

Universidad Peruana Unión

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (*Schoenoplectus californicus*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Adelis Lisbeth Coaquira Hanco

Asesor:

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, diciembre de 2018

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS**

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “***Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (Schoenoplectus californicus) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018***”, constituye la memoria que presentan los bachilleres Adelis Lisbeth Coaquira Hanco para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 31 días del mes de diciembre del año 2018.



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (*Schoenoplectus californicus*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR


MSc. Rose Adeline Callata Chura
Presidente


MSc. Jael Calla Calla
Secretario


Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani
Vocal


Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera
Asesor

Juliaca, diciembre de 2018

DEDICATORIA

A Dios, por su constante amor y misericordia que me ha brindado hasta el día de hoy.

A mis padres Carmen y Abed, con mucho amor, por ser pilares fundamentales en todo lo que soy. A mi hijo Kahel que es el regalo que Dios me ha dado, gracias a ellos logre culminar con éxito esta investigación.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios por cuidarme y otorgarme las fuerzas necesarias para culminar un objetivo más.

Al Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, mi asesor, por su gran apoyo en todos los momentos y por ser guía para la ejecución de la investigación.

Gracias a la Universidad Peruana Unión por haber permitido formarme como un profesional en sus aulas.

Así mismo a la Dirección de EP de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión, por la oportunidad de ser parte de esta Escuela.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
Capítulo I. EL PROBLEMA.....	16
1.1 Planteamiento del problema.....	16
1.2 Justificación.....	17
1.3 Objetivos de la investigación	18
1.3.1 Objetivo general.....	18
1.3.2 Objetivos específicos.	18
1.4 Presuposición filosófica	18
Capítulo II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	20
2.1 Antecedentes de la investigación	20
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	20
2.1.2 Antecedentes nacionales	20
2.1.3 Antecedentes Locales	21
2.2 Agua residual.....	22
2.3 Tipos de contaminantes de las aguas residuales.....	22
2.3.1 Contaminantes Orgánicos:	22

2.3.2	Contaminante inorgánicos	21
2.3.3	Contaminantes frecuentes en las aguas residuales.....	23
2.4	Clasificación de las aguas residuales	23
2.5	Aguas residuales industriales	23
2.6	Aguas residuales municipales	23
2.6.1	Aguas residuales domésticas	23
2.6.1.1	Características	23
2.6.1.2	Oxígeno disuelto	24
2.6.1.3	Características químicas	24
2.6.1.4	Características biológicas	24
2.7	Marco legal.....	24
2.7.1	Norma OS-090 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	25
2.7.2	Estándar de Calidad Ambiental	25
2.7.3	Límite Máximo Permisible (LMP)	25
2.7.4	Ley General del Ambiente N° 28611	26
2.8	Tipos de tratamientos de aguas residuales domésticas.....	26
2.8.1	Tratamiento preliminar	26
2.8.2	Tratamiento primario	27
2.8.3	Tratamiento Secundario	27
2.8.4	Tratamiento Natural	27

2.8.5	Humedales artificiales.....	27
2.9	Tipos de humedales de flujo subsuperficial	28
2.9.1	Humedales de flujo horizontal	28
2.9.1.1	Impermeabilización:	28
2.9.1.2	Medio granular:.....	28
2.9.2	Los humedales de flujo vertical	29
2.10	Características de la planta de totora.....	31
2.11	Protocolo de muestreo de aguas residuales	32
2.11.1	Tipo de muestra	32
2.11.1.1	Muestras simples o puntuales	32
2.11.1.2	Muestra compuesta	32
2.11.1.3	Selección del punto de monitoreo.....	33
2.11.2	Frecuencia de monitoreo.....	33
2.11.3	Toma de muestras	33
2.11.4	Cadena de custodia	33
2.12	Definición de términos	33
2.12.1	pH.....	33
2.12.2	Conductividad.....	33
2.12.3	DBO5.....	34
2.12.4	DQO.....	34

2.12.5	Oxígeno Disuelto	34
Capítulo IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	35
4.1	Tipo de investigación	35
4.2	Diseño de la investigación.....	35
4.2.1	Variable estadístico.....	35
4.3	Variables de la investigación.....	36
4.3.1	Definición conceptual de las variables	36
4.3.1.1	Variable independiente	36
4.3.1.2	Variable dependiente	36
4.4	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
4.4.1	Fase 1. Diagnostico.....	36
4.4.1.1	Identificación de la Zona de estudio	36
4.4.1.2	Determinación del caudal de diseño	39
4.4.2	Fase 2. Diseño del humedal	40
4.4.3	Fase 3. Monitoreo	41
4.4.4	Fase 4. Gabinete (post)	42
4.4.4.1	Análisis de datos	42
Capítulo V.	RESULTADOS.....	43
5.1	Evaluación de la eficiencia.....	43
5.2	Eficiencia de remoción de DBO5.....	48

5.3	Eficiencia de remoción de DQO	50
Capítulo VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
6.1	Conclusiones	52
6.2	Recomendaciones.....	53
REFERENCIAS	54

ANEXOS	58
ANEXO 1.	59
ANEXO 2.	60
ANEXO 3. Primer informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio B &C S.A.C.....	61
ANEXO 4. Segundo informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio B &C S.A.C.....	62
ANEXO 5. Tercero informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio B &C S.A.C.....	63
ANEXO 6. Cuarto informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio B &C S.A.C.....	64
ANEXO 7. Quinto informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio NKAP	65
ANEXO 8. Planos de ubicación del lugar	66
ANEXO 9. Figuras de la construcción del sistema de tratamiento de HAFSH	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.....	26
Tabla 2. Ubicación geográfica.....	37
Tabla 3. Materiales empleados en el diseño y construcción en los HAFSH.....	41
Tabla 4. Análisis de laboratorio.....	42
Tabla 5. Evaluación de la eficiencia.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Humedal construido subsuperficial de flujo horizontal (HF).....	29
<i>Figura 2.</i> Humedales construidos de flujo subsuperficial vertical.....	31
<i>Figura 3.</i> Totora	32
<i>Figura 4.</i> Mapa de ubicacion de la zona de estudio.	37
<i>Figura 5.</i> Descripción de la vivienda	39
<i>Figura 6.</i> Eficiencia de remoción.....	44
<i>Figura 7.</i> Eficiencia de remoción de pH	45
<i>Figura 8.</i> Eficiencia de remoción de SST	47
<i>Figura 9.</i> Eficiencia de remoción de DBO5.....	48
<i>Figura 10.</i> Eficiencia de remoción de DQO	50
<i>Figura 11.</i> Construcción del Humedal	67
<i>Figura 12.</i> Revestimiento con plástico al HAFSH.....	68
<i>Figura 13.</i> Cerco perimétrico de ladrillo alrededor del humedal para evitar que el lecho filtrante arrastre al plástico	68
<i>Figura 14.</i> Extracción de la totora.....	69
<i>Figura 15.</i> Plantación de la Totora.....	69
<i>Figura 16.</i> Toma de muestra	70

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de la especie, *Schoenoplectus californicus* (Totora) implementadas en los Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal en el tratamiento de aguas residuales domésticas. La investigación realizada comprende en tres etapas: el diseño del humedal, construcción del humedal y análisis de datos mediante el comportamiento cinético, utilizando el programa Statistica. Las dimensiones del humedal fueron realizadas a criterio propio. El análisis de los resultados demostró que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) de todos los parámetros físicos (pH, SST y T°), químicos (DBO_5 y DQO) antes y después. Los cuales obtuvieron eficiencias del 80 % de DBO, 64.6 % de DQO, 60.2% de SST. Se concluye, que la totora tiene una capacidad de remoción de los parámetros físico-químicos, el agua residual antes de pasar por el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, con los parámetros físico-químicos después de pasar por el sistema de tratamiento, demostrando que dicha agua se encuentran dentro de lo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, indicando que el agua residual doméstica es apta para ser vertida a un cuerpo de agua.

Palabras clave: Humedales Artificiales de flujo subsuperficial horizontal, agua residual doméstica, eficiencia de remoción, decreto supremo.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the efficiency of removal of the species, *Schoenoplectus californicus* (Totora), implemented in Artificial Wetlands of horizontal subsurface flow in the treatment of domestic wastewater. The research carried out comprises three stages: wetland design, wetland construction and data analysis through kinetic behavior, using the Statistica program. The dimensions of the wetland were made at its own discretion. The analysis of the results showed that there are significant differences ($p < 0.05$) of all physical parameters (pH, SST and T °), chemical (BOD5 and COD) before and after. Which obtained efficiencies of 80% of BOD, 64.6% of COD, 60.2% of SST. It is concluded that the totora has a capacity to remove the physical-chemical parameters, the residual water before passing through the treatment system through artificial wetlands of horizontal subsurface flow, with the physical-chemical parameters after passing through the system of treatment, demonstrating that said water is within the provisions of Supreme Decree No. 003-2010-MINAM, indicating that domestic wastewater is apt to be poured into a water leather.

Keywords: Artificial Wetlands of horizontal subsurface flow, domestic wastewater, removal efficiency, supreme decree.

CAPÍTULO I.

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La mayoría de las actividades humanas que utilizan agua generan aguas residuales. A medida que crece la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales generadas y su nivel de contaminación se encuentran en constante aumento en todo el mundo (UNESCO, 2017)

Las aguas residuales domesticas son de origen principalmente residencial los cuales serían los de la cocina, servicios higiénicos y otros de usos similares. Estas aguas presentan un alto contenido en DBO5, DQO, nitrógeno, fósforo, azufre, metales pesados.

La aparición de están aguas provocan vectores como: moscas, zancudos, ratones, ratas, cucarachas, causando enfermedades de como: fiebre, cólera, hepatitis, entre otras.

