Marsilli, 2005. Tratamiento de 20 residuales.

<sup>22</sup> Severiche, Castillo y Acevedo, 2013. Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas

#### **f. Fosforo y derivados**

<sup>23</sup>En las aguas naturales y residuales, el fósforo se presenta en compuestos fosfatados. Entre ellos podemos encontrar ortofosfatos, fosfatos condensados y fosfatos enlazados orgánicamente. Se encuentran en solución, en detritus o cuerpos de organismos acuáticos y pueden prevenir de diferentes puentes (Severiche, Castillo y Acevedo, 2013).

#### **g. Nitrógeno y derivados**

<sup>24</sup>Consiste en la cantidad de nitrógeno en aguas residuales está presente en forma orgánica e inorgánica como amoniaco, nitrito y nitratos. La presencia excesiva de nitrógeno en el agua causa eutrofización. La cantidad de nitrógeno se determina como NTK (Nitrógeno Total Kendahl) (Echarri, 2007).

#### **h. Proteínas**

Estas proteínas generalmente provienen fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores (Echarri, 2007).

#### **i. Carbohidratos**

<sup>25</sup>Los carbohidratos se incluye azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios (Echarri, 2007).

20  
<sup>23</sup> Severiche, Castillo y Acevedo, 2013. Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas  
<sup>24</sup> Echarri, L. (2007). Población, ecología y ambiente. Pamplona - España.  
<sup>25</sup> Echarri, L. (2007). Población, ecología y ambiente. Pamplona - España.

#### **j. Aceites y grasas**

<sup>26</sup>Estos aceites y grasas son altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades (Echarri, 2007).

#### **2.3.4.3. Parámetros biológicos**

##### **a) Bacterias**

<sup>27</sup>Una de las bacterias más comunes en las aguas residuales es la Salmonella, estas se encuentran en la flora intestinal de ser humano como también en animales domésticos y silvestres. La infección bacteriana generalizada del hombre es la fiebre paratifoidea y los agentes que causan esta infección son: Salmonella paratyphi, A, B, C patógeno natural del hombre (Vargas, 1996).

##### **b) Hongos**

<sup>28</sup>Cabe mencionar que normalmente las aguas residuales son ricas en hongos, sobre todo en levaduras y hongos levaduriformes, estos provenientes de los vertidos de industrias alimentarias del tipo de cervezas y lácticas, siendo los géneros más frecuentes Sacharimices Candida y Rhodotodula. Galvin (2003) citado por (Archila, Mendez, Marquez y Cuesta, 2012).

##### **c) Algas**

<sup>29</sup>Normalmente en las aguas residuales podemos encontrar micro – algas en grandes cantidades, presentan una actividad metabólica elevada y se adaptan al medio en donde se desarrollan (Archila, Mendez, Marquez y Cuesta, 2012).

<sup>24</sup> Echarri, L. (2007). Población, **23** y ambiente. Pamplona - España.  
<sup>25</sup> Vargas García Carmen (1996). Control de calidad del agua en la red de distribución. CEPIS  
<sup>26</sup> Archila, Mendez, Marquez y Cuesta, (2012). Tratamiento de aguas residuales. Caldas - Colombia  
<sup>27</sup> Archila, Mendez, Marquez y Cuesta, (2012). Tratamiento de aguas residuales. Caldas - Colombia

#### **d) Coliformes totales**

<sup>30</sup>Generalmente estos coliformes se hallan tanto en heces como en el medio ambiente, por ejemplo, aguas ricas en nutrientes, suelos, materias vegetales en descomposición (OMS, 2006).

#### **2.3.4.4. Parámetros climáticos**

##### **- Temperatura**

<sup>31</sup>La temperatura es el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano (Marsilli, 2005).

##### **- Precipitación**

<sup>32</sup>La precipitación se generaliza en todas las aguas meteorológicas que caen sobre la superficie de la tierra, en cualquiera de sus estados, estos diversos estados de precipitación son medidos sin efectuar su discriminación por medio de un equivalente en agua. Asimismo, se puede decir que las precipitaciones son el origen de todas las corrientes de agua tales como son las superficiales y las subterráneas (Segere y Villodas, 2006).

##### **- Humedad relativa**

<sup>33</sup>Considerada como la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente. Dicha proporción indica que tan cerca está el aire de la saturación, se mide en el intervalo de 0 a 100, donde 0% es aire seco y 100% aire saturado (Meruane y Garreaud, 2006).

<sup>30</sup> OMS (2006). Diagnostico de las plantas de [tratamiento de aguas residuales](#)

<sup>31</sup> Marsilli, 2005. [Tratamiento de aguas residuales](#).

<sup>32</sup> Segere y Villodas (2006). Hidrología I

<sup>33</sup> Meruane y Garreaud, (2006). Determinación de humedad en la atmósfera

- **Evapotranspiración**

<sup>34</sup>La evapotranspiración es la pérdida total del agua, que ocurriría si en ningún momento existiera deficiencia de agua en el suelo, para el uso de la vegetación (Villón, 2002).

**2.3.4.5. Parámetros hidráulicos**

• **Caudal**

<sup>35</sup>Es el volumen de agua residual que circula por un canal abierto, colector o tubería de impulsión en determinado tiempo (Sedapal, 2016).

• **Velocidad**

<sup>36</sup>Generalmente la velocidad del flujo (afluente o efluente) dentro del humedal depende de la profundidad del agua (tirante), de la pendiente de la superficie del agua y de la densidad de la vegetación (Mott, 1996).

• **Numero de Reynolds**

<sup>37</sup>En **número** de Reynolds mide el comportamiento de un flujo que puede ser laminar o turbulento, donde es un coeficiente adimensional que indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento, depende de la velocidad, viscosidad cinemática, viscosidad dinámica, temperatura y la conductividad hidráulica. Por lo que podemos afirmar que el número de Reynolds influye en el tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial, porque permite controlar el comportamiento del flujo con la finalidad de que no ocasionen deterioro las paredes del humedal, arranque de las raíces del vegetal totora (Typha), ocasionar colisión de

<sup>34</sup> Villón, 2002. Hidrología Estadística. segunda edición. Lima - Perú: Editorial Villón

<sup>35</sup> Sedapal, 2006. Mecánica de fluidos

<sup>36</sup> Mottl, 1996. Mecánica de fluidos

<sup>37</sup> Mottl, 1996. Mecánica de fluidos

materiales suspendidos con el estrato granular en donde se implanto el vegetal (Mott, 1996).

- **Conductividad hidráulica**

<sup>38</sup>La conductividad hidráulica es un parámetro que rige el flujo del agua en un acuífero y se relaciona con el flujo mediante la ley de Darcy, ley empírica de la naturaleza obtenida experimentalmente. Dicha ley es análoga a las que gobiernan distintos tipos de flujos, también naturales, como el de calor, la corriente eléctrica y el másico, entre otros, los cuales tienen en común que dependen de una cantidad denominada conductividad y un gradiente (Héctor José Peinado Guevara, 2009).

- **Viscosidad**

<sup>39</sup>La viscosidad facilita la fluidez de un flujo al ser aplicada una fuerza, esta puede variar de acuerdo a la temperatura. Por lo que en el diseño de humedales artificiales influye de manera positiva porque el flujo que llega a la humedad puede variar de acuerdo a la composición de contaminantes disueltos en el agua residual modificando de este modo la viscosidad del fluido, asimismo la viscosidad es un factor que depende de la temperatura, ya que al aumentar la temperatura la viscosidad del fluido disminuye de este modo facilitando la transferencia de flujo en el estrato granular (Mott, 1996).

- **Porosidad**

<sup>40</sup>Es un parámetro que influye de manera positiva en el diseño de humedales artificiales de flujo superficial ya que la adecuada relación de poros ayudara de manera eficiente en

---

<sup>38</sup> Héctor José Peinado Guevara, 2009. ESTIMACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

<sup>39</sup> Mott, 1996. Mecánica de fluidos

<sup>40</sup> Metodología para el diseño de huamedales con flujo sbsuperficial horizontal. Revista de Ingenieri hidraulia y ambiental, 61 - 70.

la transferencia de flujo en el estrato granular con vegetación. Por lo que podemos afirmar que la eficiente transferencia hidráulica depende de la adecuada porosidad del estrato granular (Gonzales y Deas, 2011).

### **2.3.5. Humedales artificiales, conceptos y fundamentos**

<sup>41</sup>Los Humedales Artificiales (HHA) han sido definidos como "sistemas de ingeniería, diseñados y construidos para utilizar las funciones naturales de los humedales, de la vegetación, los suelos y de sus poblaciones microbianas para el tratamiento de contaminantes en aguas residuales" (ITRC, 2003).

<sup>42</sup>Los HHA son generalmente utilizados como parte de los procesos de tratamiento descentralizado de aguas residuales, industriales o grises. Se implementan principalmente como tratamiento secundario, es decir, los efluentes siempre necesitan de un tratamiento primario, que debe ser de acuerdo a las características del afluente, antes de entrar en el lecho filtrante del Humedal Artificial (Delgadillo et al, 2010).

<sup>43</sup>La depuración de las aguas residuales se consigue haciéndolas pasar a través de estas zonas húmedas artificiales, en las que tienen lugar procesos físicos, biológicos y químicos, que da lugar a unos efluentes finales depurados. Esta tecnología puede ser considerada como un ecosistema complejo, en el que los principales actores son (Sánchez, 2013):

- El sustrato: que sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana (en forma de biopelícula), que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas.

<sup>41</sup> ITRC, 2003. Programa de Biotecnología Ambiental

<sup>42</sup> Delgadillo, 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales

<sup>43</sup> Sanchez, 2013. Los humedales y el ordenamiento territorial en el marco del nuevo paradigma de Desarrollo sostenible

- La vegetación (macrófitas): que contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y sobre la que en su parte subterránea también se desarrolla la biopelícula.
- El agua a tratar: que circula a través del sustrato y de la vegetación.

El carácter artificial de este tipo de sistemas de depuración viene definido por las siguientes particularidades (Salas, 2007):

- Construcción de una superficie de fondo impermeable para evitar infiltraciones de las aguas residuales en el suelo.
- Substitución del sustrato de tierra con un medio filtrante de gravillas y gravas para garantizar la conductividad hidráulica y minimizar el riesgo de colmatación
- Elección, por parte del proyectista, de la vegetación macrófita que colonizará el humedal y contribuirá a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y al desarrollo de la biopelícula.

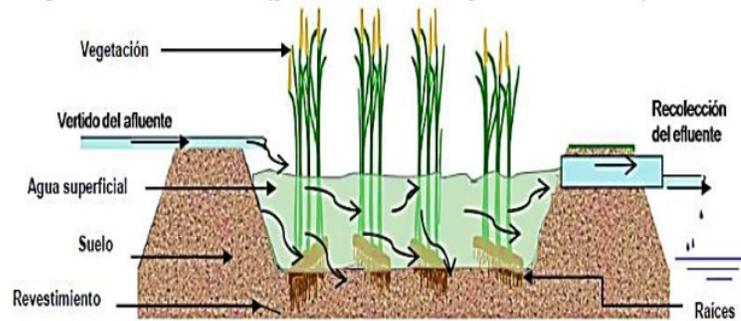
### 2.3.6. Clasificación de humedales artificiales

Los humedales de tratamiento de aguas residuales pueden clasificarse según régimen de flujo de agua y también por el tipo de plantas macrófitas.

#### 2.3.6.1. Humedales artificiales de flujo superficial

Estos humedales de flujo superficial (HHAA FS), es donde el agua fluye sobre la superficie del sustrato desde la entrada hasta la salida del flujo de agua, y la vegetación se desarrolla en condiciones de inundación total o parcial (véase figura N°10). Es el tipo de humedal de tratamiento que más se asemeja a un humedal natural, con profundidades de agua inferiores a los 60 cm (generalmente en el rango de los 30 a 50 cm).

**Figura N°10. Humedales artificiales de flujo superficial**

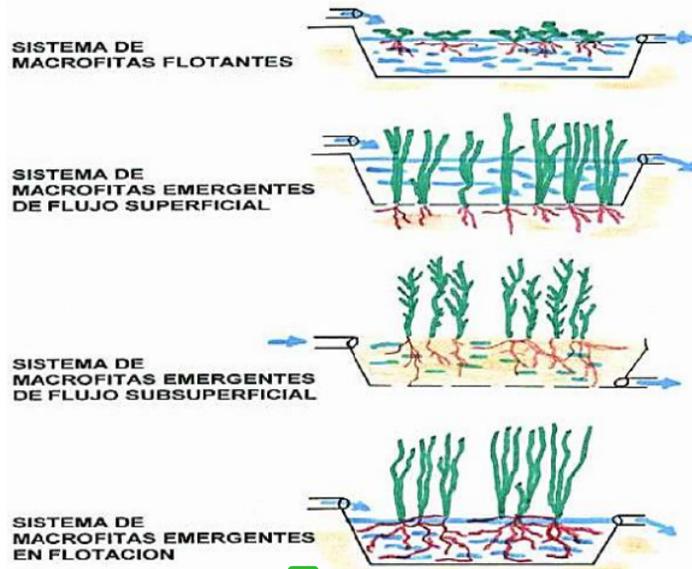


**Fuente:** Adaptado de García Serrano & Corzo Hernández, 2008.

<sup>44</sup>Los humedales artificiales de flujo superficial se pueden clasificar a su vez en función del tipo de especie de vegetación macrófita dominante en él (véase figura N°11). Las macrófitas no sólo juegan un importante papel en la eliminación de nutrientes por sí mismas, sino que además constituyen el principal soporte para las comunidades microbianas y crean un ambiente favorable para la eliminación de contaminantes (Kadlec y Wallace, 2009).

<sup>44</sup> Kadlec y Wallace, 2009. Humedales construidos con plantas ornamentales para el Tratamiento de materia orgánica y nutrientes en aguas servidas

Figura N°11. Sistemas de Humedales artificiales con macrófitas



29

Fuente: Delgadillo et al. 2010

### 2.3.6.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial

Un humedal de tratamiento artificial de flujo subsuperficial (HA FSS) es aquel en el que el flujo de agua se produce a través de un medio poroso, constituido por el propio sustrato o por grava, diseñados de tal modo que el nivel de agua permanezca en todo momento por debajo de la superficie del sustrato.

<sup>45</sup>Por lo general, se construyen mediante el sellado o impermeabilización de una cubeta y su relleno con un sustrato poroso de gravas, arena y/o algún otro material en el que pueda desarrollarse el tipo de vegetación seleccionado, que suele ser de macrófitas emergentes. La profundidad del sustrato poroso suele estar entre los 30 y los 90 cm (García Serrano & Corzo Hernández, 2008; Kadlec y Wallace, 2009).