Las aguas residuales causan desagradables olores y aumentan la capacidad infectiva, esto induce a la transmisión de enfermedades y estas se conviertan en un peligro para la comunidad expuesta. (Ambiental, 2011)

Con el pasar del tiempo, se ha desarrollado varias maneras de tratar las aguas residuales domésticas como tratamientos primarios que tienen como objetivo remover los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables; seguida del primero está el tratamiento secundario.

De la misma manera los humedales artificiales son tratamientos secundarios, siendo tecnologías de bajo costo y aplicables para poblaciones pequeñas y de escasos recursos económicos, fácil operación y mantenimiento. (Rowan, 2018)

Los humedales artificiales son lugares construidos por el ser humano, donde son controlados, se reproducen formas de eliminación de contaminantes que estén dentro de las aguas residuales. (Rubio, 2014)

En la comunidad de San Antonio de Chujura Distrito de Caracoto de la provincia de San Román , las aguas residuales domesticas no son tratadas de manera adecuada, principalmente en las comunidades, por lo cual no tienen ningún sistema de alcantarillado, y es por ello que las aguas residuales domesticas son vertidas directamente en la agricultura, siendo un gran peligro para la población es por esta razón que se quiere emplear el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales artificiales, por ser un método eficaz, fácil y de bajo costo, y adaptable para la población por ser mínima.

1.2 Justificación

A causa de las actividades diarias realizadas por la población de San Antonio de Chujura, se obtienen aguas residuales domésticas, los cuales son vertidos directamente no tienen ningún tratamiento los cuales están contaminando los suelos y los cuerpos subterráneos de agua, provocando la pérdida de flora y fauna en dichos cuerpos, y la infertilidad de suelos.

La colocación de los humedales artificiales en la comunidad de San Antonio de Chujura, será una de las alternativas de solución para la problemática de las aguas residuales domésticas, en el aspecto ambiental porque se podrá verter el agua a un cuerpo receptor, finalmente queremos minimizar los impactos hacia otros cuerpos, evitando la pérdida de flora y fauna; en cuanto a la

salud colectiva reducirá las enfermedades gastrointestinales y otros asociados con la contaminación del agua (Asuman, 2003).; todo les favorecerá a la comunidad.

Por consiguiente, con el presente trabajo busca brindar una solución de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, dando a conocer cada etapa del proceso y que material será utilizado, para que otras personas sigan investigando y puedan dar soluciones al problema que se tiene con las aguas residuales domésticas, con la utilización de tecnologías limpias.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general.

- Determinar la eficiencia de la especie, *Schoenoplectus californicus* (Totora) implementadas en los Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad San Antonio de Chujura.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Implementar un sistema de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.
- Determinar la Demanda Química de oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, SST, pH y T° a la entrada y salida del humedal.

1.4 Presuposición filosófica

El agua es un recurso renovable y vital para la que exista la vida de todos los organismos vivos, En Eclesiastés 1:7 hace habla del ciclo hidrológico “Todos los ríos van a dar al mar, pero el mar jamás se sacia. A su punto de origen vuelven los ríos, para de allí volver a fluir”, el cual permite que el agua sea renovable. Además, en Génesis 1:31 menciona “Y vio Dios todo lo que

había hecho, y he aquí que era bueno en gran manera”, esto indica que al principio todo era perfecto. Jesús habló del agua en Juan 4:13-14 “Respondió Jesús y le dijo: Todo el que beba de esta agua volverá a tener sed, pero el que beba del agua que yo le daré, no tendrá sed jamás, sino que el agua que yo le daré se convertirá en él en una fuente de agua que brota para vida eterna” esto indica que Jesús es muy fundamental para nuestras vidas para la vida eterna, y el agua que consume todo organismo vivo es para la subsistencia de la vida más no para la vida eterna.

La hermana Elena G. de White nos da el mensaje de salud que es instruido por ella. Nos dice que el agua pura y una de las más deliciosas bendiciones que Dios nuestro padre no ha brindado El consumo y su uso del agua nos dan un beneficio para la salud, Esta bebida Dios no ha dado para que ya no haya sed en los animales y hombres, el agua reemplaza lo que nuestro cuerpo nos pide y también ayuda a nuestro medio ambiente y se pone en contra a todo tipo de enfermedad. El uso de agua según lo que la hermana debe ser moderado.

CAPÍTULO II.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

El proyecto ejecutado por (Romero, Sanchez, Colin y Laura, 2009) en México realizaron la evaluación de la eliminación del porcentaje de la carga orgánica de aguas residuales en humedales artificiales de flujo horizontal, con dos especies vegetales. Este sistema fue diseñado con tres módulos de forma secuencial. El primer módulo la especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel; en el segundo, los organismos de la especie *Typha dominguensis* (Pers.) Steudel, y por último fue el tercero, ambas especies. Los módulos experimentales se instalaron en el efluente de aguas residuales municipales provenientes del edificio de investigación. Los parámetros analizados son: demanda química de oxígeno (DQO), iones de nitrógeno y fósforo total. En conclusión, se demostró que el sistema es una excelente alternativa para la eliminación de materia orgánica y sus nutrientes, de bajos costos de operación y mantenimiento.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En la investigación realizada en la comunidad de Pomachaca del distrito de Tarma – Junín por (Cuadrado-Campo, Vicuña-Orihuela, y Torres-Gutiérrez, 2014) Se determinó la efectividad de remoción de fierro con la planta *Scirpus californicus* en un prototipo de humedal construido de flujo superficial. La metodología que utilizaron consistió en la construcción de un humedal

el cual lo cubrieron con material plástico, acondicionando 90 plantas de *Scirpus californicus* en 480 litros de solución de fierro. La ejecución tuvo una duración de 12 días, analizando las raíz-rizoma, tallo sumergido y tallo aéreo previo lavado con agua destilada, también se realizó el análisis la disminución del fierro en la solución, con el método de análisis por absorción atómica y el pH. Se llegó a la conclusión que la absorción de fierro por la planta *Scirpus californicus* (totora) alcanzó una mayor absorción de fierro por la raíz.

En Trujillo se realizó la investigación de laboratorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo por (Cuadrado-Campo et al., 2014) Donde se determinó la aptitud acumuladora que tenía el cadmio en raíces de *scirpus californicus* en condiciones de laboratorio; para ello, luego de que la planta se adapte, se tuvo una duración de 30 días, se aplicó el diseño experimental que induce a que creciendo los cinco tratamientos: 0; 0,5; 1,0; 1,5 y 2,0 ppm de cadmio, durante 15 días. La concentración de cadmio en las raíces fue determinada mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, se encontró que las raíces del tratamiento con 1,5 y 2,0 ppm de cadmio absorbieron mayor cantidad, con cambios severos en el color, engrosamiento y crecimiento longitudinal. Concluyendo que las raíces de *s. californicus* tienen capacidad de acumular, tolerar y resistir altas concentraciones de cadmio.

2.1.3 Antecedentes Locales

En la región de Puno no hubo ningún estudio realizado acerca del tratamiento de aguas residuales domésticas, solo registra un caso encontrado en Bolivia en el municipio de Mizque, donde se dio una alternativa de construcción Humedales Artificiales con la totora. Se puede deducir que en Puno si se puede tratar sus aguas residuales domésticas con humedales artificiales, ya que el país vecino presenta el mismo clima que Puno, este sistema de tratamiento

de agua residual resultaría viables por su bajo costo de sostenimiento y operación. (Rowan, 2018).

2.2 Agua residual

Según el OEFA el agua residual, son aguas que han sido modificadas sus características por las actividades que día a día realizan los hombres, para que sean rehusadas y posteriormente vertidas a un cuerpo natural de agua o como también podrían ser descargadas a un sistema de alcantarillado necesitan un tratamiento previo. (OEFA, 2014).

En su totalidad de las aguas residuales son abocadas a los cuerpos receptores de agua (ríos, lagos y mar) y suelos, ocasionando efectos mortales como el decaimiento de oxígeno, (Ocola, 2005). Algunos cuerpos de agua son de gran importancia económica, llegando a un punto de no retorno (UNESCO, 2011).

2.3 Tipos de contaminantes de las aguas residuales

2.3.1 Contaminantes Orgánicos:

Dentro de los contaminantes orgánico tenemos las proteínas que estas provienen de las heces se los seres humanos o como también de los desechos de los alimentos, otro contaminante que también está dentro de estas es la de los carbohidratos que provienen de los desperdicios de los alimentos del hombre, entre estos también se encuentran los aceites y grasas que provienen de las actividades que se realiza en la cocina. (Eduardo 2010).

2.3.2 Contaminantes inorgánicos

Los contaminantes inorgánicos son de origen de diferente procedencia, los primordiales son las que proceden de las industrias. (Eduardo, 2010)

2.3.3 Contaminantes frecuentes en las aguas residuales

Dentro de los contaminantes habituales son las arenas, el nitrógeno y fosforo y como también los patógenos (Eduardo, 2010).

2.4 Clasificación de las aguas residuales

Existen tres tipos de aguas residuales que son:

2.5 Aguas residuales industriales

Son las aguas que resultan de las actividades realizadas en las distintas industrias, incluyendo la minería; que contienen principalmente metales pesados y sustancias tóxicas para los cuerpos receptores y la vida humana. Son una de las aguas más contaminadas y requieren de un tratamiento para su vertimiento (OEFA, 2014).

2.6 Aguas residuales municipales

Es la combinación de las aguas pluviales o aguas residuales que son de origen industriales, tienen que ser anticipadamente tratadas para que cumplan con los requisitos y puedan ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (Norma OS.090, 2006).

2.6.1 Aguas residuales domésticas

Este tipo de agua son procedentes de la actividad humana, consisten en los residuos humanos, que llegan a las redes de alcantarillado, otros puntos de generación son de establecimientos comerciales, puestos ambulantes y otros similares. (González, 1999)

2.6.1.1 Características

Las aguas residuales domésticas son de tres tipos de características:

2.6.1.2 Oxígeno disuelto

Es una de las pruebas más simples e importantes, para determinar por su concentración la contaminación de corrientes o los cuerpos de agua. Es una de las condiciones más importantes para que exista crecimiento y reproducción de una población normal de peces y otros organismos acuáticos (Sierra, 2011).