13

<sup>45</sup> Kadlec y Wallace, 2009. Humedales construidos con plantas ornamentales para el Tratamiento de materia orgánica y nutrientes en aguas servidas

<sup>46</sup>Los HHAA FSS pueden dividirse a su vez según la dirección predominante del flujo a través del lecho poroso, ya sea horizontal o vertical. Los sistemas de flujo horizontal son los más utilizados, y son aquellos de efectividad más demostrada, aunque en los últimos años se han desarrollado numerosas experiencias con sistemas de flujo vertical en algunos humedales de Europa, especialmente en Francia y Austria (Langergraber, 2008).

11

#### **2.3.6.2.1. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal**

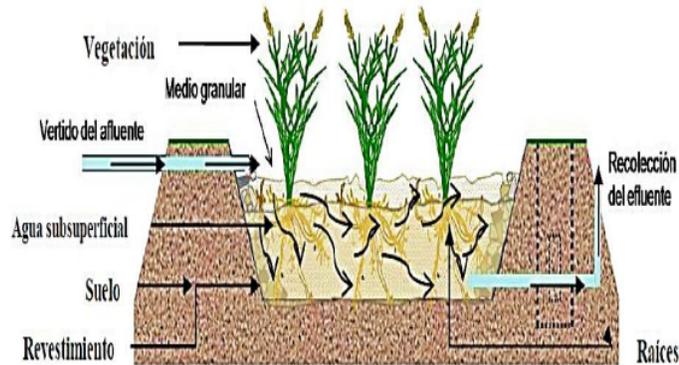
<sup>47</sup>Los Humedales Artificiales de flujo Subsuperficial Horizontal (HHAA FSSH) consisten en una cubeta, generalmente impermeabilizada para reducir intercambios con las aguas subterráneas, en la cual se dispone un material granular a modo de lecho (véase Figura N°12), que puede dividirse en tres zonas (Sánchez, 2013):

- Una zona de entrada y amortiguación del flujo para procurar una distribución homogénea del flujo a lo ancho del lecho.
- El cuerpo principal del lecho, que es donde se desarrolla la vegetación y donde se dan la mayor parte de procesos de transformación del agua y sus componentes.
- La zona de salida del agua, en la que se dispone un tubo de drenaje que recoge el agua y la conduce por un dispositivo de salida. El agua entra a través de un dispositivo que la distribuye en todo el ancho del lecho, y fluye lentamente por debajo de la superficie a través del medio poroso, hasta alcanzar el dispositivo de salida en el que es recogida y descargada.

<sup>46</sup> Langergraber, 2008. Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración

<sup>47</sup> Sanchez, 2013. Los humedales y el ordenamiento territorial en el marco del nuevo paradigma de Desarrollo sostenible

Figura N°12. <sup>2</sup> Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (HHAA FSSH)



Fuente: Adaptado de García Serrano & Corzo Hernández, 2008)

<sup>48</sup>Tanto el fondo como la superficie del lecho suelen tener una pendiente de entre el 0,5 y el 1%, lo cual facilita el drenaje total del humedal en caso de ser necesario por razones de mantenimiento. Sin embargo, esta pendiente no es la que condiciona el flujo del agua, que atraviesa el medio poroso con características asimilables a las del flujo pistón (Kadlec y Wallace, 2009).

#### 2.3.6.2.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical (HA FSSV) reciben las aguas a tratar en la superficie del sustrato poroso y estas van infiltrándose hasta ser recogidas en el fondo del lecho por una red de drenaje.

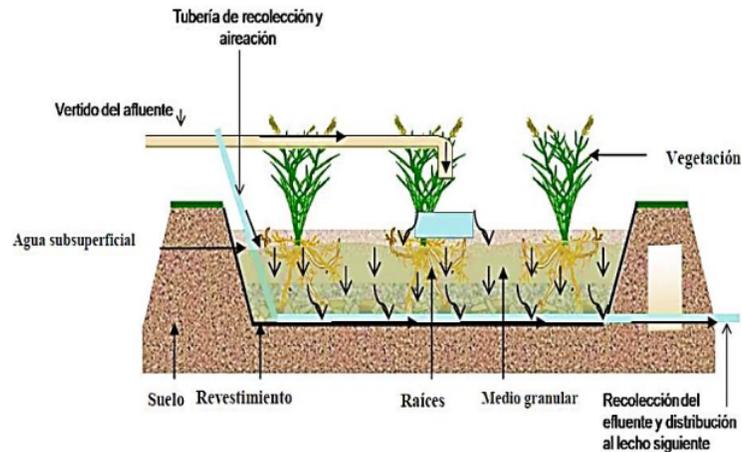
<sup>49</sup>El agua es cargada intermitentemente, por lo que este sistema también es conocido como filtro intermitente. De este modo, se intercalan en el sustrato condiciones de saturación con otras de aireación en las que el agua no

<sup>48</sup> Kadlec y Wallace, 2009. Humedales construidos con plantas ornamentales para el Tratamiento de materia orgánica y nutrientes en aguas servidas

<sup>49</sup> García Serrano & Corzo Hernández, 2008. Estudio y evaluación de alternativas para mejorar el proceso de Tratamiento biológico por medio de humedales artificiales

fluye, estimulando el suministro de oxígeno en el sustrato entre las sucesivas cargas de agua y el desarrollo de procesos aeróbicos (véase Figura N°13) (García Serrano & Corzo Hernández, 2008).

**2**  
**Figura N°13. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (HHAA FSSV)**



**Fuente:** Adaptado de García Serrano & Corzo Hernández, 2008)

<sup>50</sup>En este caso, el material granular puede variar en profundidad, disponiéndose las gravas de mayor diámetro en el fondo del lecho. La vegetación de macrófitas emergentes se distribuye por toda la superficie, ya que no es necesario contar en los extremos con zonas de material granular de mayor granulometría (como es el caso de los HHAA FSSH) (Salas, 2007).

<sup>51</sup>Gracias a que con este método se consiguen grandes transferencias de oxígeno en el sistema, los HHAA FSSV de carga intermitente son adecuados cuando interesa potenciar la nitrificación y otros procesos estrictamente

<sup>50</sup> Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración  
<sup>51</sup> Mollé et al., 2005. Análisis de los modelos de diseño de los sistemas

aeróbicos (Langergraber y Haberl, 2001). En los últimos años, se han utilizado los HHAA FSSV incluso para tratar aguas residuales sin pretratamiento, con resultados positivos (Molle et al., 2005).

### 2.3.7. <sup>29</sup> Partes de humedales artificiales de flujo subsuperficial

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial están constituidos por 04 elementos las cuales son: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos.

#### 2.3.7.1. Aguas residuales

<sup>52</sup>Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Se trata de agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella (Laura F. Zarza, 2017)

<sup>53</sup>Las aguas residuales generalmente provienen de un sistema de abastecimiento de agua de una población determinada. Después de haber sido modificadas y alteradas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal (Delgadillo, Camacho, Perez y Andrade, 2010).

De acuerdo a la hidrología, el agua residual es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario decisivo en su éxito o fracaso. Por los siguientes motivos (Lara, 1999).

---

<sup>52</sup> Laura F. Zarza, 2017. Que son las aguas residuales

<sup>53</sup> Delgadillo, Camacho, Perez y Andrade, 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba - Bolivia.

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, un sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación del suelo y transpiración de las plantas).
- La densidad de la vegetación en humedal afecta fuertemente su hidrología, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de raíces y rizomas y bloqueando la exposición al viento y al sol.

#### 2.3.7.2. Sustrato (medio granular) para el humedal

<sup>54</sup>En los humedales artificiales, se tiene el sustrato el cual está formado por el suelo (arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación), las cuales se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico (Delgadillo, Camacho, Perez y Andrade, 2010).

Una de las características principales 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.

**El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales 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

<sup>54</sup> Delgadillo, Camacho, Perez y Andrade, 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba - Bolivia.

- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.

El tamaño del medio granular atribuye 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.

Cabe tener en consideración que este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar (Arias, 2004)

#### 2.3.7.3. Vegetación en el humedal artificial

<sup>55</sup>Está compuesta principalmente por macrófitas emergentes que contribuyen a la oxigenación del sustrato a nivel de la rizosfera, a la eliminación de nutrientes por absorción/extracción y al desarrollo de la biopelícula bacteriana (Pamplona, Navarra, 2012).

<sup>56</sup>Una de las características principales que tiene la vegetación es 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).

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras de acuerdo a (Lara, 1999). A continuación, mencionamos algunas de las características:

<sup>55</sup> Pamplona, Navarra, 2012. Los humedales artificiales

<sup>56</sup> Arias, 2004. Estudio de biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial

- 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 superficiales 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.

#### 2.3.7.4. Microorganismos del humedal

<sup>15</sup> <sup>57</sup> Estos microorganismos, fundamentalmente bacterias, son los responsables de la mineralización de los agentes contaminantes que se encuentran en las aguas, ya sean de procedencia urbana, ganadera o minera (Antonio Martín/DICYT, 2012).

<sup>58</sup> Ellos 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).

#### <sup>24</sup> 2.3.8. Tipos de aguas residuales

Los tipos de aguas residuales se clasifican con respecto a su origen, ya que este es el que va a determinar su composición. Siendo

<sup>15</sup> <sup>28</sup> o Martín/DICYT, 2012. Identifican las bacterias presentes en humedales artificiales para optimizar estos sistemas de depuración  
<sup>58</sup> Arias, O. (2004). Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya

<sup>1</sup> los residuos urbanos e industriales los que abarcarían gran parte de los contaminantes, generalizando el tema (Espirages y Pérez (s.f). A continuación, detallaremos estos.

#### **2.3.8.1. Agua residual urbanas o domesticas**

<sup>59</sup>Estas aguas residuales se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos. Los aportes que generan esta agua son: aguas negras o fecales, aguas de lavado doméstico, aguas de limpieza de calles, aguas de lluvia y lixiviados (Fernández, 2010).

Estas aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad en cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc.

#### <sup>1</sup>**2.3.8.2. Aguas residuales industriales**

<sup>60</sup>Estas aguas residuales industriales generalmente proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria (Casquete y Choez, s.f.).

<sup>1</sup> Fernández, E. (2010). Proyecto ejecutivo de planta de tratamiento de aguas residuales para la localidad de Xochiapa. García, P.

<sup>1</sup> Casquete, A., & Choez, I. (s.f.). Contaminación hídrica por aguas residuales.

En ocasiones, las industrias no emiten vertidos de forma continua, si no únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día.

La característica de estas aguas residuales es que son más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

### **2.3.8.3. Aguas residuales agrícolas**

<sup>61</sup>Estas aguas residuales proceden de las labores agrícolas en las zonas rurales, en cuanto a su origen provienen de las aguas urbanas que se utilizan y que posteriormente son utilizados en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin tratamiento previo. (Espirages y Pérez, s.f).

### **2.3.9. Modelo general de diseño**

A continuación, se realizará los modelos de diseño para el pretratamiento, tratamiento primaria y diseño de humedal artificial.

#### **2.3.9.1. Diseño hidráulico de rejillas y canal de aproximación**

<sup>62</sup>Son mecanismos conformados por barras metálicas paralelas de igual espaciamiento entre ellas. Estas pueden estar colocadas de forma recta o curvadas tienen la finalidad de retener material flotante superior a la abertura de las rejillas con la finalidad proteger contra obstrucciones en el sistema de conducción (Lothar, 1981)

<sup>61</sup> Espirages, M., & Pérez, J. (s.f). Aguas residuales. Granada - España.

<sup>62</sup> Lothar, M. (1981). Tratamientos preliminares. Lima.

Generalmente la abertura de las rejillas puede variar de 0.25 mm hasta 100 mm de acuerdo a la finalidad que se quiere lograr. En muchos casos se presentan problemas en la operación y mantenimiento de dichos dispositivos por lo que se construyen mecánicos.

Las barras deben de colocarse con una inclinación de 60° a 90° respecto a la horizontal con la finalidad de facilitar la limpieza.

#### 2.3.9.1.1. <sup>1</sup> Diseño

La velocidad máxima en las rejillas debe de considerarse 0.6 m/s.

• Área útil de la rejilla ( $A_u$ ):

$$A_u = \frac{Q_{max}}{V_r}$$

Dónde:

- <sup>1</sup> **Qmax**: Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)
- **Vr**: Velocidad en la rejilla (m/s)

• Área total incluida las barras o sección de flujo aguas arriba de la reja (s):

$$S = \frac{A_u}{E}$$

<sup>4</sup>

Donde:

- **Au**: es área útil de la rejilla y E la eficiencia (0.75)

• Longitud del canal de aproximación ( $L_{aprox}$ ):

$$L_{aprox} = \frac{Q_{max} * t}{S}$$

4

Donde:

- **t**: es el tiempo de retención hidráulica ( $t = 0.3$  s)

- Cálculo de la velocidad de aproximación en el canal ( $V_a$ ):

$$V_a = \frac{0.6}{\frac{a+b}{b}}$$

4

Donde

- **a**: es el ancho de las barras en mm y **b** es la abertura o espaciamiento en mm.

- Pérdida de carga a través de la rejilla ( $H_f$ )

$$H_f = \frac{1}{0.7} \frac{(V_r^2 - V_a^2)}{2g}$$

- Longitud de la rejilla ( $L_r$ )

$$L_r = \frac{Y}{\text{sen}(\theta)}$$

1

Donde:

- **Y**: es el tirante de agua respecto al caudal máximo y  $\theta$  es el ángulo de inclinación de la rejilla.

- Número de barras de la rejilla ( $n$ ):

$$n = \frac{a_{\text{canal}} - b}{a - b}$$

4

Donde:

- **a**: es el ancho del canal adoptado por cuestiones constructivas.

1

### 2.3.9.2. Modelo de diseño del desarenador

<sup>63</sup>El desarenador es un mecanismo que permite retener el material granular que se encuentra disuelto en las aguas

<sup>63</sup> Lothar, M. (1981). Tratamientos preliminares. Lima.

residuales cuya finalidad es evitar la obstrucción en el sistema de conducción, así como también el desgaste de los accesorios (Lothar, 1981).

### 2.3.9.2.1. Diseño

El diseño del desarenador se considerará estos principales parámetros como son diámetro de partícula ( $\phi$ ), densidad de la arena ( $\gamma_s$ ), coeficiente de viscosidad dinámica ( $\mu$ ), temperatura ( $t$ ), velocidad de sedimentación ( $\omega_0$ ), peso específico del agua residual ( $\rho_a$ ), coeficiente de arrastre ( $CD$ ), coeficiente gravitacional ( $g$ ), variación de densidad de la arena ( $\Delta$ ), caudal ( $Q_{max}$ ) entre otros.

- Cálculo de la variación de densidad de la arena ( $\Delta$ ):

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \rho_a}{\rho_a}$$

- Cálculo de la velocidad de sedimentación ( $V_s$ ):

$$V_s = \sqrt{\frac{4g\Delta\phi}{3CD}}$$

- Cálculo de la velocidad de arrastre ( $V_a$ ):

$$V_a = 125 \sqrt{\left(\frac{\gamma_s}{\rho_a} - 1\right)\phi}$$

- Resalto entre la cota del desarenador y la canaleta Parshall ( $Z_r$ ):

$$R = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} \quad Cr = \frac{R^{1/3} - 1}{R} \quad H_{max} = \left(\frac{Q_{max}}{m}\right)^{1/n}$$

Donde:

-  $m$  y  $n$  depende del ancho de la garganta del aforador Parshall y  $Z_r = Cr * H_{max}$ .

- Calculo de la profundidad máxima medida en la cota del desarenador ( $P_{max}$ ):

$$P_{max} = H_{max} - Z_r$$

- Calculo del ancho del desarenador ( $A_d$ ):

$$A_d = \frac{Q_{max}}{V_a * P_{max}}$$

- Calculo de la longitud del desarenador ( $L$ ):

$$L = \frac{H_{max} * V_a}{V_s}$$

1

Donde se le adiciona la media de la variación de longitud máxima y mínima:

$$\Delta L_{min} = 2H_{max} \text{ y } \Delta L_{max} = 0.5L$$

4

- La longitud del desarenador será ( $L_d$ ):

$$L_d = L + \frac{\Delta L_{min} + \Delta L_{max}}{2}$$

- Longitud de transición ( $L_t$ ):

$$L_t = \frac{A_d - b}{0.828}$$

4

- Calculo del volumen de la tolva de solidos acumulados ( $V_{sed}$ ):

$$V_{sed} = 86.4 * t * Q_{med} * S_c$$

4

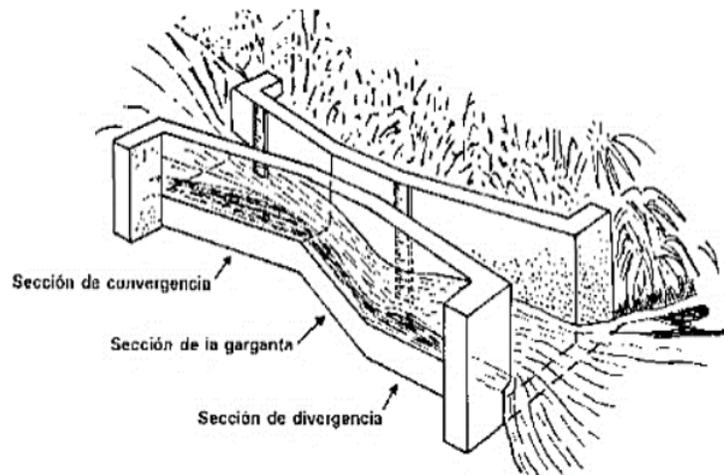
- Calculo de la profundidad de la tolva de solidos acumulados ( $P_s$ ):

$$P_s = \frac{V_{sed}}{A_d * L_d}$$

### 2.3.9.3. Modelo de diseño de canal Parshall

<sup>64</sup>En una estructura hidráulica, diseñada con el fin de crear un resalto hidráulico, de esa forma, la turbulencia realizada se aprovecha para adicionar la disolución del coagulante para así mismo formar los flocs, también es utilizada para aforar el caudal que entra a la misma estructura (Jeison Alexander, 2018).

**Figura N°14. Canal Parshall**



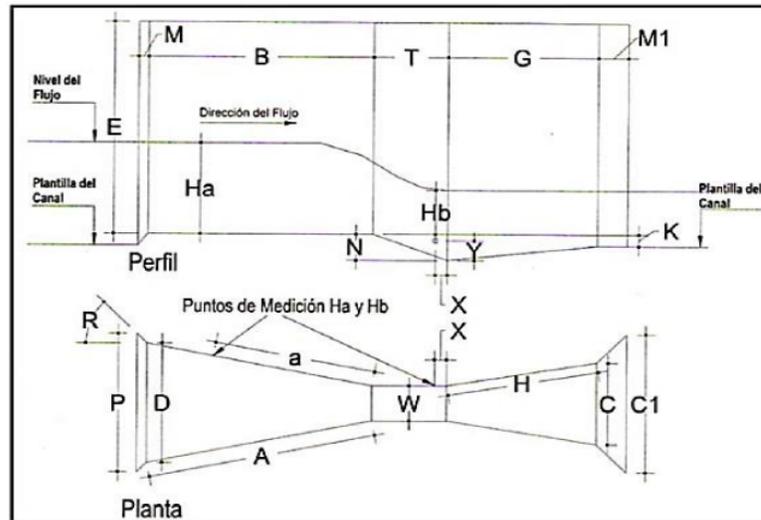
**Fuente:** Aforadores Parshall - Pablo Rojas, 2015

Los aforadores que se probaron tienen medidas establecidas y cualquier aforador que se construya debe apearse a dichas medidas, ya que los errores de construcción generan mediciones erróneas. (Manual de diseño de estructuras de aforo, Leslie Skertchly y Molina, 1988).

---

<sup>64</sup> Jeison Alexander, 2018

Figura N°15. Nomenclatura de partes de Canal Parshall <sup>1</sup>



**Fuente:** Manual de diseño de estructuras de aforo, Leslie Skertchky y Molina, 1988

En la siguiente tabla (Tabla N°06), se muestra las descripciones y nomenclatura de cada uno de las partes del canal Parshall que se encuentran descritas en la figura N.º 15.

Tabla N°06. Descripción y nomenclatura del canal Parshall<sup>1</sup>

Variable	Descripción
W	Ancho de la garganta
A	Longitud de las paredes de la sección convergente
a	Ubicación del punto de medición Ha
B	Longitud de la sección convergente
C	Ancho de la salida
D	Ancho de la entrada de la sección convergente
E	Profundidad total
T	Longitud de la garganta
G	Longitud de la sección divergente
H	Longitud de las paredes de la sección divergente
K	Diferente de elevación entre la salida y la cresta
M	Longitud de la transición de entrada
N	Profundidad de la cubeta
P	Ancho de la entrada de la transición
R	Radio de curvatura
X	Abscisa del punto de medición Hb
Y	Ordenada del punto de medición

**Fuente:** Manual de diseño de estructuras de aforo, Leslie Skertchly y Molina, 1988

Mediante la siguiente tabla se puede realizar el diseño de los aforadores Parshall para el tamaño deseado según la descarga que se presente y el espacio disponible para instalar el aforador. Para acceder a dicha tabla, basta con seleccionar previamente el ancho de garganta, para con ello realizar el dimensionamiento del aforador.

**Tabla N°07. Medidas estándar de los aforadores Parshall**

W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y
Dimensiones en mm															
25.4	363	242	356	93	164	229	78	203	19	-	29	-	-	8	13
50.8	4114	276	406	135	214	254	114	254	22	-	43	-	-	16	25
76.2	467	311	457	178	259	457	152	305	25	-	57	-	-	25	38
152.4	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
228.6	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
Dimensiones en m															
0.3048	1.3720	0.914	1.343	0.610	0.845	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.492	0.508	0.051	0.076
0.4572	1.4480	0.965	1.419	0.762	1.026	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.676	0.508	0.051	0.076
0.6096	1.5240	1.016	1.495	0.914	1.206	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	1.854	0.508	0.051	0.076
0.9144	1.6760	1.118	1.645	1.219	1.572	0.914	0.610	0.914	0.076	0.381	0.229	2.222	0.508	0.051	0.076
1.2192	1.8290	1.219	1.794	1.524	1.937	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	2.711	0.610	0.051	0.076
1.5240	1.9810	1.321	1.943	1.829	2.302	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.080	0.610	0.051	0.076
1.8288	2.1340	1.422	2.092	2.134	2.667	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.442	0.610	0.051	0.076
2.1336	2.2860	1.524	2.242	2.438	3.032	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	3.810	0.610	0.051	0.076
2.4384	2.4380	1.626	2.391	2.743	3.397	0.914	0.610	0.914	0.076	0.457	0.229	4.172	0.610	0.051	0.076
3.0480	2.7432	1.829	4.267	3.658	4.756	1.219	0.914	1.829	0.152	-	0.343	-	-	0.305	0.229
3.6580	3.0480	2.032	4.877	4.470	5.807	1.524	0.914	2.438	0.152	-	0.343	-	-	0.305	0.229
4.5720	3.5052	2.337	7.620	5.588	7.620	1.829	1.219	3.048	0.229	-	0.457	-	-	0.305	0.229
6.0960	4.2672	2.845	7.620	7.315	9.144	2.134	1.829	3.658	0.305	-	0.686	-	-	0.305	0.229
7.6200	5.0292	3.353	7.620	8.941	10.668	2.134	1.829	3.962	0.305	-	0.686	-	-	0.305	0.229
9.1440	5.7912	3.861	7.925	10.566	12.313	2.134	1.829	4.267	0.305	-	0.686	-	-	0.305	0.229
12.1920	7.3152	4.877	8.230	13.818	15.481	2.134	1.829	4.877	0.305	-	0.686	-	-	0.305	0.229
15.5400	8.8392	5.893	8.230	17.272	18.529	2.134	1.829	6.096	0.305	-	0.686	-	-	0.305	0.229

Fuente: Manual de diseño de estructuras de aforo, Leslie Skertchky y Molina, 1988

### 2.3.9.3.1. Diseño

Para realizar el diseño se considera como parámetro principal el caudal máximo, medio y mínimo.

Determinación del ancho (W) del canal Parshall en función del caudal para lo cual se hace uso de la siguiente tabla:

**Tabla N°08. Anchos W del canal Parshall - caudal**

Ancho W	Límites de caudal (l/s)	
	Q Mínimo	Q Máximo
1"	0.28	5.67
2"	0.57	14.15
3"	0.85	28.31
6"	1.42	110.44
9"	2.58	252.00
12"	3.11	455.90
18"	4.24	696.50
24"	11.90	937.30
36"	17.27	1427.20
48"	36.81	1922.70
60"	45.31	2424.00
72"	73.62	2931.00

**Fuente:** Manual de diseño de estructuras de aforo

Para la determinación de los coeficientes adimensionales m y n que dependen del ancho de garganta (W), se realizara de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla N°09. Coeficientes adimensionales m y n que dependen del ancho de garganta W**

W		m	n
(Pulg.)	(cm.)		
1	2.5	0.100	1.400
2	5	0.11	1.500
3	7.6	0.18	1.547
6	15.2	0.38	1.58
9	22.9	0.54	1.53
12	30.5	0.69	1.522
18	45.7	1.05	1.538
24	61	1.43	1.55
36	91.4	2.18	1.566
48	121.9	2.94	1.578

60	152.4	3.73	1.587
72	182.8	4.52	1.595
84	213.4	5.31	1.601
96	243.8	6.1	1.606
120	305	7.46	1.6

**Fuente:** Manual de diseño de estructuras de aforo

• **Calculo de la altura máximo (Ha)**

$$Ha = \left( \frac{Q_{max}}{m} \right)^{1/n}$$

• **Longitud de la sección Ha (L)**

$$L = W + \frac{2(D - W)}{3}$$

• **Área de la sección Ha (A)**

$$A = L * Ha$$

• **Velocidad de la sección Ha (V)**

$$V = \frac{A}{Q_{max}}$$

• **Determinación de las condiciones hidráulica de entrada**

$$Q = KHa^n$$

Donde k y n son unidades métricas adimensionales para lo cual, vamos a utilizar la siguiente tabla:

**Tabla N°10. Coeficientes adimensionales m y n que dependen del ancho de garganta W**

Unidades Métricas		
W	K	n
3"	0.176	1.547
6"	0.381	1.580
9"	0.535	1.530
1'	0.690	1.522
1 ½'	1.054	1.538
2'	1.426	1.550
3'	2.182	1.566
4'	2.935	1.578
5'	3.728	1.587
6'	4.515	1.595
7'	5.306	1.601
8	6.101	1.606

Fuente: Manual de diseño de estructuras de aforo

#### 2.3.9.4. Modelo de diseño de la cámara de estabilización de sólidos

Es conocido también como tratamiento primario. El pretratamiento que se realiza en los humedales artificiales de flujo superficial es la eliminación de los sedimentos totales en suspensión (SST), para lo cual es necesario el diseño de una cámara de estabilización de sólidos (tanque Imhoff), y luego ser evacuados a un lecho de secado de sólidos (Olivos, 2010). Para lo cual vamos a diseñar.

#### 2.3.9.4.1. Diseño

Para el diseño se tomaron en consideración los siguientes parámetros tal como caudal de diseño, sedimentos totales en suspensión, densidad de los sedimentos y el tiempo de retorno.

- Ecuación 1: Volumen total de sedimento acumulado durante 20 años.

$$V_{t=20} = \frac{Q_d * T * SST}{\rho}$$

Dónde:

- $V_{t=20}$  = Volumen total de sedimento acumulado durante 20 años.
- $Q_d$  = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día)
- $SST$  = Sedimentos totales en suspensión (mg/l)
- $\rho$  = Densidad de los sedimentos (kg/m<sup>3</sup>)
- $T$  = Tiempo de retorno

Se calcula que durante 20 años se acumulará una cantidad de m<sup>3</sup> de sedimento. Los sedimentos son perjudiciales para los humedales artificiales de flujo superficial ya que obstruyen la relación de vacíos del estrato granular, retardando de este modo el paso del flujo. Respecto a esta problemática se plantea una cámara de estabilización de sólidos considerado como un pre – tratamiento.

Se toma como propuesta una cámara de estabilización de sólidos de una geometría rectangular, debido a que la construcción es menos tediosa.