2.6.1.3 Características químicas

La Demanda Química de Oxígeno es una prueba ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua según Sierra (2011 pág 77), es más afirme que a diferencia de la DBO, en esta prueba la materia orgánica es oxidada utilizando una sustancia química y no microorganismos.

2.6.1.4 Características biológicas

La DBO expresa la cantidad de oxígeno para la degradación por los microorganismos, materia orgánica, el DBO en práctica nos permite apreciar la carga del agua en materias putrescibles y su poder de depurador y de esto se puede deducir la carga máxima aceptable. (Seoáñez Calvo y Gutiérrez de Ojesto, 2018).

2.7 Marco legal

En Perú, se tiene normativas orientadas al lograr la adecuación ambiental de diversas actividades económicas desarrolladas en Perú, teniendo leyes, reglamentos, disposiciones, decretos supremos y otros.

2.7.1 Norma OS-090 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

La norma OS-090 fue aprobada mediante D.S. N° 011-2006-VIVIENDA y modificada por D.S. N° 022-2009-VIVIENDA; en el numeral 3.116, menciona sobre el reúso de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico (NORMA OS.090, 2006)

2.7.2 Estándar de Calidad Ambiental

El ECA es la medida que determina el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que estos estén dentro del aire, suelo o agua, en la condijio de cuerpo receptor que no represente un riesgo significativo para las personas, ni para el medio ambiente". (MINAM, 2008)

2.7.3 Límite Máximo Permisible (LMP)

Es la medida de la concentración de sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser sobrepasada puede causar daños a la salud y al medio ambiente. (MINAM, 2010).

Tabla 1.*Limites máximos permisibles para los efluentes de PTAR*

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: MINAM (2010)

2.7.4 Ley General del Ambiente N° 28611

Según el MINAM (2009), premisa el “derecho irrenunciable de toda persona tiene a gozar de un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo pleno de la vida.

En el artículo 74, nos indica las “medidas de seguridad donde dice que de manera directa está prohibido la descarga de sustancias contaminantes que provoquen degradación de los ecosistemas o alteren la calidad del ambiente, sin previamente ser tratada, siendo la autoridad competente la encargada de aplicar las medidas de control.

2.8 Tipos de tratamientos de aguas residuales domésticas

2.8.1 Tratamiento preliminar

Este tipo de tratamiento sirven para incrementar su efectividad en el proceso de la depuración.

(Alberto Romero Rojas, 2018)

2.8.2 Tratamiento primario

Los desagües sanitarios o separados llevan las aguas residuales desde las casas y negocios a la planta de tratamiento; otros drenajes combinados llevan el agua de tormenta de los drenajes de aguas pluviales. (Interapas, 2015).

2.8.3 Tratamiento Secundario

Son procesos biológicos aerobios, anaerobios y fisicoquímicos. (NORMA OS.090, 2006).

2.8.4 Tratamiento Natural

Son aquellos tratamientos que imitan los fenómenos que ocurren espontáneamente en la naturaleza (Luna & Castañeda, 2014).

2.8.5 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de agua residual, que en su totalidad de veces tienen un fondo sobre el que se coloca un lecho de gravas, para que las plantas puedan crecer con facilidad. Los humedales logran el tratamiento de las aguas residuales a través de la sedimentación, absorción y metabolismo bacterial. Como también, interactúan con la atmósfera. (Cuenca, Alvarado, y Camacho, 2012)

Cada proceso realizado como físicos, químicos y biológicos, que realizan por los vegetales y microorganismos, estos son capaces de depurar el agua residual anulando cantidades considerables de materia orgánica, fósforo, nitrógeno y en otros casos la de productos tóxicos. (Cuenca et al., 2012)

Los humedales son idóneos para proveer una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes coligada con material particulado. (Llagas Chafloque y Guadalupe Gómez, 2006)

Los humedales artificiales son un tratamiento de aguas residuales viable en las zonas rurales debido a su bajo costo de operación y simplicidad en tecnología de gestión. (Morales,2013).

2.9 Tipos de humedales de flujo subsuperficial

2.9.1 Humedales de flujo horizontal

Este tipo de humedal circulan horizontalmente mediante un medio granular y la de los rizomas y raíces de las plantas. Se caracteriza por principalmente por su funcionamiento constante dentro del agua.

Estos humedales están constituidos por estructuras de entrada del efluente.

El agua residual que tratar los humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal es alimentada por un extremo del sistema que cuenta con los elementos necesarios para una distribución homogénea por el lecho del humedal.

2.9.1.1 Impermeabilización:

Es muy importante colocar una barda impermeable para que se evite la contaminación. (Morales, Gabriela; López, Daniela; Vera, Ismael; Vidal, 2013)

2.9.1.2 Medio granular:

En las partes de entrada y salida se instalan piedras para que se puedan distinguir esta zona. En esta parte del humedal suceden múltiples procesos. (Morales, Gabriela; López, Daniela; Vera, Ismael; Vidal, 2013)

La finalidad de que el humedal tenga vegetación en funcionamiento es que las raíces y rizomas de las plantas suministren una superficie apta para el crecimiento de la biopelícula. (Morales, 2013)

Una vez desarrollada las plantas reducirán la intensidad de la luz, y esto puede perjudicar el proceso de la depuración, pero en caso de los climas fríos, la vegetación protege la congelación.

Para la elección de la vegetación que se utilizara deben tener las siguientes características:

Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales. (Frers, 2008).

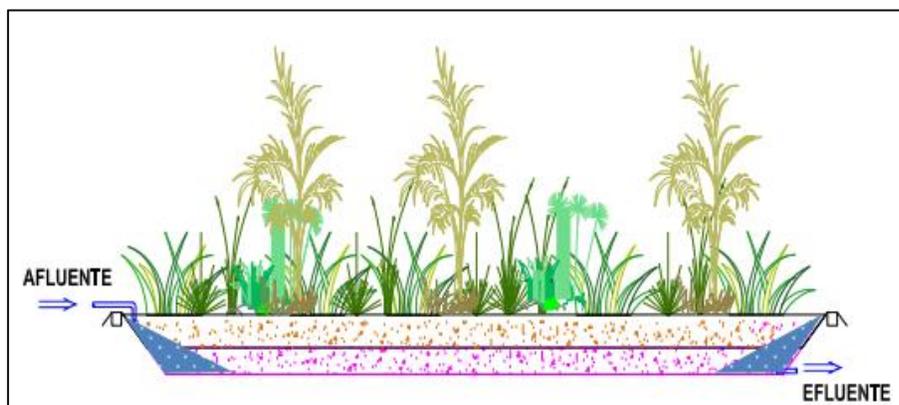


Figura 1. Humedal construido subsuperficial de flujo horizontal (HF)

Fuente: Frers (2008)

2.9.2 Los humedales de flujo vertical

Este tipo de humedal es una opción a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. Se pueden acoplar con los horizontales para que se realicen de forma audaz, los procesos de nitrificación y desnitrificación.

Están formando verticales están conformados por los siguientes elementos:

- Estructuras de entrada del afluente
- Impermeabilización
- Medio granular,

- Vegetación
- Estructuras de salida.

En ocasiones suelen incorporar tuberías de aireación. Todos estos aspectos están relacionados con la impermeabilización y la vegetación.

En cuanto a las estructuras de entrada y salida, su distribución y la recogida del agua debe ser de manera uniforme.

En caso de los climas fríos se suele instalar enterradas en el lecho y por debajo de la superficie esto se realiza para que no se congele.

La recogida del agua se desarrollará mediante redes de tuberías instaladas en el fondo del lecho y así mismo a lo largo de él. (Morales,2013).

El medio granular debe ser tres capas horizontales con distinta granulometría, y esta aumenta con la profundidad del lecho.

Las tuberías de aeración nos ayudan para ventilar el lecho en la profundidad y para que así pueda mejorar los procesos de la degradación.

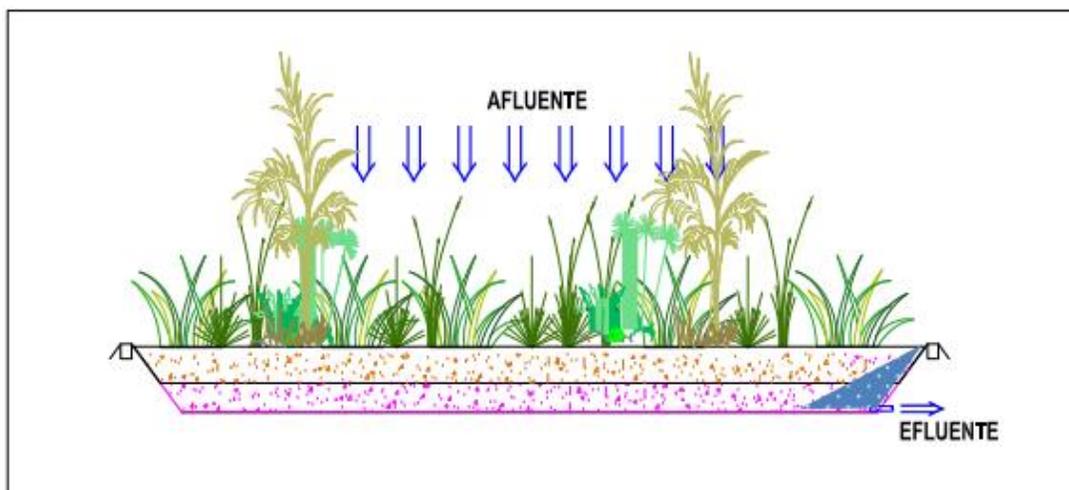


Figura 2. Humedales construidos de flujo subsuperficial vertical

Fuente: Frers (2008).