- 1**
- Ecuación 2: Dimensión de la cámara de estabilización de sólidos de geometría rectangular.

$$V_{cam} = A_i * (H_i + B_L)$$

Dónde:

- 4**
- $V_{cam}$  = Volumen de la cámara de estabilización de sólidos (m<sup>3</sup>)
  - $A_i$  = Área interna (m<sup>2</sup>)
  - $H_i$  = Altura (m)
  - $B_L$  = Borde libre (m)

- Diseño de la tubería de recolección y distribución de flujo

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi}}$$

Ecuación 3: Diámetro de la tubería de recolección y distribución de flujo

- D = diámetro de la tubería (cm)
- Q = caudal de diseño (m<sup>3</sup>/da)
- V = velocidad del flujo (m/s)
- $\pi$  = coeficiente de conversión (3.1415)

### 2.3.9.5. Modelo de diseño del humedal artificial

#### **5** 2.3.9.5.1. Elección del sistema de humedal a diseñar

Dentro de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, donde existen emisión de olores y tenemos la probabilidad de aparición de vectores, el sistema que mejor aborda este tipo de condiciones es el Humedal Artificial Subsuperficial, debido a que el agua contaminada fluye debajo del material de soporte, por lo tanto, existe disminución significativa de olores y también permite que no

haya contacto directo entre la atmosfera y el agua, evitando la eclosión de mosquitos e insectos.

Ahora bien, entre un sistema vertical y uno horizontal, tenemos que, para un menor costo y tiempo de operación, dada las características de un sistema de tratamiento domiciliario, es conveniente la elección de un sistema horizontal, ya que el sistema vertical es más eficiente en menor área.

Para el caso de estudio se selecciona el humedal artificial de flujo horizontal donde el dimensionamiento se realiza en dos etapas: en la primera se determina la superficie necesaria de tratamiento (dimensionamiento biológico), y en la segunda se establecen las dimensiones geométricas del sistema (dimensionamiento hidráulico).

#### 2.3.9.5.2. Diseño Bilógico

<sup>65</sup>Los humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos de biomasa adherida y su funcionamiento para la remoción de la DBO, SST y el nitrógeno puede ser estimado de acuerdo con una cinética de primer orden para un reactor de flujo pistón. Las relaciones básicas para los reactores de flujo pistón son las siguientes de acuerdo con la modelación de (Reed, S.; Crites, R. & Middlebrooks, E., 1995).

##### 5 Reacción de primer orden

$$\frac{dC}{dt} = -K_t * C \quad (\text{Ecuación 1})$$

Quedando

---

<sup>65</sup> Reed, S.; Crites, R. & Middlebrooks, E., 1995. Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_t * t) \quad (\text{Ecuación 2})$$

7

Donde:

- $C_e$ : Concentración del contaminante efluente. (mg/L)
- $C_o$ : Concentración del contaminante afluente. (mg/L)
- $K_t$ : Constante de velocidad de reacción de primer orden, dependiente de la temperatura. (d<sup>-1</sup>)
- $t$ : Tiempo de retención hidráulica. (d)

Siendo la constante de velocidad de reacción de primer orden según datos empíricos (Reed, S.; Crites, R. & Middlebrooks, E., 1995)

$$K_t = K_{20} * (1,06)^{(T-20)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$K_{20} = 0,678 * d^{-1} \quad (\text{Ecuación 4})$$

6

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

$$t = \frac{L * W * h * \eta}{Q} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- $L$ : Longitud del estanque (m).
- $W$ : Ancho del estanque (m).
- $h$ : Profundidad del agua en el estanque (m).
- $\eta$ : Porosidad, o espacio utilizado por el agua para fluir a través del humedal. En los humedales con flujo libre (FL) la vegetación y las plantas secas ocupan un espacio, mientras que en los humedales con flujo subsuperficial (FSS) el medio, las raíces y otros sólidos hacen lo mismo. La porosidad es un porcentaje y se expresa en forma decimal.
- $Q$ : Flujo promedio a través del humedal (m<sup>3</sup>/d).

Para determinar el flujo promedio se aplica la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{Q_a + Q_e}{2} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

-  $Q_a$ : Flujo afluente.

-  $Q_e$ : Flujo efluente.

<sup>6</sup> Para hacer un diseño preliminar usualmente se asume que  $Q_a$  y  $Q_e$  son iguales. Combinando las ecuaciones (2), (3) y (5) se puede determinar el área superficial del humedal.

$$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_t * h * \eta} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

-  $A_s$ : Área superficial del humedal (m<sup>2</sup>).

- El valor de  $K_t$  usado tanto en la ecuación (2) como en la (6) depende del tipo de contaminante removido y de la temperatura.

### <sup>5</sup> 2.3.9.5.3. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico de un humedal se realizará mediante el modelo de diseño que se utiliza es el determinado por (Reed, S.; Crites, R. & Middlebrooks, E., 1995). Donde se asume un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón. Por tanto, para llegar a poder intentar acercarse al modelo ideal (flujo pistón) es muy importante realizar un cuidadoso diseño hidráulico.

El flujo del agua en el interior del humedal debe romper las resistencias creadas por la vegetación, capa de sedimentos, raíces y sólidos acumulados en los humedales. La energía para romper esta resistencia está dada por la pérdida de carga entre el ingreso y salida del humedal, para dar esta

energía se le asigna al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura variable. Finalmente, el dimensionamiento hidráulico se utiliza para determinar las dimensiones del sistema (ancho y longitud) una vez conocida su superficie a través del dimensionamiento biológico. El dimensionamiento hidráulico se realiza aplicando la Ley de Darcy, que describe el régimen del flujo en un medio poroso, mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{med,d} = K_s * A_{sp} * s$$

Donde:

- Q: El caudal, en m<sup>3</sup>/d.
- K<sub>s</sub>: La conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo, en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*d.
- A<sub>sp</sub>: Es la sección del humedal perpendicular a la dirección del flujo, en m<sup>2</sup>.
- S: Es el gradiente hidráulico o pendiente (dh/dL), en m/m.

Para el diseño, con respecto al caudal, se recomienda tomar el máximo diario para asegurarse de que el sistema absorberá bien las puntas de caudal, es decir, los caudales máximo diarios.

La conductividad hidráulica varía en función de la cantidad y del tamaño de los huecos del medio granular utilizado. En una de las tablas se muestran ordenes de magnitud estimados de la conductividad hidráulica (K<sub>s</sub>).

Los valores de la pendiente (s) que se suelen utilizar varían en el rango de 0,005 a 0,02. Es conveniente que la pendiente no sea superior a 0,02 m/m para evitar que los costes de excavación sean elevados.

Las dimensiones del humedal se determinan entonces

$$A_{sp} = \frac{Q_{med,d}}{K_s * S}$$

Donde:

-  $Q_{med, d}$ : el caudal medio diario, en m<sup>3</sup>/d.

Calculada el área de la sección transversal, y una vez fijada la profundidad (h), se determina el ancho del humedal:

$$W = \frac{A_{sp}}{h}$$

Donde:

-  $W$ : el ancho, en m.

-  $h$ : la profundidad, en m.

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie determinada con el dimensionamiento biológico se determina la longitud del sistema:

$$L = \frac{A_s}{W}$$

Donde:

-  $L$ : la longitud, en m.

#### **2.3.9.5.4. Profundidad del humedal**

La profundidad tiene relación con el volumen de agua disponible para el sistema, por lo que su valor influye en el caudal y el tiempo de residencia dentro del humedal. Este parámetro queda condicionado por la profundidad radicular, dependiendo directamente de la especie y tipo de planta utilizada.

Las profundidades típicas del humedal de flujo subsuperficial varían de 0,4 m a 1 m (valor usual 0,7 m) y se determina en

conjunto con la penetración de las raíces de las plantas a utilizar.

**Tabla N°11. Penetración de las raíces de las plantas emergentes**

Plantas emergentes	Penetración de las raíces en el medio
Scirpus Spp	76
Phragmites Australis	>60
Typha Latifoidea	30

Fuente: Jorge Rabat Blázquez, 2016

#### 2.3.9.5.5. Relación Largo – Ancho para el humedal

<sup>66</sup>Con respecto a las dimensiones debe estar en una relación largo/ancho (L/W) de 2/1 para condicionar un flujo tipo pistón. Su valor depende de la cantidad de materia orgánica a eliminar, y de las características y propiedades de los contaminantes que se desean remover. Además, este parámetro está directamente relacionado a la pendiente a utilizar en el fondo del lecho del humedal, lo que condicionarán la velocidad del flujo y si este podrá romper las fuerzas de fricción del medio granular (Steiner, G. & Watson, J., 1993).

#### 2.3.9.5.6. Sustrato para el humedal

Aquí en el sustrato es donde crecen las plantas, los microorganismos y se realizan los principales procesos de depuración. Para el diseño se recomienda utilizar grava con menos de 30 mm (3/4") de diámetro que es el que funciona mejor (Arias, O., 2004). Si se utiliza grava con diámetros muy grandes de sustrato, origina que se incremente la velocidad del paso del agua, resultando en un flujo turbulento y que no

5 se cumpla la ley de Darcy para el diseño. Caso contrario ocurre con grava de tamaño demasiado pequeño, esta reduce la velocidad del paso de agua originando zonas con presencia de agua en la superficie y flujos preferenciales, pero tienen la ventaja de proporcionar una mayor área superficial para la actividad microbiana y la adsorción. En algunos casos se utiliza ciertos tipos de suelo (arcillas) para adsorber metales pesados, fosfatos, etcétera. El inconveniente es la gran reducción de la velocidad de paso del agua.

Antes del inicio del diseño para el sustrato se recomienda realizar pruebas de conductividad y porosidad del sustrato escogido (grava), esto para definir exactamente el tipo de material a emplearse. Asimismo, se recomienda multiplicar el valor de la conductividad por 0,33 o bien por 0,1 (10%) para evitar problemas de atascamiento por acumulación de lodos, raíces y otros (Terzaghi, K. & Ralph, P., 1973.). En la siguiente tabla se muestra las características principales de los sustratos usados en los humedales.

**Tabla N°12. Parámetros del medio soportante**

Tipo de Material	Tamaño Efectivo D <sub>10</sub> (mm)	Conductividad Hidraulica, K <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)	Porosidad, n %
Arena Gruesa	2	100-1000	28-32
Arena Gravosa	8	500-5000	30-35
Grava Fina	16	1000-10000	35-38
Grava media	32	10000-50000	36-40
Roca Gruesa	128	50000-250000	38-45

Fuente: EPA, 1994

3

## **2.4. Definición de términos**

### **2.4.1. Aguas residuales**

Son las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (CNA, 2004).

### **2.4.2. Humedales artificiales**

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales. (Manual de depuración de Aguas Residuales Urbanas, p. 223, 2004).

### **2.4.3. Macrófitas**

Son plantas acuáticas considerados como un indicador biológico. Como indicador biológico, se consideran buenos referentes de la calidad del agua, y proporcionan un valor indicador a medio y largo plazo. Son sensibles a variaciones físico-químicas e hidro morfológicas en las masas de agua, como por ejemplo la concentración salina, la eutrofización, el régimen de inundación, etc. (Santos Cirujano, Ana meco molina & Katia Cezón).

### **2.4.4. Efluente**

El efluente es el término general para designar un líquido que sale de una tecnología, por lo general después de que las aguas negras o el lodo han sido objeto de separación de sólidos o de algún otro tipo de tratamiento. El efluente se origina en una tecnología de recolección y almacenamiento, o bien en un sistema de tratamiento semicentralizado. Dependiendo del tipo de tratamiento, el efluente podrá limpiarse completamente o requerir más tratamiento antes de que pueda ser usado o desechado (Compendio de sistemas y tecnología de saneamiento).

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis general

El sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial sirve para en el tratamiento de aguas residuales en el sector Alto Cunas del centro poblado de Chaquicocha.

### 2.5.2. Hipótesis específicas

- a) El caudal medio sirve para diseñar el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha
- b) Los resultados del estudio de mecánica de suelos sirven para analizar la capacidad portante del suelo en el Diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha.
- c) Las dimensiones del sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial sirven para cubrir la demanda poblacional en el tratamiento de aguas residuales, alto cunas, centro poblado Chaquicocha

## 2.6. Variables

### 2.6.1. Definición conceptual de la variable

#### Variable independiente:

- Sistema de humedal artificial de flujo sub superficial

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales. (Manual de depuración de Aguas Residuales Urbanas, p. 223, 2004).

#### Variable dependiente:

- Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores. (Manual de depuración de Aguas Residuales Urbanas, p. 26, 2004).

### **2.6.2. Definición operacional de la variable**

#### **Variable independiente:**

- Sistema de humedal artificial de flujo sub superficial

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales, que se dan en los humedales naturales mediante procesos físicos, biológicos y químicos.

#### **Variable dependiente:**

- Tratamiento de aguas residuales  
Consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen la finalidad de depurar los agentes contaminantes disueltos en las aguas residuales, para que cumplan los límites legales existentes y así en un posterior sea reutilizable o puedan ser asimilados de forma natural por un cuerpo receptor.

**4** 2.6.3. Operacionalización de la Variable

**Tabla 13 – Operacionalización de las variables.**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE (X) SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUB SUPERFICIAL	<b>17</b> Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales. (Manual de depuración de Aguas Residuales Urbanas, p. 223, 2004)	<b>4</b> Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales, que se dan en los humedales naturales mediante procesos físicos, biológicos y químicos	ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS.  ESTUDIO TOPOGRAFICO.  POBLACION DE DISEÑO.  CAUDAL DE DISEÑO.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calicatas para los ensayos</li> <li>Análisis granulométrico por tamizado SUCS</li> <li>Límite plástico y líquido</li> <li>Índice de plasticidad</li> <li>Capacidad Portante</li> <li>Levantamiento topográfico</li> <li>Población a <b>4</b>nal (INEI)</li> <li>Periodo de vida útil del sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial.</li> <li>Proyección estadística de población de diseño</li> <li>Población futura</li> <li>Caudal de aguas residuales.</li> <li>Caudal máximo diario.</li> <li>Caudal máximo horario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis en laboratorio</li> </ul>
VARIABLE DEPENDIENTE (Y) <b>2.6</b> TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	El tratamiento de las aguas residuales consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que quedan en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores. (Manual de depuración de Aguas Residuales Urbanas, p. 26, 2004).	<b>1</b> Consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen la finalidad de depurar los agentes contaminantes disueltos en <b>2.6</b> aguas residuales, para que cumplan los límites legales existentes y <b>2.6</b> n un posterior sea reutilizable o puedan ser asimilados de forma natural por un cuerpo receptor.	ESTUDIO DE AGUA RESIDUAL..  PROCESOS FISICOS, QUIMICOS Y BIOLOGICOS.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos.</li> <li>Procesos de decantación</li> <li>Procesos de coagulación</li> <li>Procesos de digestión</li> <li>Procesos de oxigenación</li> <li>Procesos de verter el agua tratada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de laboratorio</li> </ul>

**3** Fuente: Elaboración propia.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método de investigación**

El método general de investigación usado fue el científico, puesto que está basado en un conjunto de pasos ordenados que guían la investigación para consecutivamente pueda ser replicados por otros investigadores; este conjunto de pasos inicia con la observación, planteamiento del problema y de la hipótesis.