En la comunidad San Antonio de Chujura, del distrito de Caracoto, Provincia de San Román Departamento Puno, las aguas residuales domésticas no son tratadas adecuadamente principalmente en las comunidades, ya que son utilizados directamente en la agricultura, motivo por el cual se requiere utilizar el tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales, ya que es un método eficiente, fácil y económico, accesible a presupuesto cómodos, y sobre todo porque no se puede implementar tratamientos convencionales.

2.10 Características de la planta de totora

La Totora es una macrófita con propiedades y usos históricos que respalda su uso potencial en la construcción contemporánea y para minimizar la presión sobre las plantaciones forestales convencionales mediante la diversificación de las fuentes de materiales basados en biomasa os avances recientes en el campo de la construcción de madera han demostrado la viabilidad y las ventajas del uso de materiales basados en madera en estructuras de edificios altos y otros usos constructivos masivos. (Vidal, 2013).



Figura 3. Totora

Fuente: Elaboración Propia.

2.11 Protocolo de muestreo de aguas residuales

Se tomará como referencia el protocolo estandarizado por él (Ministerio de Agricultura & ANA, 2010).

2.11.1 Tipo de muestra

2.11.1.1 Muestras simples o puntuales

Las muestras simples o puntuales interpretan la composición de cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancia particular en la que se realiza su captación; y también para su representación de un pico alto o mínimo para su análisis individual. (ANA, 2016).

2.11.1.2 Muestra compuesta

Es la mezcla de muestras sencillas o puntuales pueden ser tomadas en el mismo lugar, pero en distintos tiempos. (ANA, 2016)

2.11.1.3 Selección del punto de monitoreo

La ubicación de los puntos dependerá de la ubicación del punto de la descarga (ANA, 2016)

2.11.2 Frecuencia de monitoreo

Para la frecuencia se debe tener en cuenta las variaciones en el volumen de aguas residuales generadas por la actividad, la agregación de nueva sustancia en el proceso del generador, el aumento de la productividad de la actividad y la estacionalidad del cuerpo receptor del vertimiento de las aguas residuales. (ANA, 2016)

2.11.3 Toma de muestras

Las muestras de agua deberán ser recogidas en frascos de plástico o frascos de vidrio, lo cual dependerá del parámetro a analizar. De igual forma el volumen necesario de muestra queda establecido por método analítico empleado por el laboratorio responsable de los análisis (ANA, 2010)

2.11.4 Cadena de custodia

Es el procedimiento donde se verifica y vigila la muestra, abarca los métodos para tomar la muestra y la de su preservación, codificación, transporte y la de su correspondiente análisis. Está es fundamental para afirmar la integridad de la muestra de la toma hasta el reporte de sus resultados. (DIGESA, 2009).

2.12 Definición de términos

2.12.1 pH

Es la medida de un total de protones (H⁺).

2.12.2 Conductividad.

La habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido.

2.12.3 DBO5.

Cantidad de oxígeno consumida durante 5 días.

2.12.4 DQO

Es el parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

2.12.5 Oxígeno Disuelto

Es la saturación de oxígeno que mide relativamente la concentración de oxígeno que se disuelve o transporta en un medio dado como una proporción de la concentración máxima que puede disolverse en ese medio.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

En la investigación desarrolla se utilizarán varios materiales y diferentes métodos.

3.1 Tipo de investigación

El proyecto presente está orientado a una investigación cuantitativa, el modelo de investigación es secuencial se da con una serie de procesos para llegar a la finalidad, y probatorio porque necesita de análisis para poder comprobar que los resultados son ciertos. Asimismo, la recolección de los datos se fundamenta en la medición de los parámetros fisicoquímicos, que se lleva a cabo por procedimientos estandarizados, esto es porque los datos obtenidos son números o cantidades.

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Variable estadístico

Esta investigación es pre-experimental con dos mediciones, la cual consta de un antes (preprueba) y después (postprueba). (Roberto Hernandez Sampieri, Carlos Fernandez Collado, s. f.)

Este diseño aplica mediciones de las aguas residuales domesticas entre sus parámetros fisicoquímicos antes del tratamiento, dar un monitoreo durante el tratamiento y al culminar

realizara mediciones de los parámetros físico -químicos del agua, y siguiendo esto podremos determinar el nivel de remoción de la carga orgánica del agua residual.

3.3 Variables de la investigación

3.3.1 Definición conceptual de las variables

3.3.1.1 Variable independiente

- Sistema de tratamiento mediante el Humedal artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal con la utilización de la especie totora como tratamiento de aguas residuales domésticas

3.3.1.2 Variable dependiente

- Remoción de Materia Orgánica de las aguas residuales domésticas.

3.4 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Fase 1. Diagnostico

3.4.1.1 Identificación de la Zona de estudio

3.4.1.1.1 Lugar de ejecución

La construcción del Humedal Artificial se realizará en la comunidad “Chujura” en el sector de Chilliwapampa, que cuenta con una superficie de 285.9 Km².

Se encuentra ubicado en el departamento de Puno, distrito de Caracoto, provincia San Román.

Tabla 2.
Ubicación geográfica

	Sur	Oeste
Coordenadas Geográficas UTM	15° 34' 09"	70° 06' 26"

Fuente. Elaboración Propia

El total de la población de la comunidad San Antonio de Chujura, en un total de 109 pobladores. La población en total vendría a ser 40 familias.

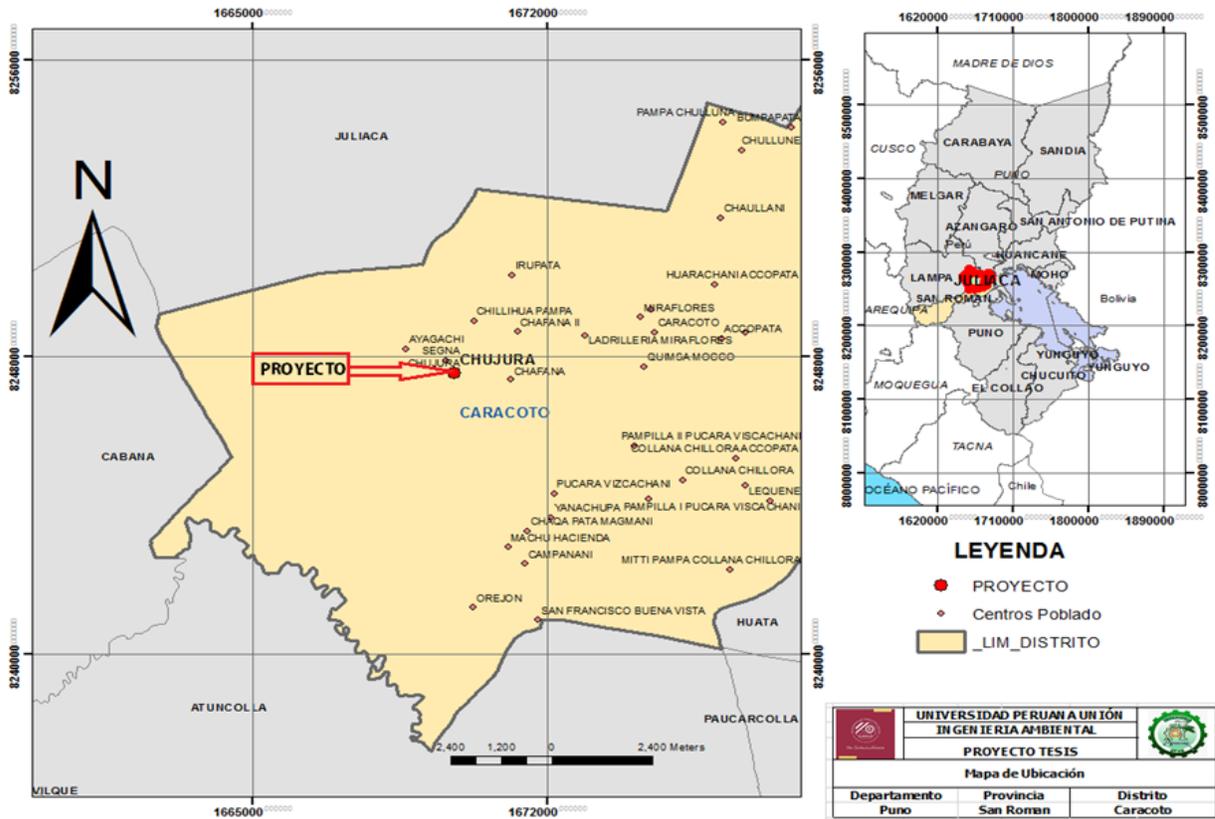


Figura 4. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fuente. Elaboración Propia

3.4.1.1.2 Límites

Según el reconocimiento de los comuneros y la municipalidad Distrital de Caracoto, la comunidad san Antonio de Chujura tiene los límites siguientes:

- Por el Norte: con huata y coata
- Por el Sur: con los distritos de paucarcolla y atuncolla
- Por el Oeste: con el distrito de cabana
- Por el norte: con el distrito de Juliaca.

3.4.1.1.3 Clima

En cuanto al aspecto climatológico la comunidad de Chujura se puede distinguir dos periodos diferentes; la primera entre los meses octubre – abril se tiene un clima “lluvioso”, y el segundo periodo climático se da entre mayo – septiembre; denominado por los pobladores como de clima frío y seco. (Apaza, 2016)

3.4.1.1.4 Descripción De La Vivienda

La vivienda está construida por material noble. Sus techos son de calamina, está conformada por 5 habitantes. La vivienda vierte sus aguas residuales domésticas a un pozo séptico sin ningún tratamiento el cual se ubica a la parte de atrás de la vivienda.



Figura 5. Descripción de la vivienda

Fuente. Elaboración Propia

3.4.1.1.5 Caracterización del Agua De La Vivienda

Se debe realizar el muestreo simple, en un día de la semana de Domingo a sábado, donde las actividades de la vivienda se desarrollan entre 6:30 am a 9:00 am concernientes al abastecimiento de agua y el vertido de las mismas, esta hora es donde el caudal máximo horario tiene la mayor cobertura, continuidad y carga orgánica presente en dicha agua.