Asimismo, procura obtener información relevante y fidedigna, con el fin de entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento (Quezada, 2015, pág. 21).

#### **3.2. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación será Aplicada, puesto que el fin que se persigue en la investigación que se realizará es plantear conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática; está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal, así el uso de los Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial obedecen a estándares de tratamiento de las aguas residuales del Centro Poblado de Chaquicocha – Concepción. (Hernández, Fernández y Baptista, 2006).

#### **3.3. Nivel de investigación**

El nivel de investigación de este trabajo es Explicativo, ya que al proponer los humedales artificiales de flujo sub superficial permite la eficiencia en el tratamiento y reducción de componentes contaminantes de las aguas residuales provenientes del Centro Poblado de Chaquicocha – Concepción. Asimismo, se trata de demostrar que los humedales artificiales de flujo sub superficial brindan un mejor tratamiento específico para aguas residuales

de características similares al del centro poblado de Chaquicocha (Hernández, Fernández y Baptista, 2006).

### 3.4. Diseño de investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2006), el presente trabajo tiene un diseño No Experimental – transversal, decimos no experimental porque no se manipula las variables para obtener resultados y transversal porque los datos obtenidos para la investigación se realizaron en un momento y tiempo determinado. El cual consistió en proponer el diseño de un tratamiento de aguas residuales en el centro Poblado de Chaquicocha – Concepción, mediante la instalación de humedales artificiales de flujo sub superficial. El diseño de investigación para alcanzar los objetivos estuvo alineado a los siguientes pasos:

- Estimación de la producción (generación) de aguas residuales en el Centro Poblado de Chaquicocha – Concepción y proyección a 20 años.
- Diseño arquitectónico del humedal artificial de flujo superficial.
- Diseño estructural del humedal artificial de flujo sub superficial, de acuerdo a la producción de aguas residuales del centro poblado de Chaquicocha – Concepción.

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

En el presente trabajo de investigación la población estuvo constituido por las plantas de tratamiento que se encuentran dentro de la provincia de Concepción, las cuales son: Planta de tratamiento de Sulcan, Usibamba, Chaquicocha, San Roque de Huarmita, Barrio Unión San José de Quero y Barrio Independencia.

#### 3.5.2. Muestra

El tipo de muestreo es el no probabilístico, intencional o conveniencia por lo que se tomó de acuerdo al interés del investigador y la muestra determinada fue la planta de tratamiento del centro poblado de Chaquicocha, debido a su importancia por su

ubicación, características y estado que se encuentra esta planta de tratamiento.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas de recolección de datos**

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

- a) Observación directa: a través de una inspección visual se procedió a identificar las características deficientes de la planta de tratamiento de Chaquicocha, con la finalidad de realizar diseño del humedal artificial para el funcionamiento en el tratamiento de las aguas residuales.
- b) Extracción de agua residual in situ: a través de un muestreo simple se procedió a realizar la extracción de unas muestras en dos puntos específicos y por única vez, con la finalidad de realizar el análisis físico – químico del agua residual.
- c) Exploración de suelo in situ: a través de un muestreo simple se procedió a realizar la extracción de muestras en puntos específicos y por única vez, con la finalidad de realizar los ensayos de mecánica de suelos para los parámetros necesarios para el diseño del humedal artificial.

#### **3.6.2. Instrumentos de recolección de datos**

En la presente investigación se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Toma de muestra en calicatas para los ensayos de mecánica de suelos, donde se hará uso de equipos de laboratorio de mecánica de suelos, tamices, taras, moldes, martillo de hule, brochas, cucharones, pala, balanza, etc.
- Toma de muestras del agua residual de la Planta de tratamiento del centro poblado de Chaquicocha.

### <sup>2</sup> 3.7. Procesamiento de la información

La información fue procesada de la siguiente manera:

- Se realizó la toma de muestras del agua residual de la planta de tratamiento existente en el centro poblado de Chaquicocha, donde se realizó mediante las especificaciones de muestreo de aguas residuales N.T.P 214.042 – 2012.
- Se realizó el muestreo de calicatas en el lugar donde se va diseñar el Sistema de Humedal Artificial. Donde se siguió para poder determinar las propiedades mecánicas del suelo, se realizaron según las especificaciones para estudios de mecánica de suelos N.T.P E – 50 suelos y cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (Instituto Nacional de la Construcción y Gerencia, 2006).
- Mediante datos estadísticos del INEI se obtuvo la población total del centro poblado de Chaquicocha, con el cual se calculará la cantidad de agua residual que evacua el centro poblado.
- Con los resultados del análisis de agua residual en relación a parámetros físicos y químicos, se realizó el diseño del Sistema de Humedal Artificial.

### <sup>2</sup> 3.8. Técnica y análisis de datos

En la investigación se ha considerado las siguientes etapas: Pre campo, campo, laboratorio, gabinete y elaboración del informe final de tesis.

#### 3.8.1. Pre campo

En esta etapa de investigación se realizaron lo siguiente:

- Se definió el planteamiento del problema, los objetivos y se plantearon las hipótesis. La formulación del problema nos permitió realizar la exclusión de información no relevante.
- Además, se realizó la identificación de las fuentes de información nacionales e internacionales relevantes para cumplir con los objetivos de la investigación.

### 3.8.2. Campo

En esta etapa de investigación se realizaron lo siguiente:

- Se realizó la observación del área de estudio, en el cual se procedió a identificar las características deficientes de la planta de tratamiento existente del centro poblado de Chaquicocha.
- Se realizó la extracción de muestras de suelo, donde se hicieron calicatas en el lugar donde se diseñará el Sistema de Humedal artificial.
- Se realizó la toma de muestras del agua residual en dos puntos específicos de la planta de tratamiento existente del centro poblado de Chaquicocha.

### 3.8.3. Laboratorio

En esta etapa de investigación se realizaron lo siguiente:

- En el laboratorio de mecánica de suelos se fue participando mediante la observación sobre la elaboración de los ensayos de clasificación de suelos y la capacidad portante del suelo.
- Se envió las muestras del agua residual a un laboratorio para los ensayos físicos y químicos.

### 3.8.4. Gabinete

En esta etapa de investigación se realizaron lo siguiente:

- Se procesó los datos del estudio de mecánica de suelos realizados en el laboratorio y se analizó respecto a la capacidad portante del suelo para el diseño del humedal artificial.
- Asimismo, con los datos del análisis que agua residual
- al se procedió al diseño del humedal artificial.

### 3.8.5. Elaboración del informe

La redacción del informe final de tesis consistió en lo siguiente:

- Elaboración del marco teórico.
- Elaboración del marco metodológico.

- Elaboración de los resultados, discusiones de resultados, conclusiones, recomendaciones y anexos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Estimación de la población del centro poblado de Chaquicocha

Para la estimación de la población del centro poblado de Chaquicocha se hizo uso de los datos estadísticas del INEI del año 2007 en el cual nos proporcionó la población al año reportado. Sin embargo, para nuestra investigación se realizó el cálculo con la proyección de 20 años, puesto que el diseño del sistema de humedal artificial tendrá ese periodo de diseño.

Tabla de INEI

Con los datos estadísticos de los años de 1993 y 2007 del INEI, se realizó la el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional.

Tabla N.º 14 población total según los censos del 1993 y 2007

AÑO	POBLACION
1993	386
2007	403

Fuente: INEI de 1993 y 2007

Del cual se obtuvo que, la tasa de crecimiento poblacional es igual a 0.34%, el cual fue realizado mediante el método aritmético (Rodríguez, 2001). Ahora bien, para el cálculo de la población en 20 años del periodo de diseño se utilizó el método aritmético.

Tabla N.º 15 Cálculo de población futura

POBLACION ACTUAL (Hab)	425
TASA DE CRECIMIENTO (%)	0.34
PERIODO DE DISEÑO (Años)	20.0
POBLACION FUTURA (Hab)	454

Fuente: Propia

#### 4.2. DETERMINACION DEL CAUDAL DEL CENTRO POBLADO DE CHAQUICOCHA

Para la determinación del caudal del centro poblado de Chaquicocha se hizo uso de la dotación de 100 (Lt/Hab/día) que nos establece el Reglamento Naciones de Edificaciones.

Por tanto, para el cálculo de la dotación del caudal del agua residual se debe realizar mediante el coeficiente de retorno 0.8 (Norma O.S. Planta de tratamiento de aguas residuales, 2006). Asimismo, para nuestro diseño se utilizó el caudal máximo para todo el diseño.

**Tabla N.º 16 Determinación del caudal de diseño**

Caudal medio (Qm)	0.42037	Lt/seg
Caudal máximo diario (Qmax)	0.54648	Lt/seg
Caudal máximo horario (Qmax.h)	0.84074	Lt/seg

Fuente: Propia

#### 4.3. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL MAXIMA Y MINIMA

Para la determinación de la temperatura ambiental máxima y mínima de la investigación se ha hecho uso de los datos de la Estación San Juan de Jarpa mediante código 112028. A continuación, se muestra las tablas con las temperaturas de los años 2019, 2020 y 2021. Cabe indicar que no se encontraron registros de los meses de: Agosto hasta diciembre del año 2020. Asimismo, de los meses de: Enero hasta octubre del año 2021.

**Tabla N.º 17 Datos de Temperatura máxima más cercana al C.P.**

**Chaquicocha**

MES	Tº máxima		
	2019	2020	2021
Enero	15.9	15.7	-
Febrero	15.0	15.0	-
Marzo	15.6	15.2	-
Abril	16.1	15.5	-
Mayo	16.3	15.8	-
Junio	16.1	16.2	-
Julio	15.8	16.5	-
Agosto	16.5	-	-
Setiembre	16.3	-	-
Octubre	16.8	-	17.3
Noviembre	16.2	-	16.6
Diciembre	16.0	-	16.9

**Fuente:** Estación San Juan de Jarpa

**Tabla N.º 18 Datos de Temperatura mínima más cercana al C.P.**

**Chaquicocha**

MES	Tº mínima		
	2019	2020	2021
Enero	5.5	5.2	-
Febrero	6.1	5.3	-
Marzo	6.4	6.0	-
Abril	4.4	3.8	-
Mayo	2.3	2.6	-
Junio	-0.8	-0.1	-
Julio	-0.9	-1.5	-
Agosto	-0.8	-	-
Setiembre	3.4	-	-
Octubre	3.1	-	4.3
Noviembre	5.1	-	4.4
Diciembre	5.7	-	5.1

**Fuente:** Estación San Juan de Jarpa

Los datos que se representa son de la estación meteorológica de San Juan de Jarpa, la cual es la estación más cercana al Centro Poblado de Chaquicocha en donde se puede observar que la temperatura promedio es de 9.92 °C, la temperatura máxima de 17.3°C y mínima de -0.9°C. La

temperatura mínima será utilizada para el diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial.

#### 4.4. <sup>4</sup> DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL DEL CENTRO POBLADO DE CHAQUICOCHA

Se llegaron a obtener las dimensiones necesarias para la construcción del humedal artificial como son: ancho, largo, área superficial, área transversal, y se calculó el tiempo de retención hidráulico para estimar la reducción de DBO para el humedal artificial superficial de flujo subsuperficial.

##### 4.4.1. <sup>25</sup> Dimensionamiento de la cámara de rejas

El dimensionamiento de la cámara de rejas para nuestro sistema de humedal artificial se muestra a continuación:

Tabla N.º 19 Dimensiones calculadas de la <sup>3</sup> cámara de rejas

Y altura fondo a pelo agua del colector	0.314	m.
X distancia horizontal del chorro	0.479	m.
X1 distancia horizontal de la grada	0.050	m.
LTR long. Total camara de rejas	1.076	m.
LAR long. Antes de la reja	0.808	m.
LDR long. Despues de la reja	0.268	m.
H1 Altura de la camara antes de la reja	0.700	m.
H2 Altura de camara despues de la reja	0.750	m.
Z, Altura a borde del tubo respecto al fondo	0.120	m.

Fuente: Propia

##### 4.4.2. Dimensionamiento del desarenador

El dimensionamiento del desarenador comprende la altura, longitud y pendiente. Después de haber realizado los calculo se pudo hallar que la altura hallada será de: 0.021 m. Asimismo, la longitud hallada comprende: 0.211 m y, por último, después del cálculo el pendiente hallado es 0.338%. Los cálculos realizados se pueden observar con mayor detalle en los anexos.

#### 4.4.3. Dimensionamiento del canal Parshall

El dimensionamiento del canal Parshall se muestra con mayor detalle en los anexos adjuntos a la investigación.

#### 4.4.4. Dimensionamiento de tanque Imhoff

El dimensionamiento del tanque Imhoff comprende resultados de diferentes factores hallados. A continuación, se muestra los resultados.

**Tabla N.º 20 Dimensiones calculadas del tanque imhoff**

Caudal medio, l/día	36.32	m3/día
Area de sedimentación, m2	1.51	m2
Ancho zona sedimentador (B), m	1.00	m
Largo zona sedimentador (L), m	3.10	m
Prof. zona sedimentador (H), m	2.00	m
Altura del fondo del sedimentador	0.87	m
Altura total sedimentador, m	3.37	m
Volumen de digestión requerido, m3	28.60	m3
Ancho tanque Imhoff (Bim), m	5.40	m
Volumen de lodos en digestor, m3	20.85	m3
Superficie libre, %	74.07	
Altura del fondo del digestor, m	0.98	m
Altura total tanque imhoff, m	6.85	m
Area de lecho de secado, m2	45.40	m2

Fuente: Propia

#### 4.4.5. Dimensionamiento del Humedal artificial de flujo subsuperficial

El dimensionamiento del Humedal artificial de flujo subsuperficial comprende resultados de diferentes factores hallados. A continuación, se muestra los resultados.