3.4.1.2 Determinación del caudal de diseño

Para poder saber el caudal se realizó lo siguiente:

El método que se utilizó para saber el aforo del caudal fue el método volumétrico, que nos da protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos autoridad nacional del agua, este método consta de un cronómetro y un recipiente aforado. Se estima el tiempo que demora

el llenado de agua del recipiente; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal en ese instante, mediante la siguiente ecuación:(ANA, 2016)

$$Q=V*T$$

Dónde:

Q: Caudal (m³/seg)

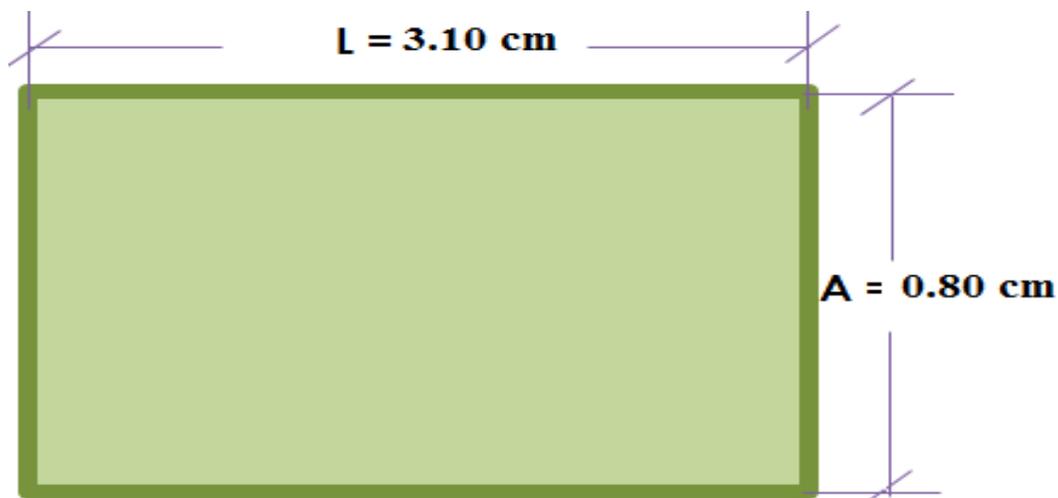
V: Volumen (litros)

T: Tiempo en llenar el recipiente (minutos)

Evaluación de parámetro de Diseño

3.4.2 Fase 2. Diseño del humedal

El diseño del humedal se realizó sin ningún método, se determinó las medidas a criterio propio, el área superficial del humedal fue de 0.80 cm. El largo de 3.10 cm y la altura de 80 cm.



- Sustrato:

En cuanto al sustrato: Se colocó la grava de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3.

Materiales empleados en el diseño y construcción en los HAFSH

Tipo de material	Diámetro efectivo (mm)	Conductividad hidráulica (m³/m²/d)	Porosidad, n %
Arena gruesa	2	100-1.000	28-32
Arena Gravosa	8	500-5.000	30-35
Grava fina	16	1.000-10.000	35-38
Grava Mediana	32	10.000-50.000	36-40
Roca gruesa	128	50.000-150.000	38-45

Fuente: (Delgadillo et al., 2010).

En cuanto al tiempo de retención hidráulica se realizó a los 7 días, y se observó la remoción de la materia orgánica (Delgadillo et al., 2010).

3.4.3 Fase 3. Monitoreo

El muestreo consistirá en:

Se realizó mediante lo indicado en Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales los siguientes parámetros.

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- SST.
- pH.
- T° C.

Una vez que acabe el muestreo de los parámetros químicos y físicos, fueron enviados al laboratorio B&C S.A.C para su respectivo análisis.

Tabla 4.
Análisis de laboratorio

Parámetro	Método	Referencia
DBO5	Método de incubación	(Fernández y Curt, 2011)
DQO	Método de Reflujo Cerrado	(Fernández y Curt, 2011)
SST	Método gravimétrico	(Fernández y Curt, 2011)
pH	Potenciómetro	(Metodos, 2008)
T° C	Termohidrometro	(Metodos, 2008)

Fuente: Adaptado por (Métodos, 2008 , (Fernández y Curt, 2011)

3.4.4 Fase 4. Gabinete (post)

3.4.4.1 Análisis de datos

Los datos acumulados serán incluidos y analizados, mediante el comportamiento cinético, el cual evaluara las diferencias entre el antes y el después de tratamiento de agua residual doméstica.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación de la eficiencia

Tanto los análisis físico - químicos (DBO5, DQO, SST y pH), antes y después del tratamiento mediante el sistema de humedales artificiales, fueron realizados por el Laboratorio de ensayo B&C S.A.C, Juliaca. (Ver tabla 5).

Tabla 5.
Evaluación de la eficiencia

Parámetros	Unidad	Valor inicial	Valor final	% Remoción
SST	mg/L	171	68	60.2
DBO5	mg/L	185.2	37	80.0
DQO	mg/L	198	70	64.6

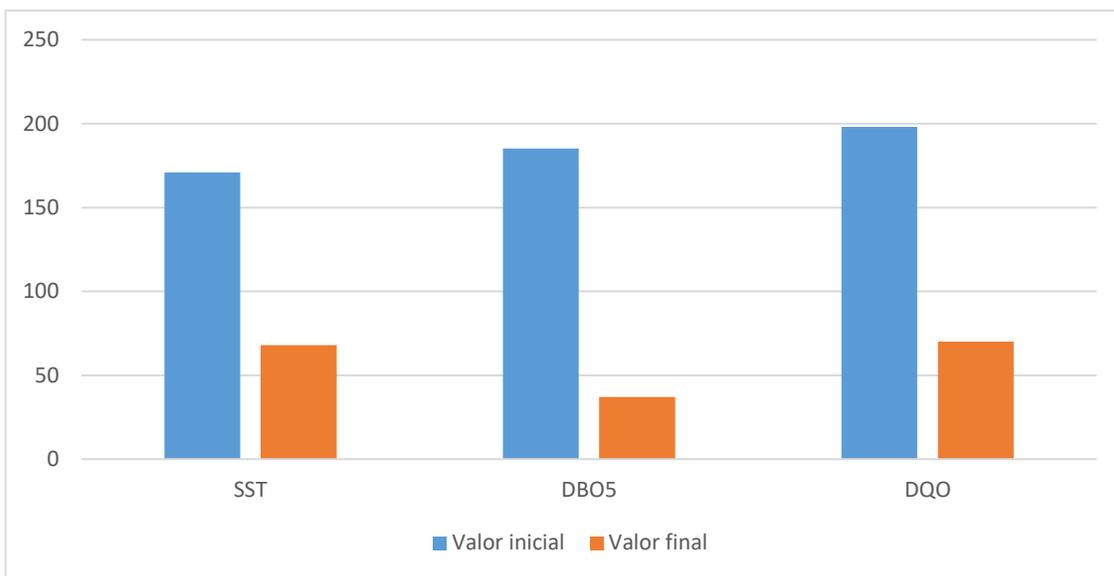


Figura 6. Eficiencia de remoción los valores iniciales

Fuente. Elaboración Propia

Como se muestra en la figura N° 6, los valores iniciales de SST, DBO₅ Y DQO antes de pasar por el tratamiento de agua residual mediante el humedal y despues de 44 dias del tratamiento cuanto reducio los valores de los parametros. Viendo la grafica luego de ser tratada el agua residual domestica, los valores indicados estan dentro de del limite maximo permisible esto nos indica que el agua puede ser vertida a un cuerpo receptor.

4.2 Eficiencia de remoción de pH

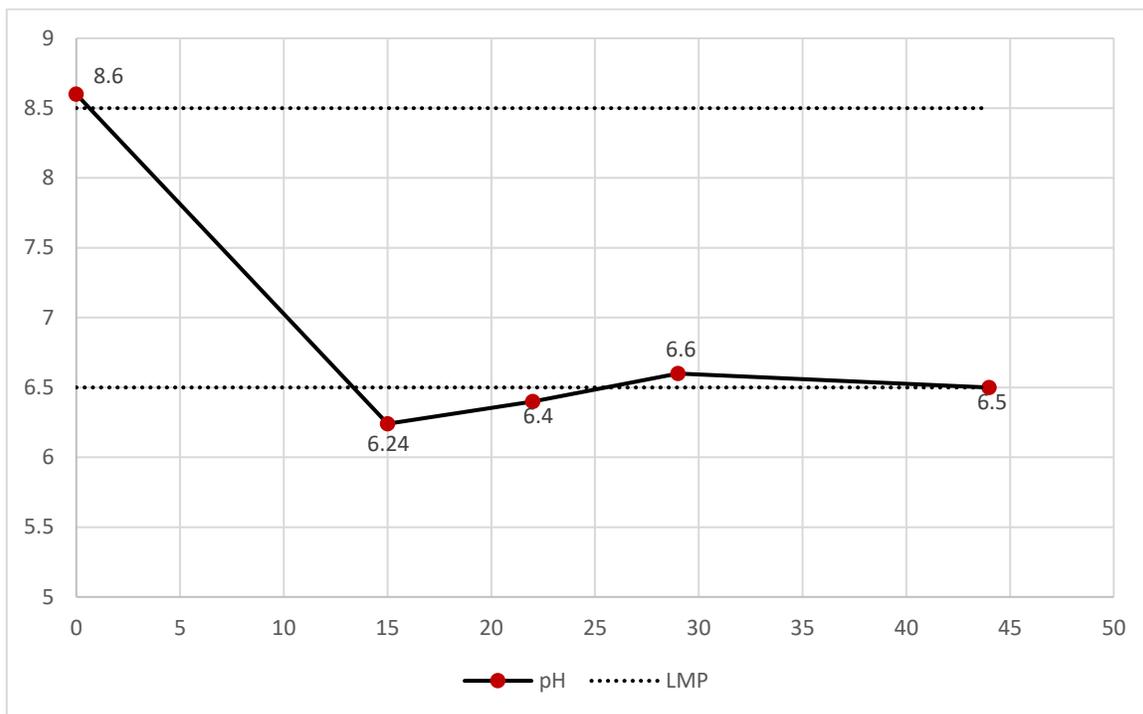


Figura 7. Eficiencia de remoción de pH

Fuente. Elaboración Propia

De acuerdo al análisis estadístico realizado, si existe una diferencia notable entre el valor inicial y el final, al aplicar el tratamiento de humedales sub superficial de flujo horizontal con totora ($p = < 0.05$).

Por otro lado, considerando que existe una variación durante los periodos de análisis, se ha evaluado el comportamiento cinético del parámetro en estudio para finalmente determinar la siguiente ecuación ($R^2 = 0.5107$):

$$f(x) = a * \exp(b * x) \dots (1)$$

Donde:

a: 180.5 (117.8, 243.2)

b: -0.0627 (-0.1025, -0.0229)

x: tiempo (días).

Se puede observar por el valor negativo de “b” que según el modelo los datos disminuyen con el pasar del tiempo.

En un inicio el agua residual doméstica se encontraba con un pH de 8.6 que esta adecuado, pero después del tratamiento mediante humedales artificiales el resultado cambio y fue un pH que también es estable de 6.5. El cual es óptimo para el crecimiento de bacterias nitrificantes ya que estas crecen en ambientes con pH entre 6.5 a 8.6.

Asimismo, Romero (2004) menciona que el contenido típico de materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasa y el pH puede variar de 6.5 a 8.0 por dicho contenido (Metcalf & Eddy, 1991)

La eficiencia de remoción de pH fue del 24.4 %.

4.3 Eficiencia de remoción de SST

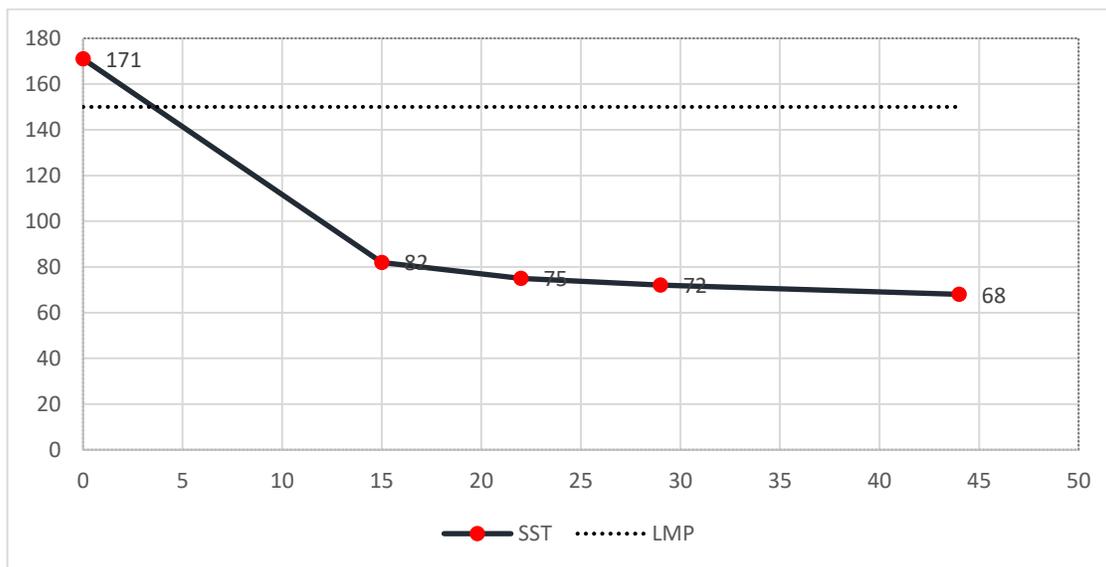


Figura 8. Eficiencia de remoción de SST

Fuente. Elaboración Propia

De acuerdo al análisis estadístico realizado, como se observa en la figura N° 8 si existe una diferencia entre el valor inicial y el final, al aplicar el tratamiento de humedales sub superficial de flujo horizontal con totora ($p < 0.05$).

Por otro lado, considerando que existe una variación durante los periodos de análisis, se ha evaluado el comportamiento cinético del parámetro en estudio para finalmente determinar la siguiente ecuación ($R^2 = 0.5107$):

$$f(x) = a * \exp(b * x) \dots (2)$$

Donde:

a: 180.5 (117.8, 243.2)

b: -0.0627 (-0.1025, -0.0229)

x: tiempo (días)

Se puede observar por el valor negativo de “b” que según el modelo los datos disminuyen con el tiempo.

La cantidad de sólidos suspendidos totales en el agua antes de ingresar al humedal fue 171 mg/l, y a la salida se obtuvo un resultado de 68 mg/l. Demostrando una eficiencia de remoción de un 60.2 %. En un período de tiempo de 44 días. Esta eficiencia se debe a la degradación biológica (materia orgánica) realizada por los microorganismos adheridos a la superficie de las plantas, así como por los microorganismos que se encuentran en la columna de agua.

En los humedales artificiales subsuperficiales los problemas de resuspensión por el viento no se dan debido a que trabajan sin contacto con el aire, siendo así que las concentraciones de sólidos son menores que en los humedales de flujo superficial o libre (Tanner, 2000)

4.4 Eficiencia de remoción de DBO₅

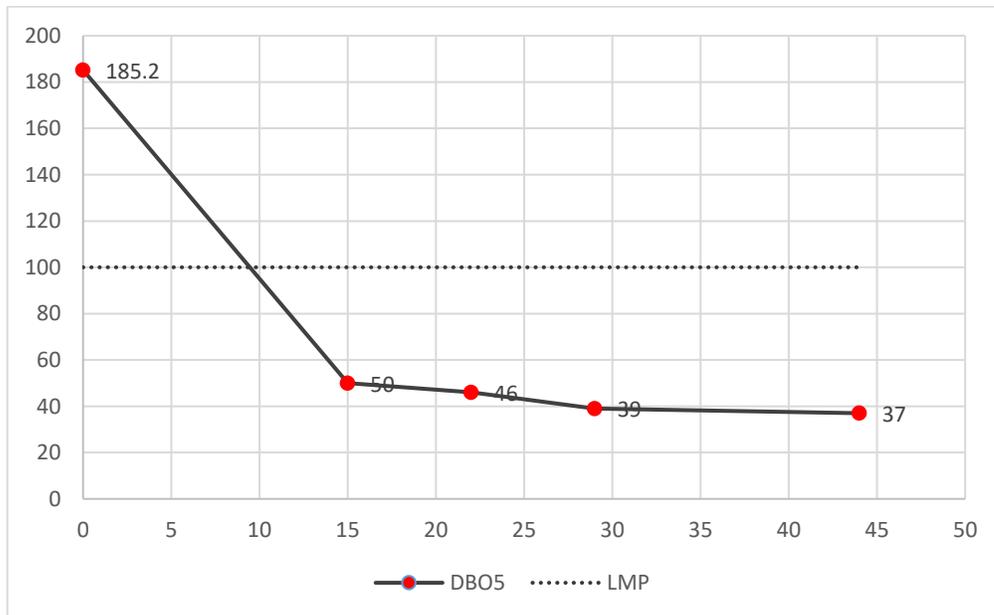


Figura 9. Eficiencia de remoción de DBO₅

De acuerdo al análisis estadístico realizado, si existe una diferencia significativa entre el valor inicial y el final, al aplicar el tratamiento de humedales sub superficial de flujo horizontal con totora ($p = < 0.05$).

Por otro lado, considerando que existe una variación durante los periodos de análisis, se ha evaluado el comportamiento cinético del parámetro en estudio para finalmente determinar la siguiente ecuación ($R^2 = 0.5107$):

$$f(x) = a * \exp(b * x) \dots (3)$$

Donde:

a: 180.5 (117.8, 243.2)

b: -0.0627 (-0.1025, -0.0229)

x: tiempo (días)

Se puede observar por el valor negativo de “b” que según el modelo los datos disminuyen con el tiempo.

Se muestra la diferencia de demanda biológica de oxígeno (DBO5) con que el agua residual doméstica ingreso al humedal, siendo este valor 285.1 mg/l; y a la salida del sistema de tratamiento la DBO5 redujo notablemente dando como resultado un total de 12.38 mg/l.

La eficiencia de remoción de este parámetro fue de un 96%, en un tiempo de retención de 44 días. Esta reducción se debe a la degradación biológica realizada por los microorganismos adheridos a la superficie de las plantas, así como por los microorganismos que se encuentran en la columna de agua.

También, influyen los procesos físicos como la sedimentación que se da por la baja velocidad que se maneja en el humedal ya que trabaja con un flujo laminar constante, esto favorece la

floculación y tiende a sedimentarse la materia orgánica que se encuentra en forma suspendida. Además, se da el proceso de filtración, el cual es dado a través del medio poroso. Se considera que el 50% de la DBO5 es removida en los primeros metros del humedal ya sea por descomposición aeróbica o anaeróbica. (Sanabria, 2009).

La DBO5 antes fue removida con una gran eficiencia en el sistema de tratamiento de humedales artificiales, obteniendo un agua residual apta para el vertimiento a un cuerpo de agua.

4.5 Eficiencia de remoción de DQO

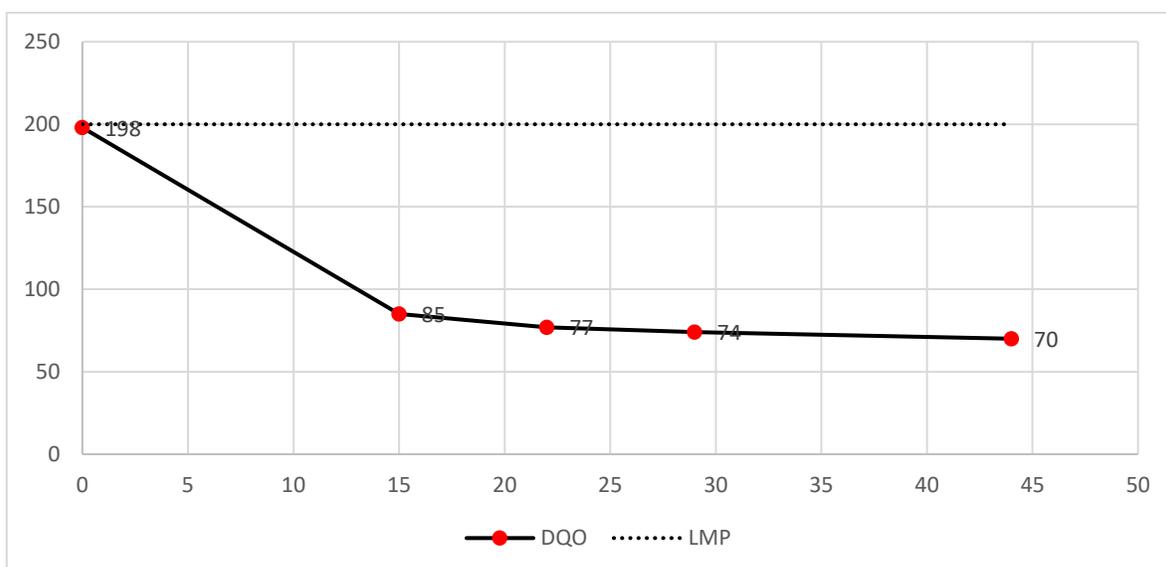


Figura 10. Eficiencia de remoción de DQO

De acuerdo al análisis estadístico realizado, si existe una diferencia significativa entre el valor inicial y el final, al aplicar el tratamiento de humedales sub superficial de flujo horizontal con totora ($p < 0.05$).

Por otro lado, considerando que existe una variación durante los periodos de análisis, se ha evaluado el comportamiento cinético del parámetro en estudio para finalmente determinar la siguiente ecuación ($R^2= 0.5107$):

$$f(x) = a * \exp(b * x) \dots (4)$$

Donde:

a: 180.5 (117.8, 243.2)

b: -0.0627 (-0.1025, -0.0229)

x: tiempo (días)

Se puede observar por el valor negativo de “b” que según el modelo los datos disminuyen con el tiempo.

Se muestra la diferencia de demanda química de oxígeno (DQO) con que el agua residual doméstica ingreso al humedal, siendo este valor 198 mg/l; y a la salida del humedal la DQO redujo notablemente dando como resultado un total de 70 mg/l. La eficiencia de remoción de este parámetro fue de un 64.6 %. Esta reducción se debe a la actividad biológica donde ocurren procesos químicos como la oxidación por microorganismos desnitrificadores en condiciones aérobicas, los cuales descomponen todos los compuestos orgánicos reduciendo el oxígeno, convirtiéndolo en gas carbónico (CO_2) y agua (H_2O), donde una parte del CO_2 se pierde en la atmosfera y la otra parte es absorbida por los microorganismos para la síntesis de nuevas células, este proceso depende principalmente de la disponibilidad de oxígeno disuelto, que es transferida a través de las plantas (Arenas & Nuncira, 2010).

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En base a los análisis realizados se puede establecer las siguientes conclusiones:

El Humedal artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSH) demostró una efectiva remoción en todos los parámetros analizados, alcanzando eficiencias de 80% de demanda biológica de oxígeno (DBO), 64.6% de demanda química de oxígeno (DQO); 60.2 de Sólidos Totales en Suspensión, se obtuvo un pH neutro de 6.5, con una temperatura de 15.6 °C y un olor aceptable; obteniéndose un agua residual doméstica apta para ser vertida a cuerpos de aguas.

Asimismo, los HAFSH son sistemas de fácil operación y mantenimiento; se consume energía renovable (energía solar), no requiere de personal altamente capacitado, por lo tanto, los costos son bajos; y aplicables a comunidades donde los recursos económicos son bajos.

El comportamiento del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal muestra gran eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, debido a la gran combinación compuesta por vegetación, suelo y microorganismos.

El *Schoenoplectus californicus* (Tatora) como vegetación de los humedales artificiales subsuperficiales, es una especie que se adaptó fácilmente, debido que el sistema se implementó en la temporada de Invierno y dicha especie es adaptable a climas con temperaturas bajas.

Tanto los parámetros fisicoquímicos se encuentran por debajo de los valores establecidos por los DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.

5.2 Recomendaciones

- Viendo los resultados de la investigación, donde se muestra la eficacia del método para la depuración de aguas residuales domésticas, se puede aplicar a otras viviendas.
- En el proceso de operación y mantenimiento se tiene que tener en cuenta la cosecha de la especie macrófita emergente totora cada 6 meses.
- Asimismo, efectuar lavados periódicos al lecho filtrante del humedal para evitar la colmatación, la formación de flujos preferenciales y la aportación de sales a los procesos.
- Realizar más estudios para demostrar si la eficiencia de remoción del sistema es mejor o no existe eficiencia de resultados en comparación con la época de verano, siendo que estas dos épocas son las más trascendentales en el clima de esta zona.

REFERENCIAS

Alberto Romero Rojas, J. (2018). *Tratamiento de aguas residuales : teoría y principios de diseño / Jairo Alberto Romero Rojas. SERBIULA (sistema Librum 2.0).*

Ambiental, G. comunitaria para la salud. (2011). Construcción de sanitarios. *Guia comunitaria para la salud ambiental*, 102-139.

ANA. (2010). Protocolo De Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hidricos Autoridad Nacional Del Agua. *GreenFacts*, 1-34. Recuperado a partir de http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/2011-PROTOCOLO-ANAPeru.pdf

ANA, M. D. A. Y. R. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

Apaza, O. P. (2016). *Universidad Nacional Del Altiplano Facultad De Ciencias Sociales.*

Company, H. (2000). Manual de Análisis de Agua, (970), 1997-2000.

Cuadrado-Campo, W., Vicuña-Orihuela, C., y Torres-Gutiérrez, E. (2014). Evaluación de la planta *Scirpus californicus* (Totora) en la eficiencia de remoción de fierro en un prototipo de humedal construido de flujo superficial Evaluation of the plant *Scirpus californicus* (Totora) efficiency removal of a prototype of iron in. *Perspectiva universitaria*, 11(1-2), 42-48. <https://doi.org/1190-2409>

Cuenca, E., Alvarado, A., y Camacho, K. (2012). El tratamiento de aguas residuales somesticas para el desaroolo localsostenible: el caso de latecnica del sistema unitario de tratamiento de agaus, nutrientes y energia (SUTRNE) en San Migue Almaya, Mexico.

Quiviera, 14, núm. 1(1405-8626), 78-97. Recuperado a partir de www.scopus.com

DIGESA. (2009). Protocolo de monitoreo de calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales. Recuperado a partir de

[http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-\(CONTINENTALES\).pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/depa/informes_tecnicos/PROTOCOLO-MONITOREO-CALIDAD-RECURSOS-HIDRICOS-SUPERFICIALES-(CONTINENTALES).pdf)

Eduardo Fernández Mayo Peternell. (2010). *Universidad veracruzana. Descripción de las características de operación de las máquinas de corriente continua.*

Fernández, J., y Curt, M. (2011). Métodos Analíticos para aguas residuales. *Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*, 117-128. Recuperado a partir de

[http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual de fitodepuracion/Capitulos](http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos)

Anexos1.pdf%5Cn[http://es.scribd.com/document_collections/3001637/widget%0Ahttps://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos Manua](http://es.scribd.com/document_collections/3001637/widget%0Ahttps://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual)

Flores, J., Pinto, M., Mamani, R., Terrazas, F., y Rojas, W. (2014). La Totora y su Rol en los Sistemas de Vida del Centro de Agrobiodiversidad Cachilaya. *Iniaf*, 317-321.

Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales.

Observatorio Medioambiental, 301(11), 301-305.

Gonzalez, L. F. M. (1999). *Instituto Politécnico Nacional. Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Localidad de Xochiapa*. Recuperado.

Interapas. (2015). Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales. *Reutiliza el Agua Usada*.

Recuperado a partir de

http://interapas.mx/files/cultura_del_agua/folletos/sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf

Llagas Chafloque, W., y Guadalupe Gómez, E. (2006). Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de aguas Residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMG*, 15(17), 85-96.

Metodos, O. de O. y. (2008). INSTRUCTIVO MANEJO DEL MEDIDOR DE pH HI 8521.

MINAM. (2008). Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua, 10.

MINAM. (2015). 569076 Poder Ejecutivo Normas Legales, 569076-569082.

Morales, Gabriela; López, Daniela; Vera, Ismael; Vidal, G. (2013). *Keywords*, 22, 717.

NORMA OS.090. (2006). Norma OS.090 Planta de tratamiento de aguas residuales.

Reglamento Nacional de Edificaciones, 65. Recuperado a partir de

https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Biblioteca Nacional del Perú N° 2014-05991*, 1, 42.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Roberto Hernandez Sampieri, Carlos Fernandez Collado, P. B. L. (s. f.). *www.FreeLibros.com*.

Rowan, A. C. (2018). Humedales Artificiales , una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de.

Rubio, I. B. (2014). Aplicación de humedales artificiales para la depuración de purines de granjas porcinas.

Seoánez Calvo, M., y Gutiérrez de Ojesto, A. (2018). *Agua residual : tratamiento por humedales artificiales : fundamentos científicos, tecnologías, diseño / Mariano Seoánez Calvo. SERBIULA (sistema Librum 2.0).*

UNESCO. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Agua Residual. El recurso desaprovechado.* Recuperado a partir de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>

ANEXOS

ANEXO 3. Primer informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio B &C

S.A.C



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° C245-2018

I. Datos del Solicitante

Solicitante : ADELIS LISBETH COAQUIRA HANCCO
 Proyecto : *"Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (Schoenoplectus californicus) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018"*

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : *Agua Residual*
 Punto de muestreo : *M-01: Estanque*
 Procedencia : *Com. San Antonio de Chujura, Sector Chilliwapampa, Dist. Caracoto, Prov. San Román, Dept. Puno*
 Ubicación UTM : *—*
 Fecha y hora de muestreo : *25 - Octubre - 2018*
 Presentación : *1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno*
 Tipo de muestra : *Puntual*
 Muestreado por : *El Cliente*
 Fecha de recepción : *25 - Octubre - 2018*

III. Resultados parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N°: M-01
Temperatura (*)	°C	14.8
pH	Valor de pH	8.6
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	171
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	185.2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	198



Donde (*) : Valor de referencia en el laboratorio
 mg/L : Miligramos por Litro
 < valor : Límite de detección del método.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Temperatura: Termohidrometro
- pH: Potenciométrico.
- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 2540. 21th ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 5210 B. 21th ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método titulométrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWW. WEF. Part -5220 C. 21th ed. 2005.

ANEXO 4. Segundo informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio B&C S.A.C



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS
INFORME DE ENSAYO N° C268-2018

I. Datos del Solicitante

Solicitante : ADELIS LISBETH COAQUIRA HANCCO
 Direccion : ---
 Proyecto : "Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (Schoenoplectus californicus) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018"

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : Agua Residual
 Punto de muestreo : M-02: Humedal Artificial
 Procedencia : Com. San Antonio de Chujura, Sector Chilliwapampa, Dist. Caracoto, Prov. San Román, Dept. Puno
 Ubicación UTM : ---
 Fecha y hora de muestreo : 10 - Noviembre - 2018
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno
 Tipo de muestra : Puntual
 Muestreado por : El Cliente
 Fecha de recepción : 10 - Noviembre - 2018

III. Resultados parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N°: M-02
Temperatura (°)	°C	17.1
pH	Valor de pH	6.24
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	82
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	85

Donde
 (°) : Valor de referencia en el laboratorio
 mg/L : Miligramos por Litro
 < valor : Límite de detección del método.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Temperatura: Termohidrometro
- pH: Potenciométrico.
- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 2540. 21^{ra} ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 5210 B. 21^{ra} ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método titulométrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWW. WEF. Part -5220 C. 21^{ra} ed. 2005.

ANEXO 5. Tercero informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio B & C

S.A.C



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° C276-2018

I. Datos del Solicitante

Solicitante : ADELIS LISBETH COAQUIRA HANCCO
 Direccion : ---
 Proyecto : "Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (Schoenoplectus californicus) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018"

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : Agua Residual
 Punto de muestreo : M-03: Humedal Artificial
 Procedencia : Com. San Antonio de Chujura, Sector Chilliwapampa, Dist. Caracoto, Prov. San Román, Dept. Puno
 Ubicación UTM : ---
 Fecha y hora de muestreo : 23 - Noviembre - 2018
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno
 Tipo de muestra : Puntual
 Muestreado por : El Cliente
 Fecha de recepción : 23 - Noviembre - 2018

III. Resultados parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N°: M-03
Temperatura (°)	°C	15.6
pH	Valor de pH	6.4
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	75
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	46
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	77



Donde
 (*) : Valor de referencia en el laboratorio
 mg/L : Miligramos por Litro
 < valor : Límite de detección del método.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Temperatura: Termohidrometro
- pH: Potenciométrico.
- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 2540, 21ª ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210 B, 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método titulométrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWW, WEF, Part -5220 C, 21ª ed. 2005.

Página 1 de 2

OFICINA: Jr. Lima N° 165, Galería Megacentro Pacífico, Ofic. 312
 Juliaca, Puno - Perú.
 Telf. (051) 787801 / 951 492233 / 957 708565
 E-mail bcLaboratorios@gmail.com

ANEXO 6. Cuarto informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio B &C

S.A.C



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° C281-2018

I. Datos del Solicitante

Solicitante : ADELIS LISBETH COAQUIRA HANCCO
 Direccion : ---
 Proyecto : *Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (Schoenoplectus californicus) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018*

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : Agua Residual
 Punto de muestreo : M-04: Humedal Artificial
 Procedencia : Com. San Antonio de Chujura, Sector Chilliwapampa, Dist. Caracoto, Prov. San Román, Dept. Puno
 Ubicación UTM : ---
 Fecha y hora de muestreo : 04 - Diciembre - 2018
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno
 Tipo de muestra : Puntual
 Muestreado por : El Cliente
 Fecha de recepción : 04 - Diciembre - 2018

III. Resultados parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N°: M-04
Temperatura (*)	°C	16.7
pH	Valor de pH	6.6
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	72
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOs)	mg/L	39
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	74

Donde
 (*) : Valor de referencia en el laboratorio
 mg/L : Miligramos por Litro
 < valor : Límite de detección del método.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Temperatura: Termohidrometro
- pH: Potenciométrico.
- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA AWWA WEF. Part. 2540. 21ª ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 5210 B. 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método titulométrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWW. WEF. Part. -5220 C. 21ª ed. 2005.



ANEXO 7. Quinto informe de los parámetros físico-químicos, otorgados por el laboratorio NKAP



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° C288-2018

I. Datos del Solicitante

Solicitante : ADELIS LISBETH COAQUIRA HANCCO
 Direccion : ---
 Proyecto : "Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (Schoenoplectus californicus) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura - Región Puno, 2018"

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : Agua Residual
 Punto de muestreo : M-05: Humedal Artificial
 Procedencia : Com. San Antonio de Chujura, Sector Chilliwapampa, Dist. Caracoto, Prov. San Román, Dept. Puno
 Ubicación UTM : ---
 Fecha y hora de muestreo : 17 - Diciembre - 2018
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno
 Tipo de muestra : Puntual
 Muestreado por : El Cliente
 Fecha de recepción : 17 - Diciembre - 2018

III. Resultados parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		MUESTRA N°: M-05
Temperatura (*)	°C	15.6
pH	Valor de pH	6.5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	68
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	37
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	70

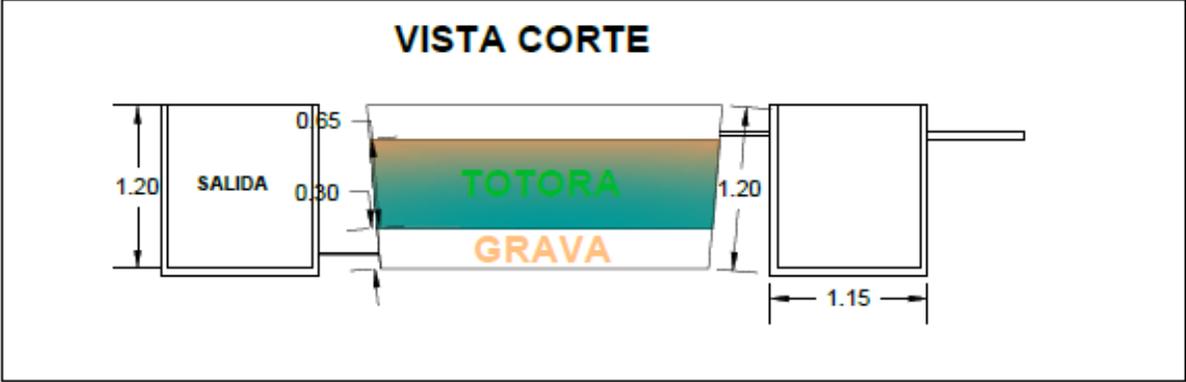
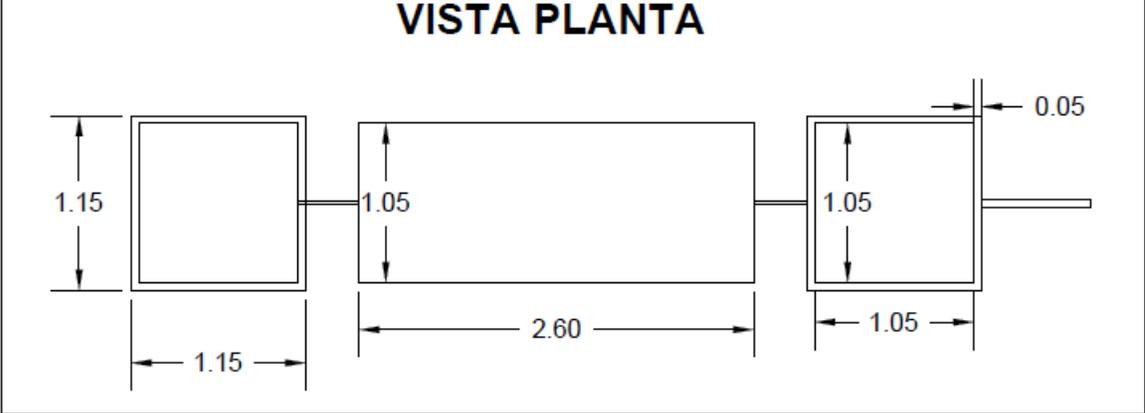


Donde
 (*) : Valor de referencia en el laboratorio
 mg/L : Miligramos por Litro
 < valor : Límite de detección del método.

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Temperatura: Termohidrometro
- pH: Potenciométrico.
- Sólidos Suspendedos Totales: Gravimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 2540. 21ª ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 5210 B. 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método titulométrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWW. WEF. Part -5220 C. 21ª ed. 2005.

ANEXO 8. Planos del humedal artificial



ANEXO 9. Panel fotográfico



Figura 11. Construcción del Humedal



Figura 12. Revestimiento con plástico al HAFSH



Figura 13. Cerco perimétrico de ladrillo alrededor del humedal para evitar que el lecho filtrante arrastre al plástico



Figura 14. Extracción de la totora



Figura 15. Plantación de la Totora



Figura 16. Toma de muestra