Tabla N.º. 21 Dimensiones del humedal artificial

RESUMEN DEL CALCULO			
Variables	Simbología	Unidad	Valor
<b>DISEÑO BIOLÓGICO</b>			
Caudal medio diario	Q	m <sup>3</sup> /d	36.3
DBO total afluente	Co	mg/l	245.0
DBO total efluente	Ce	mg/l	130.0
Profundidad útil del humedal	h	m	0.6
Pendiente del estanque	s	%	0.1
Medio soporte			Grava
Tamaño de grano	mm		
Conductividad hidráulica	Ks	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d	16000.0
Porosidad	n		0.35
Constante de velocidad	K20	1/d	1.104
Constante de velocidad	Kt	1/d	0.61
Area superficial	As	m <sup>2</sup>	214.8
<b>DISEÑO HIDRAULICO</b>			
Area seccion transversal	As	m <sup>2</sup>	6.981
Ancho	W	m	11.63
Largo	L	m	18.46
<b>RECALCULANDO, VALORES FINALES</b>			
Area transversal	As	m <sup>2</sup>	5.08
Ancho del humedal	W	m	8.46
Largo	L	m	25.38
Tiempo de residencia hidráulico	t	días	1.24

Fuente: Propia

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Termina la investigación en contraste con los antecedentes nacionales e internacionales, normas y cálculos por lo que se precisa lo siguiente:

#### **5.1. Discusión específicos**

A partir del cálculo de la tasa de crecimiento (%) del centro poblado de Chaquicocha, se obtuvo la población futura en relación a 20 años que se diseñara la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Cabe indicar que, los datos de los censos del INEI del 1993 y 2007 son los únicos actualizados que se cuenta a la fecha.

A partir de la población futura se realizó el cálculo del caudal de diseño que genera el centro poblado de Chaquicocha, con el mismo se ha realizado los cálculos para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante el humedal de flujo subsuperficial.

#### **5.2. Discusión específicos**

A partir de la obtención de los parámetros hidráulicos se realizó el cálculo del diseño del humedal de flujo subsuperficial (área superficial, longitud y ancho del humedal).

## CONCLUSIONES

- A. El diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial si será una alternativa óptima. Ya que, de acuerdo a las referencias bibliográficas y tesis de investigación realizadas se ha podido corroborar que es favorable para las poblaciones donde se tiene este tipo de aguas residuales (domésticas).
- B. El caudal medio de diseño es 36.3 m<sup>3</sup>/día, el cual se utilizará para el cálculo de la planta de tratamiento, el cual comprende las siguientes etapas: Pretratamiento, tratamiento primario y humedal artificial.
- C. La capacidad portante y demás resultados obtenidos de los estudios de mecánica de suelos, se ha podido cotejar que estos resultados son favorables para el diseño del humedal artificial del flujo subsuperficial.
- D. Las dimensiones del sistema del humedal artificial son: área transversal de 5.08 metros cuadrados, ancho de humedal 8.46 metros y largo 25,38 metros. Cabe indicar que el largo cumple con el 3 veces de la dimensión del ancho de acuerdo a las manuales y tesis de investigación.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda proponer este sistema de tratamiento de aguas residuales en poblaciones donde se tiene la actividad económica de ganadería y netamente doméstica. Asimismo, es poblaciones rurales donde se tiene humedales naturales.
2. Se recomienda que para el cálculo del caudal medio se debe utilizar todos los datos que integren a las aguas residuales que se dirigen a la planta de tratamiento para obtener el caudal más real <sup>2</sup> para el diseño del humedal artificial.
3. Se recomienda realizar los estudios de mecánica de suelos en lugares donde se pueda observar la presencia de nivel freático y a que profundidad <sup>23</sup> se encuentra del nivel de terreno natural, con la finalidad de evitar posibles hundimientos de la estructura del humedal artificial.
4. Se recomienda que para las futuras investigaciones las dimensiones del sistema de humedal artificial deben ser corroboradas en cuanto a la población existente y futura de acuerdo a sus tasas de crecimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Archila, L., Mendez, F., Marquez, J., & Cuesta, T. (2012). Tratamiento de aguas residuales. Caldas - Colombia.
- Autoridad Nacional del Agua. (2011). Autorización de vertido de aguas residuales tratadas. Lima, Perú
- Bedoya, J. C., Ardila, A. N., & Reyes, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de aguas residuales generadas en la Institución Universidad Mayor de Antioquia, Colombia. Mexico.
- Casquete, A., & Choez, I. (s.f.). Contaminación hídrica por aguas residuales.
- Cooper, P. (1996). Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. Swindon: WRc.
- De la Mora, C., Saucedo Teran, R., Barrientos Juarez, E., Gomez Rosales, S., Gonzales Acuña, I., & Dominguez Araujo, G. (2014). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales provenientes de granjas porcinas.
- Delgadillo, O., Camacho, C., Perez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba - Bolivia.
- Echarri, L. (2007). Población, ecología y ambiente. Pamplona - España.
- Espirages, M., & Perez, J. (s.f). Aguas residuales. Granada - España.
- Fernandez, E. (2010). Proyecto ejecutivo de planta de tratamiento de aguas residuales para la localidad de Xochiapa. Garcia, P., Fernandez, R., & Cirujano, S. (2009). Habitantes del agua macrofitos. Gonzáles, C. (2011). La turbidez.
- Gonzales, O., & Deas, G. (2011). Metodología para el diseño de huamedales con flujo subsuperficial horizontal. Revista de Ingeniería hidráulica y ambiental, 61 - 70.
- Guerrero, L. P. (2013). Construcción y puesta en marcha de la PTAR en industrias COR II. Santiago de Queretaro - Mexico.

- Hernández, M. A. (2011). Diseño de sistema de alcantarillado sanitario para la aldea la Pava y puente vehicular el Tempisque para el municipio de Quesada, departamento de Jutiapa. Guatemala.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2006). Metodología de la Investigación Científica. Mexico: McGRAWHILLIINTERAMERICMA EDITORES, SA DE C.V.
- Jaramillo, M., Agudelo, R., & Puñuelo, G. (2016). Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivo de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. Colombia.
- Jimeno, B. (1993). Análisis de agua y desagüe. Lima: Ingeniería Ambiental.
- Lara, J. A. (1999). Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales. Barcelona, España.
- Lopez, A. (2012). Efecto de cumplimiento a la norma en un aforador Parshall. Mexico:
- Lothar, M. (1981). Tratamientos preliminares. Lima.
- Orellana., J. A. (2005). Características del agua potable. Ingeniería Sanitaria- UTN - FRRO.
- Marsilli, 2005. Tratamiento de aguas residuales.
- (World Health Organization). (1987). Wastewater Stabilization Ponds: Principles of Planning and Practice (Vol. No. 11). Regional Office for the Eastern Mediterranean, Alexandria, Egypt: WHO EMRO Technical Publication.
- Severiche, C. Castillo, B. M. & Acevedo, R. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas. Obtenido de Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas
- Vargas García Carmen (1996). Control de calidad del agua en la red de distribución. CEPIS.
- Reed, S.; Crites, R. & Middlebrooks, E., 1995. Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración
- Steiner, G. & Watson, J., 1993. Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal.

## **ANEXOS**

ANEXO 01 – Ensayos de mecánica de suelos

ANEXO 02 – Ensayos de aguas residuales del centro poblado de Chaquicocha

## DISEÑO: HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL

### DISEÑO

b) Retención hidráulica

$$t = \frac{L + W + h + \eta}{Q} \quad (\text{Ec. 11})$$

DATOS		
Tiempo de retención	t	1.24
Longitud del estanque	L	18.46
Ancho del estanque	W	11.63
Profundidad del agua en estanque	h	0.60
Porosidad	n	0.35
Flujo promedio	Q	36.30

c) Flujo promedio

$$Q = \frac{Q_e + Q_a}{2} \quad (\text{Ec. 12})$$

Flujo promedio	Q	36.3
Flujo afluente	Q <sub>a</sub>	36.3
Flujo efluente	Q <sub>e</sub>	36.3

d) Área superficial del humedal

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_s \cdot h + \eta} \quad (\text{Ec. 13})$$

Área superficial	A <sub>s</sub>	214.8
Flujo promedio	Q	36.300
Profundidad del agua en estanque	h	0.60
Porosidad	n	0.35
Constante de Cont. Afluente	C <sub>o</sub>	245.00
Constante de Cont. Efluente	C <sub>e</sub>	130.00
Constante de velocidad	K <sub>t</sub>	0.51

e) Dimensiones del humedal

$$A_{sp} = \frac{Q_{med,d}}{K_s + s} \quad (\text{Ec. 15})$$

Sección de humedal perpendicular	A <sub>sp</sub>	6.98
Caudal medio diario	Q <sub>med,d</sub>	36.30
Conductividad hidráulica	K <sub>s</sub>	16000.00
Pendiente hidráulica	m	0.01

f) Gradiente hidráulico

$$s = \frac{m \cdot h}{L}$$

Gradiente hidráulico	s	0.000325
Pendiente hidráulica	m	0.01
Longitud humedal	h	0.60
Profundidad	L	18.46

g) Ancho del humedal

$$W = \frac{A_{sp}}{h} \quad (\text{Ec. 16})$$

Ancho de humedal	W	11.635
Profundidad	h	0.600
Sección de humedal perpendicular	A <sub>sp</sub>	6.981

h) Longitud de humedal

$$L = \frac{A_s}{W} \quad (\text{Ec. 17})$$

Longitud de humedal	L	18.46
Ancho de humedal	W	11.63
Área superficial	A <sub>s</sub>	214.79

i) Área transversal

$$A_c = \frac{Q}{K_s + s}$$

Área transversal	A <sub>c</sub>	6.98
Caudal	Q	36.30
Conductividad hidráulica	K <sub>s</sub>	16000.00
Gradiente hidráulico	s	0.000325

RESUMEN DEL CALCULO			
Variables	Simbologia	Unidad	Valor
<b>DISEÑO BIOLÓGICO</b>			
Caudal medio diario	Q	m <sup>3</sup> /d	36.3
DBO total afluente	Co	mg/l	245.0
DBO total efluente	Ce	mg/l	130.0
Profundidad útil del humedal	h	m	0.6
Pendiente del estanque	s	%	0.1
Medio soporte			Grava
Tamaño de grano	mm		25.0
Conductividad hidráulica	Ks	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d	16000.0
Porosidad	n		0.35
Constante de velocidad	K20	1/d	1.104
Constante de velocidad	Kt	1/d	0.61
Area superficial	As	m <sup>2</sup>	214.8
<b>DISEÑO HIDRAULICO</b>			
Area seccion transversal	As	m <sup>2</sup>	6.981
ancho	W	m	11.63
Largo	L	m	18.46
<b>RECALCULANDO, VALORES FINALES</b>			
Area transversal	As	m <sup>2</sup>	5.08
Ancho del humedal	W	m	8.46
Largo	L	m	25.38
Tiempo de residencia hidraulico	t	dias	1.24

**CALCULO PARA EL CAUDAL RED DE ALCANTARILLADO**

**A) PARAMETROS DE DISEÑO**

01) Poblacion Actual	<input type="text" value="425"/>	hab
02) Tasa de Crecimiento	<input type="text" value="0.34"/>	
03) Periodo de Diseño	<input type="text" value="20"/>	Años
04) Poblacion de Diseño	<input type="text" value="454.0"/>	hab
05) Dotacion	<input type="text" value="100.00"/>	lt/(habdía)
06) Factor de Retorno	<input type="text" value="0.80"/>	
07) Long. de la red	<input type="text" value="9.528"/>	m
08) N° Buzones	<input type="text" value="139.00"/>	
07) Det. Infiltracion tuberia	<input type="text" value="20.00"/>	lt/maldia
08) Det. Infiltracion buzones	<input type="text" value="380.00"/>	lt/buzonedia

**B) RESULTADOS**

Caudal medio	<input type="text" value="36.32000"/>	m <sup>3</sup> /día
	<input type="text" value="0.00042"/>	m <sup>3</sup> /seg
Caudal maximo diario	<input type="text" value="0.00055"/>	m <sup>3</sup> /seg
Caudal maximo horario	<input type="text" value="0.00084"/>	m <sup>3</sup> /seg
Caudal max. horario del max. diario	<input type="text" value="0.00109"/>	m <sup>3</sup> /seg
Caudal de infiltracion tuberia	<input type="text" value="190.55988"/>	m <sup>3</sup> /día
	<input type="text" value="0.00221"/>	m <sup>3</sup> /seg
Caudal de infiltracion lluvia buzon	<input type="text" value="52.82000"/>	m <sup>3</sup> /día
	<input type="text" value="0.00061"/>	m <sup>3</sup> /seg
QMH <sub>total</sub>	<input type="text" value="0.00366"/>	m <sup>3</sup> /seg

## DISEÑO: CAMARA DE REJAS

### Cámara de Rejas

#### A) CALCULO DEL TIRANTE HIDRAULICO AGUAS ARRIBA DE LA REJA

DATOS DE INGRESO			
Coef. De variacion max. Horaria	$K2=$	2.00	
Coef. De variacion minima	$K3=$	0.50	
Caudal Promedio	$Qp=$	0.00366	m <sup>3</sup> /s
Caudal Máximo Horario	$Qmh=$	0.00732	m <sup>3</sup> /s
Caudal Mínimo	$Qmin=$	0.00183	m <sup>3</sup> /s
Coefficiente de Manning	$n=$	0.01300	
Pendiente del Canal	$S=$	0.00200	m/m.
Separación entre barras	$e=$	0.2	cm. Según NTP: espaciamento 20-50 mm
Ancho de las barras	$e=$	0.8	cm. Según NTP: espesor 5-15 mm
Velocidad entre rejas	$V=$	0.75	m/s.
Eficiencia entre las rejas	$E= (a/(e+a))$	0.20	Eficiencia: 0.60-0.75 recom: 0.75

RESULTADOS			
Area útil (Az)	$Au=Qmh/V$	0.0098	m <sup>2</sup>
Velocidad maxima en el canal	$Vo=V/E$	0.15	m/s. Según NTP: 0.30-0.60 m/s; mayormente 0
Area aguas arriba de la reja (Aar)	$Aar=Qmh/Vo$	0.0488	m <sup>2</sup>
Ancho sugerido (B)	$B=$	0.30	m.
Tirante para reja limpia (Ymáx)	$Ymáx=Aar/B$	0.163	m.
Hf (Pérdida de carga Metcalf)	$Hf=1.43(Vo^2-Vo'^2)/2g$	0.031	m.
Para rejas sucias			
Area obstruida (50%)	$Aob=Aar * 1.5$	0.073	m <sup>2</sup>
Tirante	$Aob/B=$	0.244	m.
Para Caudal Mínimo	$Qp/K3$	0.00183	m <sup>3</sup> /s.
Tirante libre tirantes		0.1540	m. sewer cad
Caudal		0.02827	m <sup>3</sup> /s.
Velocidad mínima		0.04	m/s. Según NTP: 0.30-0.60 m/s; mayormente 0

#### B) DISEÑO DE REJAS

N (Número de barras)	$N=$	31	barras
Pérdida de carga en las rejas:			
Veloc. a través de rejas sucias	$v=2*V$	1.50	m/s.
Velocidad aguas arriba	$Vo=$	0.15	m/s.
Pérdida de carga (sucia)	$Hf=1.43(v^2-Vo^2)/2g$	0.13	m.

#### C) CALCULO DE LA LONGITUD DE LA TRANSICION

Caudal máximo horario	$Qmh=$	0.00732	m <sup>3</sup> /s.
Diámetro de la tubería de llegada	$D=$	0.200	m. Sewer Cad
Velocidad en la tubería de llegada	$V1=$	1.89	m/s. Sewer Cad
Longitud de transición	$L=$	0.23	m. 1
Pérdida de carga en la transición	$Hf=0.1(V1-Vo)/2g$	0.0154	m.

D) CALCULO DE LA VENTANA DE CAPTACION DE LA CANALETA BY PASS

Caudal máximo horario	$Q=$	0.0073 m <sup>3</sup> /s.
Separación entre barras	$e1=$	0.20 cm.
Ancho de las barras	$e1=$	0.60 cm.
Eficiencia entre las rejillas	$E1=$	0.25
Area obstruida (%)		50.00
Longitud de la ventana	Iterar	0.30 m.
Altura de la ventana	$h_v = \frac{Q_{mh} \left( \left( 1 - \frac{A(100) \cdot L \cdot E \right)^{1/2}}{3} \right)}{A(100) \cdot L \cdot E}$	0.30 m.
Velocidad a traves de la ventana	$Q_{mh} / (h_v \cdot L)$	0.08 m/s.
He, Ubicación del by pass respecto al N (Número de barras)		0.244 m. 37 barras

Según NTP: espaciamento 20-50 l  
Según NTP: espesor 5-15 mm  
Eficiencia: 0.60-0.75 recom: 0.75

0.30 Tirante de agua

0.10

E) CALCULO DEL TIRANTE HIDRAULICO AGUAS ABAJO DE LA REJA

P, Altura de la grada		0.050 m.
q Caudal unitario		0.024 m <sup>3</sup> /s/m
Yc Tirante Critico		0.039 m.
Lm Longitud de aproximación		0.173 m.
Y1 Tirante antes del resalto		0.028 m.
V1 Velocidad antes del resalto		0.859 m.
F Número de Froude		1.629 adim.
Y2 Tirante despues del resalto		0.053 m.
V2 Velocidad despues del resalto		0.463 m/s.
LRH Longitud del resalto hidraulico		0.146 m.
H Carga hidraulica sobre la grada		0.056 m.

F) CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA CAMARA DE REJAS

Y altura fondo a pelo agua del colector		0.329 m.	
X distancia horizontal del chorro		0.490 m.	0.3
X1 distancia horizontal de la grada		0.050 m.	
LTR long. Total camara de rejillas		1.114 m.	
LAR long. Antes de la reja		0.836 m.	0.60
LDR long. Despues de la reja		0.278 m.	0.40
H1 Altura de la camara antes de la reja		0.700 m.	
H2 Altura de camara despues de la reja		0.750 m.	0.50
Z, Altura a borde del tubo respecto al fondo		0.130 m.	0.05

G) CANTIDAD DE MATERIAL CRIBADO POR DIA

Material cribado	2.3857 lts/1000m <sup>3</sup>
Por día	57 lts/día
Por año	20899 lts/año
Area de fosa de 100 cm de profundidad	3 unidades de 6966 m <sup>2</sup>

## 1.0 DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

### 1.1 DESARENADOR

#### 1.1.1 DATOS

Caudal en marcha Q = 0.00366 m<sup>3</sup>/seg

#### 1.1.2 CALCULO DE DIMENSIONES DEL DESARENADOR

Calculo del tirante de agua (H): 0.00139

Formula para el calculo de H:

$$H = \frac{Q}{(V_h \times A)} \dots (m)$$

DONDE:

H: Tirante de agua (m)  
Q: Caudal (m<sup>3</sup>/seg)  
V<sub>h</sub>: Velocidad horizontal (m/s)  
A: Ancho (m)

Asumiendo: V<sub>h</sub> : 0.25 m/s  
A : 0.65 m

Se tiene H: 0.023 m

#### 1.1.3 CALCULO DE LA LONGITUD DEL DESARENADOR

Formula para el cálculo de la longitud:  $L = \left(\frac{V_h}{V_s}\right) \times H \dots (m)$

DONDE:

L: Longitud del canal (m)  
V<sub>h</sub>: Velocidad horizontal (m/s)  
V<sub>s</sub>: Velocidad de sedimentación de la partícula (m/s)  
A: Tirante de agua (m)

El valor de V<sub>s</sub> que se utilizara es para partículas de 0.21 mm de diámetro, su velocidad de

Para efectos de diseño se utilizara el valor 1.25 m/min = 0.019 m/seg.

Sustituyendo tenemos: L : 0.230 m

#### 1.1.4 CALCULO DE LA PENDIENTE DEL CANAL DEL DESARENADOR

De la formula de manning:  $V = \frac{1}{n} \times R_n^{(2/3)} \times S^{(1/2)} \dots (m/seg)$

De donde se tiene:

$$S^{(1/2)} = V \times n \times R_n^{(2/3)} \dots (m/m)$$

DONDE:

V: Velocidad 0.30 m/s  
n: Coeficiente de rugosidad 0.014 para canales de concreto  
Rh: Radio hidráulico  
S: Pendenza

Además:  $Rh = \frac{\text{area mojado}}{\text{Perimetro mojado}}$

Por lo tanto:  $Rh = 0.021$  m

Entonces tenemos:  $S = 0.004$  m/m

$0.358$  %

## DISEÑO: CANAL PARSHALL

### CANAL PARSHALL

#### a) PARA CAUDAL MÁXIMO

1.-	Coefficiente de variación Máx. Horaria	2.00
2.-	Coefficiente de variación Min.	0.50
3.-	Caudal Promedio	3.65764 lps
4.-	Caudal Máximo Horario	7.31528 lps
5.-	Caudal Mínimo Horario	1.82882 lps

Formula medidor Parshall:  $Q = KHa^3$

w	m	k	n	Radio
3"	0.076	0.176	1.547	0.41
6"	0.152	0.381	1.58	0.41
9"	0.229	0.535	1.53	0.41
12"	0.305	0.69	1.522	0.51
1.5'	0.457	1.054	1.538	0.51
2'	0.61	1.426	1.55	0.51
3'	0.915	2.182	1.566	0.51
4'	1.22	2.935	1.578	0.61

Q m<sup>3</sup>/seg, w m, Hm.

Formula aprox.  $Q = 2.27 w Ha^{1.022}$

Tomando una garganta	w =	0.076 m
	k =	0.176
	n =	1.547

Hmax	11.12652 m
Hprom	7.10837 m
Hmin	4.54130 m

Resalto Z  $(Q_{max} H_{min} - Q_{min} H_{max}) / (Q_{max} - Q_{min})$  23.46228 m

#### Diseño del Parshall para Control de velocidad

Calculo de la diferencia de niveles S entre la solera del canal y la solera del Parshall

Qa = Qmax / Qmin	4.000
Qr = $(Qa^{10} - 1) / (Qa - 1)$	0.196
por: Hmax = 1.1 Ha	
Ha = $(Qm/K)^{1/n}$	0.13 m
Hmax =	0.14 m
Desnivel al Ingreso S = Qr * Hmax	0.028 m

#### b) SECCION DE MEDICION Ha

6.-	Dimension de la canaleta D	0.259 m
7.-	Ancho de la seccion de medicion D'	0.20 m
8.-	Velocidad en la seccion de medicion Vo	0.00 m/s
9.-	Caudal especifico en la garganta q = Q/w	0.10 m <sup>3</sup> /s/m
10.-	Dimension de la canaleta N	0.057 m
11.-	Gravedad	9.81 m/s <sup>2</sup>
12.-	Carga hidraulica disponible Eo	11.18 m
13.-	f (constante)	1.5723 rad

c) SECCION DE MEDICION Hb

14.-	Velocidad antes del resalto V1	14.81 m/s
15.-	Tirante antes del resalto Hb	0.006 m
16.-	N froude	58.64
17.-	Altura del resalto h2	0.536 m
18.-	Velocidad en el resalto V2	0.18 m
19.-	Sumergencia S = Hb/Ha	0.00

Tamaño del medidor	Descarga Libre	Con sumersion
w < 0.30 m	S < 0.6	0.60 < S < 0.95
0.30 < w < 2.50 m	S < 0.7	0.70 < S < 0.95
2.50 < w < 15.0 m	S < 0.8	0.80 < S < 0.95

Hmáx	0.49 m
Z	0.12 m
Q	180 lps
H-Hmáx-Z	0.37 m

V 0.3 m/s

b 1.622 m  
tomamos 1.7 m

L = 25 H 9.25 m  
tomamos 9.50 m

Q (m3/s)	H (m)	(H-Z) (m)	S (m)	V (m/s)
0.18	0.49	0.37	0.629	0.29
0.12	0.38	0.26	0.442	0.27
0.06	0.24	0.12	0.204	0.29

A 16.15 m2

Tasa 642.0

## DISEÑO HIDRAULICO DEL TANQUE IMHOFF

### COMUNIDAD

#### A PARAMETROS DE DISEÑO

1.- Población actual	425.00	
2.- Tasa de crecimiento (%)	0.34	
3.- Período de diseño (años)	20	
4.- Población futura	454.00	Habitantes
5.- Dotación de agua, l/(hab/día)	100.00	l/(hab x día)
Coefficiente caudal máximo diario(K1)	1.30	
Coefficiente caudal máximo horario(K2)	2.00	
6.- Factor de retorno	0.80	
7.- Altitud promedio, msnm	3898.00	m.s.n.m.
8.- Temperatura mes más frío, en °C	0.90	°C
9.- Tasa de sedimentación, m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> x h)	1.00	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> x h)
10.- Período de retención, horas	2.00	horas (1.5 a 2.5)
11.- Borde libre, m	0.50	m
12.- Volumen de digestión, l/hab a 15°C	70.00	l/hab a 15°C
13.- Relación L/B (teórica)	6.20	> a 3
14.- Espaciamiento libre pared digestor al sedimentador, metros	2.00	m 1.0 mínimo
15.- Angulo fondo sedimentador, radianes	60.00	(50° - 60°)
	1.05	radianes

16.- Distancia fondo sedimentador

Factores de capacidad relativa y tiempo de digestión de lodos

a altura máxima de lodos (zona neutra), m	0.50	m
17.- Factor de capacidad relativa	0.90	
18.- Espesor muros sedimentador, m	0.20	m
19.- Inclinación de tolva en digestor	20.00	(15° - 30°)
	0.35	radianes
20.- Numero de troncos de pirámide en el largo	2.00	
21.- Numero de troncos de pirámide en el ancho	1.00	
22.- Altura del lodos en digestor, m	2.00	m
23.- Requerimiento lecho de secado	0.10	m <sup>2</sup> /hab.

Temperatura °C	Tiempo digestión (días)	Factor capacidad relativa
5	110	2
10	76	1.4
15	55	1
20	40	0.7
> 25	30	0.5

#### B RESULTADOS

24.- Caudal medio, l/día	36.32	m <sup>3</sup> /día
25.- Area de sedimentación, m <sup>2</sup>	1.51	m <sup>2</sup>
26.- Ancho zona sedimentador (B), m	1.00	m
27.- Largo zona sedimentador (L), m	3.10	m
28.- Prof. zona sedimentador (H), m	2.00	m
29.- Altura del fondo del sedimentador	0.87	m
30.- Altura total sedimentador, m	3.37	m
31.- Volumen de digestión requerido, m <sup>3</sup>	28.60	m <sup>3</sup>
32.- Ancho tanque Imhoff (B <sub>m</sub> ), m	5.40	m
33.- Volumen de lodos en digestor, m <sup>3</sup>	20.85	m <sup>3</sup>
34.- Superficie libre, %	74.07	(min. 30%)
35.- Altura del fondo del digestor, m	0.98	m
36.- Altura total tanque Imhoff, m	6.85	m
37.- Area de lecho de secado, m <sup>2</sup>	45.40	m <sup>2</sup>

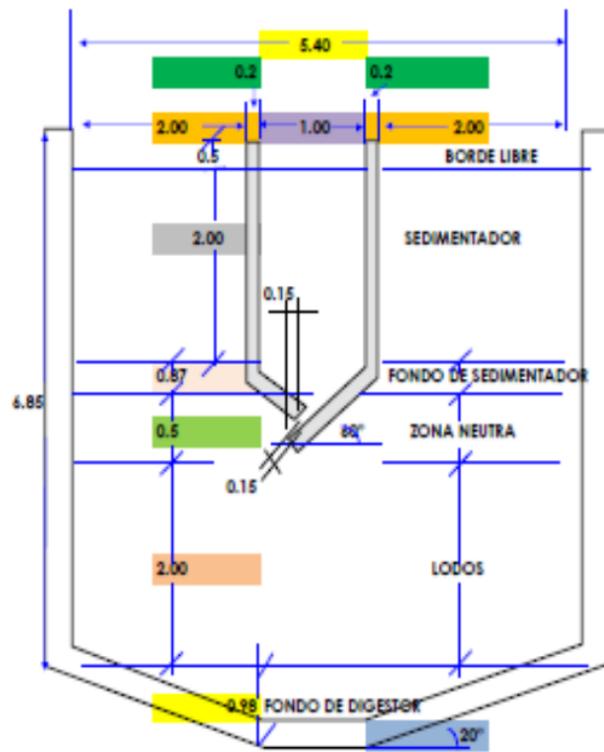
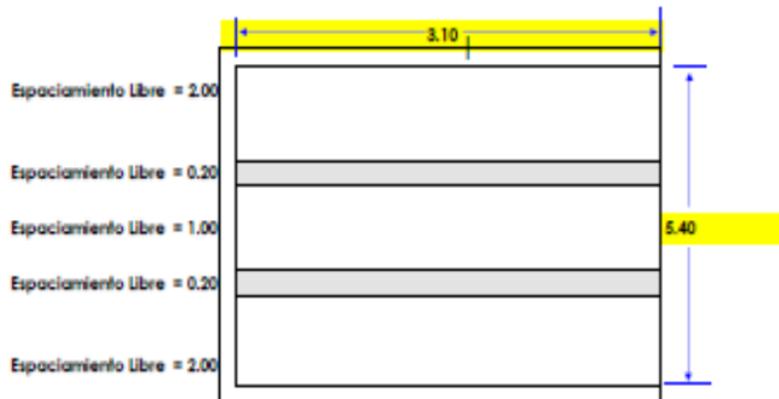
$$L/B = 3.10 \quad (3 \text{ a } 10)$$

Del Proyectista (Sedimentador)	
L = 3.10	L/B = 1.55
B = 2.00	

$$L/B_m = 0.57 \quad \text{debe ser mayor a 1}$$

Se deberá modificar las celdas: Relación L/B (teórica)(No 13), Espaciamiento libre pared digestor al sedimentador (No 14) y Altura de lodos en digestor(No 22) de tal forma que Volumen de lodos en digestor (No 33) sea > o igual a Volumen de digestión requerido (No 31).

**DISEÑO HIDRAULICO DEL TANQUE IMHOFF**



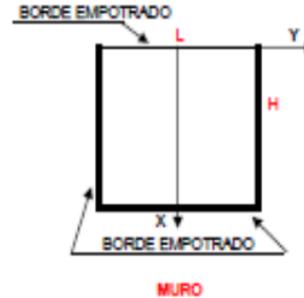
## DISEÑO ESTRUCTURAL PARA EL TANQUE IMHOFF

### 1- CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

La estructura es de tipo Rectangular:

h	=	6.35	m.	Altura Interior al nivel de agua
hi	=	0.50	m.	Altura de borde libre
H	=	6.85	m.	Altura Total Interior de losa
L	=	3.50	m.	Longitud Largo Muro Interior
L1	=	5.80	m.	Longitud Menor Muro Interior
em	=	0.20	m.	Espesor de muro (parte superior)
emf	=	0.35	m.	Espesor de muro (parte inferior)
ef	=	0.35	m.	Espesor de losa de fondo
w	=	1000.0	kg/m <sup>3</sup>	Peso específico del agua
fc	=	210.0	kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo último de compresión del concreto
fy	=	4200.0	kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo
Gs	=	1.50	kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Admisible del Suelo
gI	=	23.00	°C	Característica del Suelo

Se diseñara el Muro mas critico, es decir de mayor longitud



### 2- DISEÑO DE MUROS

#### SE EMPLEARA EL METODO DE LOS COEFICIENTES DE LA ASOCIACIÓN CEMENTO PORTLAND

El nivel de agua por fines de diseño se tomara hasta la parte superior

Se sabe que la carga actuante sobre el muro es solo por nivel de agua



Remplazando :

$$3/8H = 2.57 = 63\%$$

Wu = Peso del elemento  
Se diseña con el mas critico

$$Wu = 1000.00 \text{ kg. x m}^2$$

Se sabe que para el empleo de este método se debe identificar :

$$\begin{aligned} a &= 6.85 \text{ m. Profundidad} \\ x &= b = 3.50 \text{ m. Horizontalidad} \end{aligned}$$

Con  $x/a = 0.61$  Se Ingres a la tabla III. ( $x/a$ , se esta considerando  $x/a=0.75$ )

Se presentan datos para el diseño de tanques rectangulares, lo cual las paredes estan bajo presion  
Estos coeficientes nos permitiran determinar los momentos en la estructura

x / a	Y = 0		Y = b/4		Y = b/2	
	Mx	My	Mx	My	Mx	My
0.00	0.000	0.004	0.000	0.001	0.000	-0.007
0.25	0.001	0.008	0.000	0.002	-0.002	-0.011
0.50	0.005	0.010	0.002	0.003	-0.003	-0.017
0.75	0.007	0.007	0.003	0.003	-0.003	-0.013
1.00	-0.024	-0.005	-0.015	-0.003	0.000	0.000

Se sabe que el Momento es de :

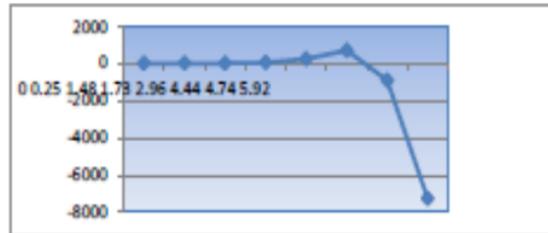
$$M = \text{Coef. x w a}^2$$

#### \* CALCULO DE LA ARMADURA VERTICAL

x / a	x	M(Y = 0)	M(Y = b/4)	M(Y = b/2)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	1.71	5.02	0.00	-10.04
0.5	3.43	200.89	80.35	-120.53
0.75	5.14	949.19	406.80	-406.80
1.00	6.85	-7714.06	-4821.29	0.00

## DISEÑO ESTRUCTURAL PARA EL TANQUE IMHOFF

X	M
0.00	0.00
0.25	0.73
1.71	5.02
1.96	33.62
3.43	200.89
5.14	949.19
5.44	-568.46
6.85	-7714.06



em. = 0.35 m.

Las características del muro es lo siguiente :

Donde :

- Ø : 0.9 Coeficiente de reducción por flexión
- b : 100 Ancho de la losa de análisis ( cm.)
- d : 27 Espesor de losa menos recubrimiento de : 4 cm.
- X : ?? Valor a determinar, resolviendo la ecuación cuadrática

Para:  $M_u = 8171.26 \text{ kg. x m}$  (Momento Máximo que se esta presentando en el muro )  
 80% del Momento maximo, por ser un momento uniforme sera la base empotrada

Además por ser una estructura que contendra agua se tiene que :

$f_y = f_{af} = 4200.0 \text{ kg/cm}^2$  Esfuerzo permisible por flexion del acero, para evitar filtración.

Resolviendo la ecuación y Reemplazando:

$p = 0.0023$  También:  $A_{smin} = 0.0025 b d = 6.81 \text{ cm}^2$   
**Para dos capas: = 3.41 cm<sup>2</sup>**  
 $A_s = 6.16 \text{ cm}^2$  >  $A_{smin}$ . Falso considerar  $A_{smin}$ .  
 **$A_s = 3.41 \text{ cm}^2$**  para dos capas

Para:

Ø 5/8" = 2.00 cm El espaciamiento será: s = 58.72

Se usara esta separacion por razones constructivas:

Se colocara Ø 5/8" a 30 en dos capas, interior

### \* CALCULO DE LA ARMADURA HORIZONTAL

x /a	x	M(x=0)	M(x=b/4)	M(x=b/2)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	1.71	40.18	10.04	-55.24
0.50	3.43	401.77	120.53	-683.02
0.75	5.14	949.19	406.80	-1762.78
1.00	6.85	-1807.10	-964.26	0.00

Las características del muro es lo siguiente :

- d : 31 Espesor de losa menos recubrimiento de : 4 cm.

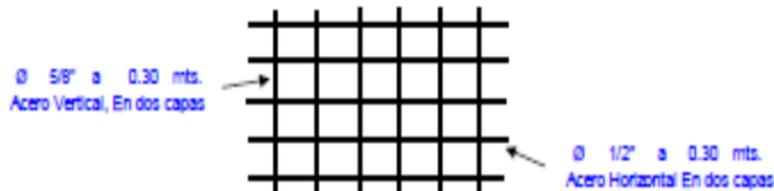
Caloulo del Aoero Horizontal

Para:  $M_u = 1807.10 \text{ kg. x m}$

## DISEÑO ESTRUCTURAL PARA EL TANQUE IMHOFF

Resolviendo la ecuación y Reemplazando:

	$p = 0.0004$	También:		$A_{min.} = 0.0025 b d$
				$A_{min.} = 7.75 \text{ cm}^2$
	$A_s = 1.38 \text{ cm}^2$	>	Amin.	Falso
Para dos capas	$A_s = 3.88 \text{ cm}^2$			considerar Amin.
Para:	$\emptyset 1/2" = 2.00 \text{ cm}^2$		El espaciamiento será:	$S = 51.61 \text{ cm}$ a dos capas
	Se usará esta separación por razones constructivas:			
	Se colocara $\emptyset 1/2"$ a 30 en dos capas.			



### 3.- DISEÑO DE LOSA DE FONDO

La estructura de la losa de Fondo según las características es de tipo Cuadrado (Verificación por ml.)

Peso de la Cobertura :  $P_c = 0.00 \text{ kg/ml}$

Peso del Muro :  $P_m = 4521.00 \text{ kg/ml}$

Peso del Agua :  $P_h = 23975.00 \text{ kg/ml}$

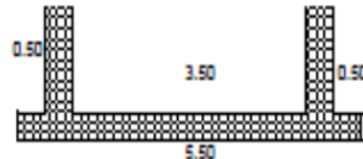
Peso losa de Fondo :  $P_f = 4620.00 \text{ kg/ml}$

Carga Actuante :  $P_t = P_c + P_m + P_h + P_f$

Reemplazando :  $P_t = 33116.00 \text{ kg/ml}$

Esfuerzo sobre el área de contacto :

$A_s = 5.50 \text{ ml} \quad ca = 0.602 < 1.60 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK}$



### \* CALCULO DEL ACERO

Esta estructura por estar apoyado sobre el suelo los Momentos que se originaran será mínimos.

$A_{min.} = 0.0025 b' d'$

$A_{min.} = 7.75 \text{ cm}^2$

Para:	$A_s = 3.88 \text{ cm}^2$	>	Amin.	Falso
Para dos capas	$\emptyset 5/8" = 2.00 \text{ cm}^2$			considerar Amin.
			El espaciamiento será:	$S = 51.61 \text{ cm}$ en dos capas

Se usará esta separación por razones constructivas:

Se colocara  $\emptyset 5/8"$  a 30 a/c en dos capas para un mejor Armado y anclajes.

## DISEÑO

b) Retención hidráulica

$$t = \frac{L + W + h + \eta}{Q} \quad (\text{Ec. 11})$$

DATOS		
Tiempo de retención	t	1.24
Longitud del estanque	L	18.46
Ancho del estanque	W	11.63
Profundidad del agua en estanque	h	0.60
Porosidad	n	0.35
Flujo promedio	Q	36.30

c) Flujo promedio

$$Q = \frac{Q_e + Q_s}{2} \quad (\text{Ec. 12})$$

Flujo promedio	Q	36.3
Flujo afluente	Q <sub>e</sub>	36.3
Flujo efluente	Q <sub>s</sub>	36.3

d) Área superficial del humedal

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_s \cdot h + \eta} \quad (\text{Ec. 13})$$

Área superficial	A <sub>s</sub>	214.8
Flujo promedio	Q	36.300
Profundidad del agua en estanque	h	0.60
Porosidad	n	0.35
Constante de Cont. Afluente	C <sub>o</sub>	245.00
Constante de Cont. Efluente	C <sub>e</sub>	130.00
Constante de velocidad	K <sub>s</sub>	0.51

e) Dimensiones del humedal

$$A_{sp} = \frac{Q_{med,d}}{K_s \cdot s} \quad (\text{Ec. 15})$$

Sección de humedal perpendicular	A <sub>sp</sub>	6.98
Caudal medio diario	Q <sub>med,d</sub>	36.30
Conductividad hidráulica	K <sub>s</sub>	16000.00
Pendiente hidráulica	m	0.01

f) Gradiente hidráulico

$$s = \frac{mh}{L}$$

Gradiente hidráulico	s	0.000325
Pendiente hidráulica	m	0.01
Longitud humedal	h	0.60
Profundidad	L	18.46

g) Ancho del humedal

$$W = \frac{A_{sp}}{h} \quad (\text{Ec. 16})$$

Ancho de humedal	W	11.635
Profundidad	h	0.600
Sección de humedal perpendicular	A <sub>sp</sub>	6.981

h) Longitud de humedal

$$L = \frac{A_s}{W} \quad (\text{Ec. 17})$$

Longitud de humedal	L	18.46
Ancho de humedal	W	11.63
Área superficial	A <sub>s</sub>	214.79

i) Área transversal

$$A_c = \frac{Q}{K_s \cdot s}$$

Área transversal	A <sub>c</sub>	6.98
Caudal	Q	36.30
Conductividad hidráulica	K <sub>s</sub>	16000.00
Gradiente hidráulico	s	0.000325

RESUMEN DEL CALCULO			
Variables	Simbología	Unidad	Valor
<b>DISEÑO BIOLÓGICO</b>			
Caudal medio diario	Q	m <sup>3</sup> /d	36.3
DBO total afluente	Co	mg/l	245.0
DBO total efluente	Ce	mg/l	130.0
Profundidad útil del humedal	h	m	0.6
Pendiente del estanque	s	%	0.1
Medio soporte			Grava
Tamaño de grano	mm		25.0
Conductividad hidráulica	Ks	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d	16000.0
Porosidad	n		0.35
Constante de velocidad	K20	1/d	1.104
Constante de velocidad	Kt	1/d	0.61
Area superficial	As	m <sup>2</sup>	214.8
<b>DISEÑO HIDRAULICO</b>			
Area seccion transversal	As	m <sup>2</sup>	6.981
ancho	W	m	11.63
Largo	L	m	18.46
<b>RECALCULANDO, VALORES FINALES</b>			
Area transversal	As	m <sup>2</sup>	5.08
Ancho del humedal	W	m	8.46
Largo	L	m	25.38
Tiempo de residencia hidraulico	t	dias	1.24

# DISEÑO DE SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ALTO CUNAS, CENTRO POBLADO CHAQUICOCHA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
5	<a href="http://repositorio.usm.cl">repositorio.usm.cl</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://www.doccity.com">www.doccity.com</a> Fuente de Internet	<1%

9	<a href="http://biblioteca.uajms.edu.bo">biblioteca.uajms.edu.bo</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
12	<a href="http://repository.ucatolica.edu.co">repository.ucatolica.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://atl.org.mx">atl.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad de Cundinamarca Trabajo del estudiante	<1 %
17	<a href="http://Repositorio.Upagu.Edu.Pe">Repositorio.Upagu.Edu.Pe</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://paraquesirven.es">paraquesirven.es</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://www.jourlib.org">www.jourlib.org</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://repositorio.udl.edu.pe">repositorio.udl.edu.pe</a>	

Fuente de Internet

<1 %

21

[docplayer.es](http://docplayer.es)

Fuente de Internet

<1 %

22

Submitted to Universidad de Manizales

Trabajo del estudiante

<1 %

23

[es.scribd.com](http://es.scribd.com)

Fuente de Internet

<1 %

24

[moam.info](http://moam.info)

Fuente de Internet

<1 %

25

[tesis.ucsm.edu.pe](http://tesis.ucsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

26

[repositorio.lamolina.edu.pe](http://repositorio.lamolina.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

27

[archivosdiversos.weebly.com](http://archivosdiversos.weebly.com)

Fuente de Internet

<1 %

28

[docslide.us](http://docslide.us)

Fuente de Internet

<1 %

29

[repositorio.unesum.edu.ec](http://repositorio.unesum.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo