

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Producción de Flor de Alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) a partir
de Aguas Residuales Domésticas en Humedales Artificiales de
Flujo Sub Superficial en el sector de Huatascapa – Puno, Perú**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Mary Luz Ramos Peña

Asesor:

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, diciembre 2019

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

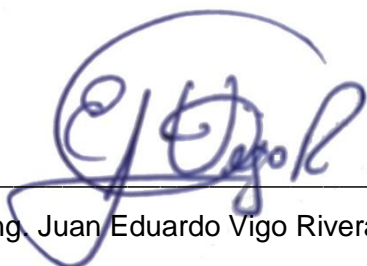
Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Producción de Flor de Alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) a partir de Aguas Residuales Domésticas en Humedales Artificiales de Flujo Sub Superficial en el sector de Huatascapa – Puno, Perú”** constituye la memoria que presenta la Bachiller Mary Luz Ramos Peña 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 30 días del mes de diciembre del año 2019.



Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera



072

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 30 día(s) del mes de diciembre del año 2019 siendo las 12:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Msc. Rose Adeline Gallata Ghura, el secretario: Msc. Jael Gallata Gallata y los demás miembros: Ing. Verónica Naydeé Pari Mamani y el asesor Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Producción de Flor de Alcatraz (Zantedeschia aethiopica) a partir de Aguas Residuales Domésticas en Humedales Artificiales de Flujo Sub-Superficial en el sector de Huatacapa - Puno, Perú de el(los)/la(las) bachiller(es): a) Mary Luz Ramos Peña b)

conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Mary Luz Ramos Peña

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente

Asesor

Candidato/a (a)

Miembro

Secretario

Miembro

Candidato/a (b)



DEDICATORIA

Al autor de mi vida, mi padre celestial que me acompaña y siempre me levanta de mis continuos tropiezos; a mis queridos padres: Leovigildo y Roberta y a las personas que más amo.

Mary Luz Ramos Peña

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su compañía, guiarme a lo largo de la investigación y ayudarme a cumplir cada uno de los sueños y metas trazados.

A mi alma mater Universidad Peruana Unión, por permitirme formarme como una profesional con valores en sus aulas.

A mis padres: Leovigildo y Roberta, por apoyarme en todo el proceso de la investigación a pesar de las dificultades.

Al Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, por su asesoría y defenderme en todo el trayecto de la investigación.

De la misma forma a los docentes MSc. Jael Calla Calla, MSc. Rose Adeline Callata Chura, y la Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani por su apoyo, comprensión y motivación.

ÍNDICE GENERAL

Índice de tablas.....	ix
Índice de anexos	xi
Simbología.....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	15
1.1. Identificación del problema.....	15
1.2. Justificación	17
1.3. Presuposición filosófica	18
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos.....	18
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	19
2.1. Antecedentes	19
2.1.1. Antecedentes internacionales	19
2.1.2. Antecedentes nacionales	21
2.1.3. Antecedentes locales.....	22
2.2. Revisión de la literatura	23
2.2.1. Aguas residuales	23
2.2.2. Clasificación de agua residual.....	23
2.2.3. Composición del agua residual doméstica.....	24
2.2.4. Concentración de contaminantes en aguas residuales	24
2.2.5. Parámetros generales indicadores de contaminación	25
2.2.6. Parámetros analizados en el agua residual	26
2.2.7. Tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	26
2.2.8. Tratamiento biológico de aguas residuales	27
2.2.9. Humedales artificiales.....	27
2.2.10. Clasificación de humedales artificiales	28

2.2.11. Componentes de un humedal artificial	28
2.2.12. Vegetación utilizada en el sistema de humedales artificiales.....	30
2.2.13. Diseño del humedal artificial sub-superficial	31
2.2.14. Rendimientos esperados de un humedal artificial	31
2.3. Marco legal	32
2.3.1. Constitución Política del Estado Peruano 1993.....	32
2.3.2. Ley N° 28611.- Ley General del Ambiente	32
2.3.3. Ley N° 29338.- Ley de Recursos Hídricos	32
2.3.4. Reglamento de la Ley N° 29338	32
2.3.5. Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM.....	33
2.3.6. R.M N° 273-2013-VIVIENDA.....	33
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. Lugar de ejecución	34
3.2. Instrumentos y materiales	35
3.3. Operacionalización de variables	35
3.3.1. Variable independiente	35
3.3.2. Variable dependiente.....	35
3.4. Diseño de investigación.....	36
3.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	37
3.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	37
3.6.1. Métodos	37
3.6.2. Flujograma del desarrollo experimental.....	39
3.6.3. Procedimiento de análisis de datos.....	39
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. Caracterización del agua residual	43
4.2. Implementación de los humedales.....	43
4.3. Influencia de la densidad de plántulas en los parámetros.....	46
4.3.1. Influencia de la densidad en el número de flores	46
4.3.2. Influencia de la densidad de plántulas en el DBO ₅	48

4.3.3. Influencia de la densidad de plántulas en el DQO.....	50
4.3.4. Influencia de la densidad de plántulas en los sólidos suspendidos totales	52
4.3.5. Influencia de la densidad de plántulas en fosfatos	54
4.4. Determinación del porcentaje de remoción	56
4.4.1. Porcentajes de remoción de DBO ₅	57
4.4.2. Porcentajes de remoción de DQO	58
4.4.3. Porcentajes de remoción de SST.....	58
4.4.4. Porcentajes de remoción de fosfatos.....	59
4.5. Evaluación económica de la producción de la flor de alcatraz.....	60
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
5.1. Conclusiones	61
5.2. Recomendaciones.....	62
REFERENCIAS	63
ANEXOS.....	64

Índice de tablas

Tabla 1. Composición típica de un agua residual doméstica	24
Tabla 2. Taxonomía de la flor de alcatraz.....	30
Tabla 3. Mecanismos de remoción para cada parámetro	31
Tabla 4. Límites máximos permisibles para efluentes.....	33
Tabla 5. Materiales utilizados en el campo y gabinete.....	35
Tabla 6. Materiales a utilizar en el sistema de humedal de flujo sub-superficial	35
Tabla 7. Operacionalización de variable dependiente.....	36
Tabla 8. Técnicas e instrumentos utilizados durante la observación y revisión literaria ...	37
Tabla 9. Técnicas e instrumentos utilizados en el laboratorio y la estadística	37
Tabla 10. Metodología para el análisis de cada parámetro	38
Tabla 11. Caracterización del agua residual doméstica.....	43
Tabla 12. Datos requeridos para el diseño de humedales.....	44
Tabla 13. Resultados de los cálculos de dimensionamiento de los humedales	44
Tabla 14. Resultados de número de flores en los sistemas.....	46
Tabla 15. Prueba de efectos inter- sujetos para el número de flores	47
Tabla 16. Influencia de la densidad en el número de flores.....	47
Tabla 17. Resultados de DBO ₅ en los humedales	48
Tabla 18. Pruebas de efectos inter- sujetos para DBO ₅	49
Tabla 19. Influencia de la densidad de plántulas en la remoción de DBO ₅	50
Tabla 20. Resultados de DQO en los humedales	50
Tabla 21. Pruebas de efectos inter- sujetos para DQO.....	51
Tabla 22. Influencia de la densidad de plántulas en la remoción de DQO	52
Tabla 23. Resultados de los SST en los humedales	52
Tabla 24. Prueba de efectos inter- sujetos para SST.....	53
Tabla 25. Influencia de la densidad en SST	54
Tabla 26. Resultados de fosfatos en los humedales	54
Tabla 27. Pruebas de efectos inter- sujetos para fosfatos	55
Tabla 28. Influencia de la densidad en fosfatos	56
Tabla 29. Resultados de iniciales y finales de los sistemas.....	56
Tabla 30. Porcentaje de remoción de DBO ₅	57
Tabla 31. Porcentaje de remoción de DQO.....	58
Tabla 32. Porcentaje de remoción de SST	58
Tabla 33. Porcentaje de remoción de fosfatos	59
Tabla 34. Evaluación económica de la producción de la flor de alcatraz	60

Índice de figuras

Figura 1: <i>Zantedeschia aethiopica</i>	30
Figura 2: Ubicación del estudio	34
Figura 3. Desarrollo experimental	39
Figura 4. Esquema del procedimiento experimental	41
Figura 5. Esquema del procedimiento experimental 2	41
Figura 6. Diseño general del sistema de humedales	45
Figura 7. Volúmenes ocupados por cada sustrato	45
Figura 8. Distancia y ubicación de plántulas en cada humedal	46
Figura 8: Construcción de los humedales.....	71
Figura 9: Colocación de la grava	71
Figura 10: Colocación de la arena fina	72
Figura 11: Colocación de tierra orgánica y el trasplanto de las flores	72
Figura 12: Muestreo de las aguas y conteo de flores.....	73

Índice de anexos

Anexo A: Cadena de custodia.....	64
Anexo B: Etiqueta para frascos.....	65
Anexo C: Resultados de laboratorio antes del tratamiento	66
Anexo D: Resultados de laboratorio después del tratamiento del humedal 1	67
Anexo E: Resultados de laboratorio después del tratamiento del humedal 2	68
Anexo F: Resultados de laboratorio después del tratamiento del humedal 3	69
Anexo G: Cálculos de dimensionamiento para la implementación de los humedales	70
Anexo H: Vista en planta del sistema de humedales	70
Anexo I: Panel fotográfico de la construcción de los sistemas	71

Simbología

AR	: Aguas Residuales
ARD	: Aguas Residuales Domesticas
DBO	: Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	: Demanda Química de Oxígeno
SST	: Sólidos Suspendidos Totales
pH	: Potencial de Hidrógeno
OD	: Oxígeno disuelto
LMP	: Límites Máximos Permisibles
MINAM	: Ministerio del Ambiente
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
HA	: Humedal Artificial
TAR	: Tratamiento de Agua Residual
HFV	: Humedal de Flujo Vertical
HFH	: Humedal de Flujo Horizontal
HFSS	: Humedal de Flujo Sub-Superficial
HFSV	: Humedal de Flujo Sub-Superficial Vertical
HFSH	: Humedal de Flujo Sub-Superficial Horizontal
EPA	: Environmental Protection Agency
DCBA	: Diseño Completo de Bloques al Azar

Resumen

Este estudio utilizó tecnología convencional de humedales artificiales con flor de alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), generando beneficios económicos y el tratamiento de aguas residuales domésticas. El objetivo de esta investigación fue producir flor de alcatraz a partir de aguas residuales domésticas en humedales artificiales de flujo sub-superficial en el sector de Huatascapa–Puno. Se implementó 3 humedales impermeables de flujo horizontal (1.5 x 0.5 x 0.5 m) a densidades de 4, 6 y 8 plántulas de alcatraz respectivamente, la medición física sirvió para evaluar la producción de la flor bajo la influencia de las diferentes densidades. Los parámetros monitoreados en el tanque de almacenamiento y salidas del sistema fueron DBO₅, DQO, SST y fosfatos. La producción de flor de alcatraz fue de manera óptima en el humedal 1 con menor densidad de plántulas, presentando mayor número de flores y mejores resultados en la remoción de DBO₅ (87.6%), DQO (85.6%), SST (85.9 %) y fosfatos (75.3 %), a comparación del segundo y tercer humedal que tuvieron una remoción de DBO₅ (86.6%), DQO (84.9 - 85.6%), SST (85.9 - 86.7%) y fosfatos (40.4 - 40.0 %). El tratamiento 1 del humedal artificial de flujo sub-superficial presentó mejores condiciones para la producción de flor de alcatraz a tener una menor densidad causando también una influencia positiva para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Palabras clave: Agua residual doméstica, densidad de plántulas, humedales, flor de alcatraz, remoción de carga orgánica y fosfatos.

Abstract

This study used conventional technology of artificial wetlands with calla lily flower (*Zantedeschia aethiopica*), generating economic benefits and the treatment of domestic wastewater. The objective of this research was to produce calla lily flower from domestic wastewater in artificial subsurface flow wetlands in the Huatascapa – Puno sector. 3 horizontal flow impermeable wetlands (1.5 x 0.5 x 0.5 m) were implemented at densities of 4, 6 and 8 gannet seedlings respectively, the physical measurement served to evaluate the production of the flower under the influence of the different densities. The parameters monitored in the storage tank and system outputs were BOD5, COD, SST and phosphates. The production of alcatraz flower was optimally in wetland 1 with a lower density of seedlings, presenting a greater number of flowers and better results in the removal of BOD5 (87.6%), COD (85.6%), SST (85.9%) and phosphates (75.3%), compared to the second and third wetlands that had a removal of BOD5 (86.6%), COD (84.9 - 85.6%), TSS (85.9 - 86.7%) and phosphates (40.4 - 40.0%). Treatment 1 of the artificial subsurface flow wetland presented better conditions for the production of alcatraz flower to have a lower density also causing a positive influence for the treatment of domestic wastewater.

Keywords: Domestic wastewater, seedling density, wetlands, calla lily flower, removal of organic load and phosphates.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

Desde la aparición de las poblaciones, la eliminación de residuos ha generado un problema, surgiendo la necesidad de deshacerse de excretas y restos de alimentos. Con el aumento de la población los problemas relacionados a la disposición de los residuos líquidos provenientes de usos domésticos, agrícolas e industriales van en aumento y también la necesidad de buscar soluciones (Pérez y Espigares, 1995).

Cerca del 70% de las aguas residuales (AR) no cuentan con un tratamiento, esto dificulta alcanzar el ciclo del agua, particularmente por el reúso del agua debido a su contaminación (Larios et ál., 2015). Este porcentaje de AR vertidas directa o indirectamente sin ningún tratamiento previo a los cuerpos de agua, ha generado la disminución incluso la neutralización de su capacidad de autodepuración (Suaréz, 2008), es decir que por sí mismas, no lograrían absorber ni neutralizar la carga de contaminantes, perdiendo sus condiciones naturales, su capacidad para sustentar vida dentro de ella y así desequilibrando el ecosistema acuático.

El agua es una necesidad básica del ser humano, por ello la importancia de la búsqueda de fuentes de este recurso y si éstas están contaminados con AR generara serios problemas en la salud de la población, la Organización Mundial de la Salud (2019), relaciona directamente la contaminación del agua con el peligro de la salud pública. Por tanto, podemos decir que los problemas causados por las aguas residuales no solo son física o estéticamente, también entre ellas está el deterioro de la salud pública.

La eliminación de las AR es de suma importancia, pero no es el único problema que se debe considerar, el agua, un bien escaso a nivel mundial, que cada día se necesita en mayores cantidades, es cada vez más imprescindible la reutilización de los recursos

hídricos disponibles para poder satisfacer las necesidades humanas (Pérez y Espigares, 1995). Tanto como el tratamiento de aguas residuales (TAR) y la reutilización del agua tratada son soluciones potenciales para abordar los problemas de poca cantidad y calidad de agua. Para promover el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales domésticas (ARD) como una solución de gestión del agua, los humedales artificiales (HA) están siendo un gran aporte (Belmont et ál., 2004).

Los HA han sido reconocidos como una alternativa simple, efectiva, confiable y económica en comparación a otros sistemas convencionales de TAR, durante muchos años, se han utilizado a nivel mundial para tratar AR. También se ha demostrado que el tratamiento de humedales es adecuado para el tratamiento de aguas grises y ARD o municipales (Zurita et ál., 2011). Debido a su bajo costo operacional, su diseño y construcción son una solución económica y tecnológicamente apropiada para el TAR en países en desarrollo (Belmont et ál., 2004).

Los HA construidos con plantas ornamentales son un sistema de TAR que puede reducir satisfactoriamente los niveles de contaminantes y ser una fuente de agua de riego aceptable, brindando además beneficios económicos a través del cultivo de flores y la producción de biomasa para el compostaje (Zurita et ál., 2009). Este sistema de TAR de bajo costo demuestra una ecotecnología que puede aplicarse no solo en los países en desarrollo sino también en las zonas rurales de los países desarrollados que no tienen acceso directo a los servicios de alcantarillado (Belmont et ál., 2004).

A pesar del enorme potencial para el uso de HA para el TAR, todavía existe una limitante para la adopción universal de esta tecnología, la de convencer a las personas para que inviertan recursos en una planta de tratamiento en lugar de descargar efluentes no tratados en ríos u otros cuerpos de agua. Para despertar y aumentar el interés de la implementación de HA en países en desarrollo, se deben documentar los beneficios adicionales del TAR para que esta tecnología sea más atractiva (Zurita et ál., 2011). El beneficio económico adicional que proporciona el uso de flores ornamentales en estos sistemas es una característica de tratamiento que lo hace muy valioso para su aplicación en países en desarrollo (Zurita et ál., 2006), esto puede ayudar a convencerlos de invertir en estos sistemas.

1.2. Justificación

La flor de alcatraz es una de las plantas ornamentales que a nivel mundial tiene un alto valor comercial, a partir de ello nace el interés de producir dichas flores; para poder crecer y desarrollarse requieren abundante agua, la situación actual en que vivimos nos limita a utilizar el recurso natural que la planta requiere; el aumento de la población en los últimos años genera su demanda en mayor cantidad y con ella también la contaminación por el incremento de las ARD vertidas directa o indirectamente a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento previo.

A nivel mundial es un severo problema la contaminación del agua por ARD, debido a esto se generan consecuencias como la degradación de los ecosistemas, la proliferación de vectores y la aparición de diversas enfermedades. Entre las necesidades primordiales que el ser humano debe tener, es preservar el medio donde vive, para gozar de una mejor calidad de vida. La falta de tratamiento de las ARD y la carencia de preocupación en temas ambientales son factores que promueven la necesidad de realizar investigaciones que aporten en el cuidado, tanto del planeta como de la salud pública.

Los humedales artificiales en los últimos años han sido considerados como uno de los tratamientos convencionales de aguas residuales domésticas más económicos. Los humedales construidos son atractivos, en los países donde los recursos económicos son muy escasos y es necesario encontrar una manera de recuperar los recursos invertidos en la construcción y el mantenimiento del sistema en un tiempo relativamente corto.

Este estudio plantea dar una solución al problema de la contaminación del agua por los residuos líquidos, la falta de economía para su tratamiento y mantenimiento, utilizando tecnología convencional de humedales artificiales de flujo sub superficial con la flor de alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) y la producción de las mismas generando ingresos económicos para su mantenimiento. En distintos estudios que vino realizando Zurita y otros autores desde el año 2006, menciona que la flor de alcatraz, muestra una eficiencia en la eliminación de materia orgánica y nutrientes contenidos en las aguas servidas. Debido a los buenos resultados, es posible indicar que los humedales construidos con la planta ornamental comercialmente valiosas pueden realizar un tratamiento de las ARD y asimismo la producción de ellas, aportando un valor agregado a la investigación.

1.3. Presuposición filosófica

Génesis 2:15:15 “Tomó, pues, Jehová Dios al hombre, y le puso en el huerto de Edén, para que lo labrara y lo guardase” (Reina Valera, 1960); el Señor colocó al hombre en la tierra para que sea un buen administrador de los recursos que le provee. Jeremías 2:7: 7 “Y os metí en tierra de Carmelo, para que comieseis su fruto y su bien: más entrasteis, y contaminasteis mi tierra, é hicisteis mi heredad abominable” (Reina Valera, 1960); mas el ser humano conforme iba cayendo en pecado se deleitó en hacer cosas inadecuadas como contaminar el medio donde vive.

Mateo 25:21 indica “Y su Señor le dijo: bien, buen siervo y fiel; sobre poco has sido fiel, sobre mucho te pondré, entra en el gozo de tu señor” (Reina Valera, 1960); el Señor considera como un buen y fiel siervo a la persona que administra adecuada y ordenadamente los recursos que Él nos ha entregado, esto se extiende también al cuidado y la protección del agua.

Con el propósito de deleitarse de un ambiente limpio y saludable, con esta investigación se busca dar a conocer una de las soluciones para el problema de la generación de aguas residuales y en consecuencia la poca cantidad y calidad de agua que en la actualidad estamos viviendo. Así mismo se busca mejorar la calidad de vida de las personas y el cuidado del ambiente como un encargo que Dios nos ha otorgado para poder señorear toda la tierra de la mejor manera y conservar sus ecosistemas acuáticos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Producir flor de alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) a partir de aguas residuales domésticas en humedales artificiales de flujo sub-superficial en el sector de Huatascapa – Puno, Perú.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica.
- Implementar el sistema de humedales artificiales de flujo horizontal de sub-superficial.
- Determinar la influencia de la densidad de plántulas en la producción de la flor de alcatraz.
- Determinar el porcentaje de remoción de la carga orgánica (DBO₅, DQO y SST) y fosfatos.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En su investigación Figueroa (1999), demostró que la especie (*Zantedeschia aethiopica*) crece y se desarrolla bien, en un sistema de humedal de tipo flujo horizontal de sub-superficial (HFSH). Realizando 10 muestras en las cuales la concentración de DBO₅ y DQO resultaron similares obteniéndose una relación entre ellos, los valores en porcentajes fueron de la laguna 49.20%; para el pantano con alcatraces 51.64% y sin alcatraces fue de 51.95%; la mejor remoción fue de 85.84% de la muestra 8, mostrando eficiencia en el sistema con alcatraces. Concluyó que la especie tiene una efectividad en el tratamiento de aguas residuales en sus características fisicoquímicas y microbiológicas en mayor porcentaje de DQO y DBO₅.

Belmont et ál. (2004) evaluaron la eliminación de contaminantes de las AR en un HA. Su sistema consto de terrazas de sedimentación, estanques de estabilización, humedales de flujo sub-superficial (HFSS) y humedales de flujo vertical (HFV), todo el sistema de tratamiento redujo la DQO en un promedio de $84.9 \pm 1.3\%$ de 1887 ± 167 mg / L, hubo una reducción de SST, de 406.1 ± 33.4 mg / L a 154.0 ± 9.4 mg / L. El sistema eliminó > 80% de TSS, DQO y nitrato. Este estudio también mostró que las flores ornamentales con alto valor económico plantadas en el HFSS se realizaron tan bien como la cola en la eliminación de SST y nitrógeno. El agua tratada era adecuada para el riego, también indicaron que el humedal a escala piloto podría adaptarse fácilmente para tratar las AR de seis familias.

Zurita et ál. (2006) estudiaron 5 especies de plantas ornamentales con alto valor en el mercado (*Zantedeschia aethiopica*, *Canna*, *Anthurium*, *Hemerocallis dumortieri* y *Strelitzia reginae*). Mediante HFSS donde evaluaron que la DQO se redujo >75% en todos los casos; la DBO₅ y el N se eliminaron > 70%, excepto en una célula. Los coliformes totales

y fecales se eliminaron en el humedal > 99.3%. Los resultados en el desarrollo de sus plantas ocurrieron que los híbridos de (*Zantedeschia aethiopica*) y (*Canna*) mostraron un crecimiento más rápido y una mayor producción de embriones, pero (*Zantedeschia aethiopica*) produjo un número mayor de flores. Además, esta planta floreció durante todo el período de estudio y aumentó su producción de flores durante los meses más fríos (diciembre y enero). Sin embargo, las otras plantas no tuvieron rescatables resultados.

Zurita et ál.(2008) utilizaron mediciones de fluorescencia (LIF) y física inducidas por láser para evaluar y comparar la salud de una planta ornamental, sometieron a las plantas ornamentales de tipo (*Zantedeschia aethiopica*), bajo dos patrones de flujo en HFSS. Las plantas fueron estudiadas a los 7 meses y 9 meses. Los espectros de fluorescencia y la relación calculada F690 nm / F740 nm indicaron que las plantas en un humedal de flujo horizontal (HFH) eran más sanas que las de un humedal de flujo vertical (HFV). Los autores sugirieron observando los resultados, que las plantas en el HFV estaban estresadas debido a la menor cantidad de agua disponible para ellas, bajo la característica de inundación y drenaje cíclico en este tipo de humedal. También que era posible que el uso de medios no estratificados se vea afectado por la reducción del tiempo de contacto entre el agua y la raíz.

Zurita et ál.(2009) en su investigación utilizaron 4 especies ornamentales de alto valor comercial (*Zantedeschia aethiopica*, *Strelitzia reginae*, *Anturium andreanum* y *Agapanthus africanus*) en 2 tipos de HFSS para el tratamiento de ARD. Los resultados que obtuvieron para la eliminación de contaminantes fueron mayores en los humedales construidos con flujo subsuperficial vertical (HFSV). Los promedios fueron >80% para la DBO₅ y DQO; 50.6% para Org-N; 72.2% para NH₄⁺, 50% para Total-P. La mayoría de las plantas ornamentales sobrevivieron el período de 12 meses de experimentación y su desarrollo dependió del tipo de humedal construido que se plantaron alcatrazes lució más saludable y produjo alrededor de 60 flores en el HFSH. Las otras tres especies se desarrollaron mejor en el HFSV.

Zurita et ál. (2011) hicieron la evaluación de la eficiencia del TARD donde determinaron que en estudios de laboratorio donde incluyeron cinco especies diferentes (*Zantedeschia aethiopica*, *Strelitzia reginae*, *Anthurium andreanum*, *Canna híbridos* y *Hemmerocallis dumortieri*) evaluando en HFSH, todas las plantas tienen una alta eficacia en el tratamiento de nutrientes de humedales ya que sobrevivieron el período experimental, además observaron que la planta más tolerable y capaz de florecer en las condiciones de inundación continua características de un HFSH fue la flor de alcatraz.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Núñez (2016) en su investigación determinó la eficiencia de remoción de las ARD mediante HFSH. La dimensión del humedal lo obtuvo a partir del caudal de ingreso (0.03 m³/día) con la DBO₅ (285.10 gr/m³), obteniendo medidas de 1.20 m x 0.60 m, una altura de 0.60 m y una pendiente del 1%. Sus resultados demostraron que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) de todos los parámetros físico, químicos y microbiológicos antes y después. Los cuales obtuvieron eficiencias del 96% de DBO₅ y DQO, 78% de nitrógeno total, 88% fósforo total, 55% de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, 61% de oxígeno disuelto, 96% de turbidez, 68% de pH y 100% Coliformes totales y fecales.

Hernández (2017) en su investigación evaluó la potencialidad y viabilidad del empleo de sistemas de TAR con HA, instalando dos módulos de flujo subsuperficial vertical empleando Achira (*Canna indica*) y Carrizo (*Pragmites australis*) el tiempo de colonización de las especies duro 30 días incorporando AR el forma progresiva para luego realizarle el montaje al sistema de estudio, los resultados del porcentaje de remoción con Carrizo de DBO₅, DQO, SST fue de 87.21%, 92.64%, 88.31% y con la especie Achira fue de 85.09%, 91.92%, 89.23% respectivamente, sus resultados indicaron que los HA con estas especies vegetales son apropiadas y eficientes por tener facilidad para propagarse, establecerse y tolerantes a aguas contaminadas.

Gómez (2017) evaluó diversos parámetros de las aguas servidas para ver el comportamiento y la potencialidad fitodepuradora de dos HA verticales sembrados con *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides*. Tomo muestras en tres puntos, una a la entrada de los humedales que represento el agua residual pretratada, las otras dos a la salida de cada humedal representando el agua residual tratada. Los humedales artificiales verticales alcanzaron buenos niveles de remoción con valores de 98.6 y 96.4% de DBO₅, 93 y 90% de DQO, 89.2 y 87.2% en SST para los humedales con Paragüitas y Vetiver en ese orden. Los humedales no presentaron malos olores, encharcamiento, ni presencia de vectores sobre su superficie.

Rojas (2018) realizó un tratamiento de las ARD con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en HFSS, con una muestra de 50 L de AR, evaluando cada 10 días durante dos meses mediante el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Sus resultados en cuanto al porcentaje de remoción fueron: 99,53% (turbidez), 95,51%(SST), 83,89% (DBO₅), 72,97%(DQO) 88.89%, aceites y grasas, 99.99% (Coliformes Termotolerantes), 47% (pH) y con una temperatura promedio de 22°C. Concluyo que el sistema HA con la especie vetiver es eficiente para el TAR doméstica.

Díaz y Valdivia (2018) en su investigación del efecto del tiempo de retención y variación de especies de plantas ornamentales para la remoción de materia orgánica en ARD, mediante la implantación tres depósitos rectangulares que contenían capas de grava, arena fina y suelo orgánico; determinaron que el porcentaje de remoción de SST, DBO₅ y DQO en el humedal 1 con (*Zantedeschia aethiopica*) fue de 75%, 89% y 81%; en el humedal 2 con (*Canna spp*) fue de 83%, 94% y 88% y en el humedal 3 de ambas especies fue: 85%, 93% y 87% respectivamente. Debido a sus resultados concluyeron que, el tiempo de retención y la variación de plantas causan un efecto positivo para el TAR.

2.1.3. Antecedentes locales

En la región de Puno no se realizó estudios sobre TAR con plantas ornamentales, existe un estudio de tratamiento con totora (*Schoenoplectus californicus*), otros estudios plantean propuestas. En cuanto a remoción de materia orgánica hay estudios donde se aplicó un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) y biodigestores en ARD.

Coaquira (2018) evaluó la eficiencia de remoción de la totora (*Schoenoplectus californicus*) implementadas en los HFSH en el TAR domésticas. Sus resultados demostraron que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) de todos los parámetros físicos y químicos antes y después, removiendo el 80 % de DBO₅, 64.6 % de DQO, 60.2% de SST. Con los porcentajes de remoción concluyo que la totora tiene una capacidad de remoción de los parámetros físico-químicos.

Mamani y Chávez (2018) evaluaron la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en ARD, realizando tres tratamientos: 0,3 y 4 L de EM, durante 15 días con mediciones cada 5 días. Los resultados que obtuvieron: con 0 L de EM fue de 62%, con 3 L de 75% y con 4 L de 80% de remoción. La frecuencia de su evaluación no influyó en los parámetros de SST, CTT excepto en la DBO₅, concluyendo que los EM en un sistema aerobio logran una mejor remoción de materia orgánica.

Nina (2015) evaluó el sistema de tratamiento de ARD en biodigestores, en su fase primaria, y la influencia de los parámetros físico, químicos y biológicos, y relacionar los parámetros del sistema con la DBO₅, DQO. La metodológica que aplico se basó en la identificación del sistema, diagnóstico, registro histórico de datos de campo, frecuencia de muestreo, procesamiento, análisis de parámetros analizados y en la evaluación de resultados. Determinó que el sistema trabajó con una eficiencia de remoción alta para la fase primaria y las eficiencias de tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados fueron: DBO₅ (71%), DQO (69%), SST (76%).

2.2. Revisión de la literatura

2.2.1. Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

Las AR pueden definirse como las aguas que provienen después de su uso, las mismas que han sido alteradas en su cantidad y calidad por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (ANA, 2011). Las aguas residuales son aguas que fueron aprovechadas, estas se pueden obtener de la utilización en los domicilios, en las fábricas o cualquier otra práctica. Las aguas residuales contienen grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria, plaguicidas y sustancias tóxicas (Espigares, 2012).

Por otro lado (UNESCO , 2003) “las aguas residuales son generadas en actividades humanas poseen una alta carga de sustancias tóxicas, sedimentos y materiales orgánicos e inorgánicos que son altamente demandantes de oxígeno y estimulan el crecimiento de plantas y microorganismos patógenos que juntamente contaminan las fuentes hídricas y son un riesgo para la salud pública y el medio ambiente”.

2.2.2. Clasificación de agua residual

2.2.2.1. Agua residual municipal

Son aquellas ARD que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

2.2.2.2. Agua residual industrial

Son aquellas aguas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyendo a las provenientes de actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (OEFA, 2014). Todas las AR vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean ARD ni aguas de escorrentía pluvial también son aguas residuales industriales (Alianza por el Agua, 2008). Pueden variar dependiendo de la fuente industrial de donde provienen, la cantidad, composición y fuerza son factores que intervienen en su variación (Mihelcic y Zimmerman, 2011).

2.2.2.3. Agua residual doméstica

Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA, 2014). También dentro de ellas están las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas (Alianza por el Agua, 2008).

2.2.3. Composición del agua residual doméstica

La tabla 1 muestra la composición típica que tiene un agua residual doméstica.

Tabla 1
Composición típica de un agua residual doméstica

Compuesto	Intervalo de concentraciones			
	Unidades	Alta	Media	Baja
Materia solida	mg/L	1200	720	350
- disuelta total	mg/L	850	500	250
- inorgánica	mg/L	525	300	145
- orgánica	mg/L	325	200	105
en suspensión	mg/L	350	220	100
- inorgánica	mg/L	75	55	20
- orgánica	mg/L	275	165	80
solidos decantables	ml/L	20	10	5
DBO ₅	mg O ₂ /L	400	220	110
DQO	mg O ₂ /L	1000	500	250
COT	mg C/L	290	160	80
Nitrógeno total	mg N/L	85	40	20
Nitrógeno orgánico	mg/L	35	15	8
Nitrógeno amoniacal	mg/L	50	25	12
Fósforo total	mg/L	15	8	4
Grasas	mg/L	150	100	50
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	200	100	50

Fuente: Metcalf y Eddy (1991)

2.2.4. Concentración de contaminantes en aguas residuales

Los contaminantes en aguas residuales no son definidos, ya que son una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos (Ramalho, 1996).

2.2.5. Parámetros generales indicadores de contaminación

2.2.5.1. Sólidos

Según Díaz y Valdivia (2018) también denominados sólidos totales a aquellas materias sólidas que se encuentra en el agua, se pueden distinguir dos tipos:

- **Sólidos disueltos:** no se sedimentan debido al estado en que se encuentran.
- **Sólidos en suspensión:** están constituidos por los siguientes:
 - **Sedimentables,** tienen mayor peso por lo que pueden sedimentarse en un corto tiempo.
 - **No sedimentables,** no sedimentan en poco tiempo, ya que pueden encontrarse en estado coloidal o tener un peso específico cercano al del líquido.

2.2.5.2. Microorganismos

Díaz y Valdivia (2018) mencionan que en las AR también se encuentran materia viva como los virus, algas, protozoos, etc.

2.2.5.3. Concentración de materias oxidables

Según Lehman (2015), los medidores de materia que consume oxígeno, pueden ser:

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):** cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos, indica la cantidad de materia orgánica presente en el agua.
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** cantidad de oxígeno que se ha gastado para poder efectuar las reacciones químicas.
- **Oxígeno disuelto (OD):** cantidad de oxígeno presente en el agua y este aumenta al contacto con el aire o por acción fotosintética.
- **Nitrógeno:** Se encuentra en formas amoniacales como, por ejemplo, nitritos y nitratos.
- **Fósforo total:** Son indispensables para que los microorganismos se desarrollen, están presentes como fosfatos.
- **pH:** Grado de Alcalinidad
- **Cloruros:** Aumenta la salinización originando inhibir la acción de los microorganismos en la depuración.
- **Grasas:** Producen que la captación de oxígeno no se realice adecuadamente, afectando a los procesos y microorganismos presentes en el agua. Una de las consecuencias que trae la presencia de grasas es el mal funcionamiento de las depuradoras de agua.

2.2.6. Parámetros analizados en el agua residual

Mendoza (2015), divide los parámetros en dos grupos, los cuales son:

2.2.6.1. Parámetros físicos

- **Temperatura:** Es un parámetro primordial de analizar, puesto que se afectarían a ecosistemas.
- **Sólidos totales:** Resulta de un proceso de secado del agua, a nivel laboratorio.
- **Sólidos suspendidos:** Cantidad de material residual, después de filtrar y secar el agua, a nivel laboratorio.

2.2.6.2. Parámetros químicos

Dentro de este grupo se encuentran los siguientes parámetros:

- **Demanda bioquímica de oxígeno:** Es la cantidad de oxígeno que requieren los organismos para poder descomponer la materia orgánica, en condiciones aeróbicas.
- **Demanda química de oxígeno:** Es la cantidad de oxígeno necesario para producir reacciones químicas, es mayor que la Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- **Nutrientes:** Son elementos de suma importancia para los procesos biológicos en las AR.
- **pH:** Es la cantidad de hidrógeno presente en el agua.

2.2.7. Tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas

Orjuela y Lizarazo (2013), mencionan que existen dos tipos de sistemas:

Por el tipo de proceso:

- **Procesos Físicos:** Consiste en la remoción de los sólidos suspendidos, por ejemplo: rejillas, sedimentador, triturador, filtración.
- **Procesos Químicos:** Consiste en la aplicación de productos químicos para la eliminación de los contaminantes, dentro de estos están: precipitación, adsorción y desinfección.
- **Procesos Biológicos:** Es un proceso de actividad biológica de los microorganismos, o también de algunas especies de plantas. Se produce la eliminación de sustancias orgánicas biodegradables, nitrógeno y potasio.

Por el grado de tratamiento

- **Tratamientos preliminares:** es el tratamiento inicial como su objetivo principal es eliminar todo tipo de materiales de tamaño considerable la cual puede afectar

en el funcionamiento del siguiente proceso. Los tratamientos preliminares más frecuentes en caso de aguas residuales domésticas son: desbaste y desarenado.

- **Tratamientos primarios:** Consiste en remover o eliminar todos aquellos contaminantes que se logran sedimentar, como sólidos sedimentables y algunos SST, también los contaminantes que pueden flotar como son las grasas. Dentro de estos tratamientos se encuentran la sedimentación primaria y tanques imhoff.
- **Tratamientos secundarios:** Tiene por finalidad eliminar la materia orgánica biodegradable no sedimentable y otros contaminantes, las reacciones en estos procesos son generalmente biológicas. Los tratamientos secundarios remueven un 85% de la DBO₅ y SST, aproximadamente. Se suele utilizar como procesos secundarios lodos activados, lagunas de estabilización, lecho de lodos.
- **Tratamientos terciarios:** Se suelen dar cuando, finalizados los tratamientos secundarios, aún no cumplen con los estándares de calidad ambiental y se requiere de un tercer tratamiento, con el objetivo de eliminar la carga orgánica restante, desinfectar para la eliminación de organismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, eliminar cualquier contaminante presente que altere las propiedades del agua (Silva, 2004).

2.2.8. Tratamiento biológico de aguas residuales

Según Arnáiz et ál. (2000), mencionan que los tratamientos biológicos tienen mayores rendimientos con menores costes económicos de explotación y mantenimiento y destruyen completamente los contaminantes, transformándolos en sustancias inocuas. Es un tipo de tratamiento que permite en primer lugar remover las impurezas presentes en el agua, en segundo lugar, ayuda a la descomposición de la materia orgánica y en tercer lugar produce la purificación biológica del agua residual, logrando producir un efecto en la autodepuración biológica del agua (Fair,et ál., 2008).

2.2.9. Humedales artificiales

Son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de plantas acuáticas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las plantas 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 (Zapata, 2014). Estos sistemas no tan profundos permiten controlar con facilidad la cantidad de agua que se quiere tratar, para así poder incrementar la eficiencia del sistema, el costo para su construcción y mantenimiento son bajos (Haro y Aponte, 2010).

2.2.10. Clasificación de humedales artificiales

2.2.10.1. Humedal artificial superficial

Según Morales et ál. (2013), este tipo de humedales están diseñados para que el agua a tratar se desplace por encima del sustrato, ayudando a que los procesos anaerobios se realicen con más facilidad, puesto que el agua residual se encuentra en contacto directo con la atmósfera, son utilizados mayormente para tratar aguas residuales que tienen un tratamiento previo también para restaurar ecosistemas acuáticos.

2.2.10.2. Humedal artificial sub superficial

Son sistemas en los que el agua circula de manera subterránea, a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas (Morales et ál., 2013), mayormente son utilizados para tratar aguas residuales provenientes de una población no muy numerosa. Según el libro “Los humedales artificiales: Componentes y tipos” (2013) los HFS se dividen en dos grupos según el tipo de flujo del agua:

- **Humedales artificiales de flujo sub-superficial vertical:** el agua residual se desplaza a través del sustrato de forma horizontal en intervalo, para poder favorecer a los procesos anaerobios como la nitrificación, se coloca conductos que permitan la aireación y se pueda producir la remoción de contaminantes.
- **Humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal:** el agua residual a tratar se desplaza de forma continua de forma vertical a través del sustrato, se desarrollan diversos procesos entre ellos la desnitrificación, las condiciones anaerobias serán óptimas si el nivel del agua se encuentra debajo del sustrato.

2.2.11. Componentes de un humedal artificial

Zapata (2014) indica que los componentes en general de un humedal artificial son: agua, sustrato y plantas acuáticas o que requieran de abundante agua para su crecimiento. Otros componentes importantes son las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos, que se desarrollan naturalmente.

2.2.11.1. Agua

“Es el principal componente de todos los humedales naturales o artificiales. El agua residual en el caso de humedales artificiales, define todo el funcionamiento del sistema, ya que la falta o exceso de agua residual para el humedal interfiere en los demás componentes” (Díaz y Valdivia, 2018).

2.2.11.2. Sustrato, sedimento y restos de vegetación

Es aquel material granular, que incluye suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos, sirve de soporte para la vegetación presente en el humedal al igual que interviene en la eliminación de contaminantes. Todos estos componentes son importantes porque gracias a ellos existen organismos vivientes y transformaciones químicas y biológicas, gracias a la permeabilidad del sustrato se da el movimiento del agua residual por todo el humedal. De forma indirecta, el medio granular contribuye a la eliminación de contaminantes porque sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora (Zapata, 2014).

- **Vegetación:** Los tallos y hojas que se encuentran sumergidas se degradan y se convierten en restos de vegetación, estos sirven como sustrato para la película microbiana, en gran parte gracias a esto se produce el TAR. Algunas funciones que cumple la vegetación dentro de los humedales se tiene: estabilización del sustrato, transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos, permiten que los materiales suspendidos se depositen, ya que regulan la velocidad del agua (Lara, 1999).
- **Especies de vegetación:** Existe una gran cantidad de plantas que son utilizadas para tratamiento de aguas residuales a través de los sistemas de humedales artificiales, estas dependen del tipo de humedal construido y se las divide en tres grupos: flotantes, sumergidas y emergentes. Los tres grupos son aptas para humedales construidos de tipo superficial, pero solo las especies emergentes son utilizadas en los humedales de tipo sub-superficial (Lara, 1999).

2.2.11.3. Microorganismos

Lara (1999), menciona que dentro de ellos están los hongos, levaduras, bacterias y protozoarios que gracias a su metabolismo transforman las sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles, también están relacionadas el reciclaje de nutrientes. Los microorganismos pueden tener un metabolismo en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, y existen algunos que pueden ser facultativas, es decir ambas condiciones.

2.2.11.4. Animales

Gracias al proceso de descomposición que existe en los humedales, hay gran diversidad de animales en su mayoría invertebrados, como gusanos e insectos. Estos animales son capaces de consumir la materia orgánica, lo que contribuye favorablemente al proceso de tratamiento (Lara, 1999).

2.2.12. Vegetación utilizada en el sistema de humedales artificiales

2.2.12.1. *Zantedeschia aethiopica*

Tiene sus orígenes en Sudáfrica, es cultivada como ornamental por sus vistosas flores de color blanco capaz de soportar heladas, la tabla 2 muestra algunas características de la flor.

Tabla 2
Taxonomía de la flor de alcatraz

Taxonomía	
Nombre común:	Cala blanca, flor de cartucho o flor de alcatrazes
Reino:	Plantae
Clase:	Liliopsida
Orden:	Alismatales
Familia:	Araceae
Género:	<i>Zantedeschia</i>
Especie:	<i>Zantedeschia aethiopica</i>
Hábito y forma de vida:	Planta terrestre, sin savia lechosa
Tamaño y tallo:	Hasta 1m. Subterráneo, un rizoma grueso, succulento.
Hojas:	Espiraladas con pecíolos de 33 a 82 cm, esponjosos; láminas foliares simples, de 15 a 40 cm de largo y 6.8 a 24.5 cm de ancho.
Flores:	Unisexuales de color blanco.

Fuente: Grayum (2003)



Figura 1: *Zantedeschia aethiopica* (Duarte, 2012)

Es una planta de humedales, por lo que en algunos casos se ha utilizado para el tratamiento de aguas residuales en sistemas de humedales artificiales (Vidal y Hormazábal, 2016). Según (Figuroa, 1999) en su estudio realizado acerca de la evaluación de

Zantedeschia aethiopica como planta emergente en pantanos de flujo horizontal sub-superficial para TAR, concluye que esta especie crece y se desarrolla bien como planta emergente de humedales y es efectiva en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

2.2.13. Diseño del humedal artificial sub-superficial

Según United States. Environmental Protection Agency (EPA, 1993) en la guía para el diseño y construcción del humedal artificial de flujo sub superficial, se debe seguir los siguientes pasos:

- Se debe determinar los parámetros iniciales del agua residual a tratar, como es el caso de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), temperatura de las aguas residuales y los sólidos suspendidos totales (SST).
- Luego determinar la calidad deseada del efluente, en términos de la demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos totales.
- Se determina la profundidad del lecho, la cual no debe ser muy profunda; en conjunto se determina el tipo de sustrato a utilizar.
- Se procede a seleccionar el valor de los espacios vacíos por el sustrato, que se utilizará 0.35, si hay uso de plantas y 0.45 si no se usan plantas.

2.2.14. Rendimientos esperados de un humedal artificial

Los HA pueden tratar de una manera efectiva altos niveles de bioquímica de oxígeno, sólidos disueltos y suspendidos, P, entre otros contaminantes.

En la tabla 3 se muestran los mecanismos de remoción para los parámetros.

Tabla 3
Mecanismos de remoción para cada parámetro

Constituyente del Agua Residual	Mecanismo de Remoción
Demanda bioquímica de oxígeno	Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica)
Sólidos suspendidos totales	Sedimentación
Fósforo	Filtración
Patógenos	Absorción del suelo (reacciones de adsorción – precipitación con aluminio, hierro, calcio y minerales). Asimilación por parte de las plantas. Sedimentación, filtración, muerte natural, depredación. Excreción de antibióticos desde las raíces de macrofitas

Fuente: Adaptado de Maldonado (2005)

2.3. Marco legal

2.3.1. Constitución Política del Estado Peruano 1993

En el Artículo 2º, inciso 22: indica que toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida (Congreso Constituyente Democrático, 1993).

2.3.2. Ley N° 28611.- Ley General del Ambiente

Esta ley prohíbe la descarga de contaminantes, sin previo tratamiento, a fin de evitar la contaminación de los ecosistemas o la alteración de la calidad del ambiente, el artículo 121º del vertimiento de AR, aclara que el estado es el encargado de autorizar el vertimiento de cualquier tipo de AR, siempre y cuando este no afecte la calidad de agua ni su reutilización; y el artículo 122º del tratamiento de residuos líquidos, el cual establece que el sector Vivienda, Construcción y Saneamiento debe sancionar y vigilar a empresas y entidades generadoras de aguas residuales, basándose en los límites máximos permisibles (MINAM, 2005).

2.3.3. Ley N° 29338.- Ley de Recursos Hídricos

La presente ley busca la gestión integrada del recurso hídrico y sus bienes naturales y artificiales, garantizando a su vez la protección de los recursos naturales, ecosistemas y el ambiente. El artículo 82º de reutilización de agua residual, menciona que el agua residual tratada puede ser utilizada con los fines basados en la licencia otorgada por la Autoridad Nacional (ANA, 2009).

2.3.4. Reglamento de la Ley N° 29338.- Ley de Recursos Hídricos, aprobado por D. S. N° 001-2010-AG

En el artículo 131º menciona que las AR son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo. Y en el artículo 132º las AR municipales son aquellas ARD que puedan incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con AR de origen industrial siempre que éstas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (MINANGRI, 2010).

2.3.5. Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM - Decreto Supremo que Aprueba Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Es el decreto donde se manifiesta los límites máximos permisibles para efluentes, los cuales son necesarios para determinar la concentración de componentes o sustancias presentes en el agua residual, que si en caso llegue a exceder podría ocasionar daños en la salud pública o en los ecosistemas acuáticos (MINAM, 2010).

Tabla 4

Límites máximos permisibles para efluentes de planta de tratamiento de agua residual

Límites 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	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,5 - 8,5
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: MINAM, (2010)

2.3.6. R.M N° 273-2013-VIVIENDA Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR

Su aplicación ayudara “al cumplimiento de las normas ambientales y la protección de los ecosistemas acuáticos. El Protocolo de Monitoreo presenta procedimientos y metodologías que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo” (MINAM, 2013).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en una vivienda unifamiliar, ubicada en el sector de Huatascapa, del Distrito de Cuyocuyo, Provincia Sandía de la Región Puno, con coordenadas UTM, Este: 441813 y Norte: 8400939, a una altitud de 3607 msnm.



Figura 2: Ubicación del estudio. Google Earth (2019)

3.2. Instrumentos y materiales

3.2.1.1. Materiales

La tabla 5 muestra los materiales utilizados en el campo y gabinete durante la investigación.

Tabla 5
Materiales utilizados en el campo y gabinete

Instrumentos y materiales	
Campo	Gabinete
✓ Libreta de campo	✓ Computadora portátil
✓ Cadena de custodia	✓ Calculadora
✓ Etiquetas de frascos	✓ USB
✓ Lapiceros	✓ Folder
✓ Cámara digital	✓ Libros
✓ Ficha de observación	✓ Lapiceros
✓ Frascos de muestra	
✓ Guantes quirúrgicos	
✓ Mascarillas	
✓ Guardapolvo	

La tabla 6 muestran los materiales utilizados en la implementación de los humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal.

Tabla 6
Materiales a utilizar en el sistema de humedal de flujo sub-superficial horizontal

Sistema de Humedal de flujo sub-superficial horizontal
✓ Tanque impermeabilizado de 1m ³
✓ Tuberías y complemento
✓ Agregados (piedras, arena y suelo orgánico)
✓ Canaleta impermeabilizada
✓ Cemento
✓ Llaves de paso
✓ Plántulas netamente ornamentales de <i>Zantedeschia aethiopica</i> .

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Variable independiente

- Densidad de plántulas de alcatraz

3.3.2. Variable dependiente

- Producción de flores de alcatraz
- Remoción de materia orgánica (DBO₅, DQO, SST) y Fosfatos

La tabla 7 muestra la operacionalización para cada variable que se consideró en la investigación.

Tabla 7
Operacionalización de variable dependiente

Variable	Definición	Dimensiones	Parámetros	Unidad
Producción de flores de alcatraz	Cantidad de flores de alcatraz desarrolla durante la investigación		Número de flores de alcatraz	-
Remoción de materia orgánica	Porcentaje de eliminación de contaminantes en aguas residuales domésticas, medidos por parámetros	Parámetros químicos	DBO ₅ DQO Solidos Suspendidos Totales Fosfatos	mg/L mg/L mg/L mg/L

3.4. Diseño de investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, que consistió en recolectar datos para dar respuesta a una hipótesis, basándose en mediciones y análisis estadísticos empleando la experimentación (Hernández et ál., 2014).

Tipo de investigación: El tipo de investigación de este estudio es experimental, donde se manipuló la variable independiente para analizar las consecuencias en las variables dependientes.

En la investigación se evaluó una variable independiente y 2 dependientes, utilizándose pre prueba y post pruebas para poder analizar la evolución de la variable dependiente antes y después del tratamiento realizado con la planta ornamental (*Zantedeschia aethiopica*) y la producción de estas.

3.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

La tabla 8 muestra las técnicas e instrumentos de recolección que se utilizaron en el proceso observación y revisión literaria de la investigación.

Tabla 8
Técnicas e instrumentos utilizados durante la observación y revisión literaria

Técnicas	Instrumentos
Observación	Fichas de recolección de datos en campo, para muestreo y monitoreo de aguas residuales: <ul style="list-style-type: none">- Requisitos para toma de muestras de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo (Protocolo de Monitoreo R.M. 273-2013-VIVIENDA).- Ficha de registro de datos en campo- Etiquetas para muestras de agua residual.- Ficha de observación del sistema
Revisión Literaria	<ul style="list-style-type: none">- Guía de diseño y construcción de humedales artificiales de flujo sub superficial (EPA, 1993).- Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.- Límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales establecido por el Ministerio del Ambiente de Perú.

La tabla 9 muestra las técnicas e instrumentos de recolección que se utilizaron en el proceso de laboratorio y estadística de la investigación.

Tabla 9
Técnicas e instrumentos utilizados en el laboratorio y la estadística

Técnicas	Instrumentos
Laboratorio	<ul style="list-style-type: none">- Instrumentos para medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (frascos para muestrear).- Métodos para mediciones de la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno
Estadísticas	Programas para análisis de datos (IBM SPSS Statistics)

3.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

3.6.1. Métodos

La metodología aplicada consistió en realizar trabajo de campo para medir parámetros, también de gabinete para el diseño, sistematización y evaluación del sistema de humedal:

Metodología de Mediciones

a. Frecuencia de Mediciones y hora

- Puntos de muestreo: Tanque de almacenamiento y cada salida del sistema de humedales.
- Frecuencia de monitoreo: Se monitoreó durante 10 días, en las salidas del sistema de humedales.
- Hora de monitoreo: 10:00 am cada 2 días, una muestra por día.

b. Evaluación de los parámetros

Los parámetros analizados fueron: número de flores, DQO, DBO₅, SST y fosfatos. La tabla 10 muestra las metodologías usadas para cada parámetro.

Tabla 10
Metodología para el análisis de cada parámetro

Parámetro	Unidad	Método
Fosfatos	mg/L	Espectrofotométrico Método 8190, Método de PhosVer 3; digestión con persulfato ácido (0,00 a 3,50 mg/Lde PO ₄ ³⁻)
DBO ₅	mg/L	Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales SMEWW APHA AWWA WEF, 5210 B, 22nd edition. 2012.
DQO	mg/L	08303 método colorimétrico, reflujo cerrado.
SST	mL/L	Gravimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 2540. 22nd edition. 2012

Los parámetros: demanda bioquímica y química de oxígeno, sólidos totales suspendidos y fosfatos fueron enviados a laboratorio B&C S.A.C “Laboratorio de ensayos Químicos y Microbiológicos”.

Los datos se ingresaron en el software IBM SPSS Statistics. La prueba estadística que se utilizó fue: Diseño de bloques completos al azar (DBCA). Se eligió la prueba estadística de diseño en bloques completos al azar por permitir que en cada bloque se prueben todos los tratamientos y en nuestro estudio permitió comparar los tres humedales artificiales y verificar si existía una influencia de densidad de las plántulas de alcatraz en cada tratamiento (humedad).

3.6.2. Flujograma del desarrollo experimental

La figura 3, muestra el desarrollo experimental del proyecto de tesis.

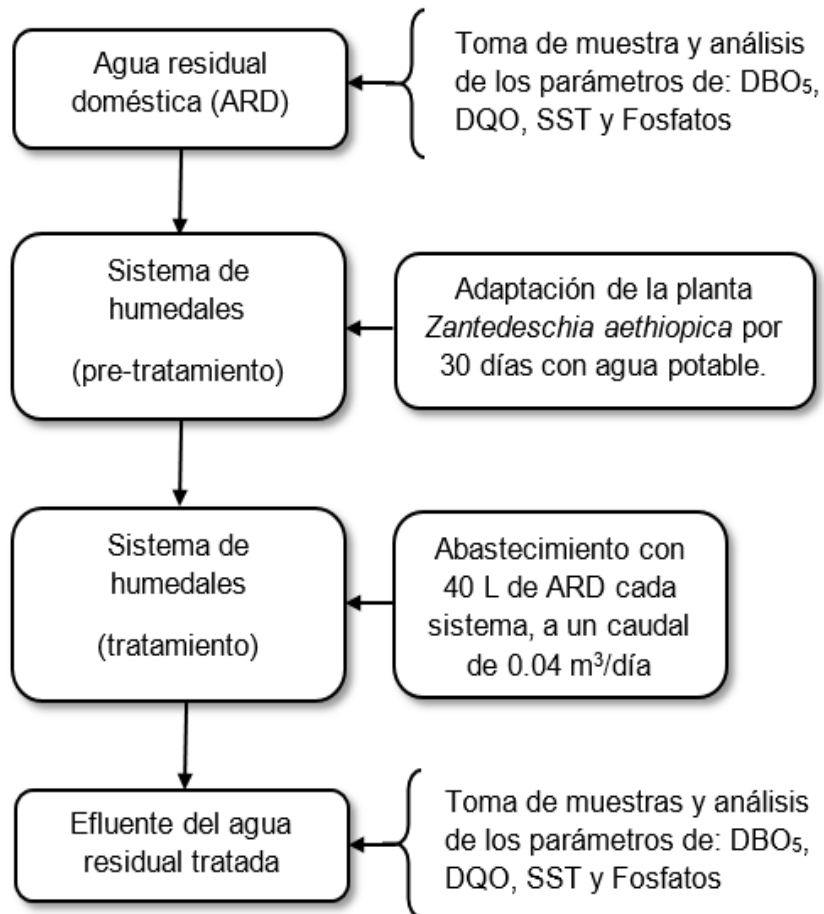


Figura 3. Desarrollo experimental

3.6.3. Procedimiento de análisis de datos

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos, se realizaron en el análisis del efecto de la densidad de plántulas en el crecimiento de las flores y la remoción de materia orgánica, luego se halló los porcentajes de remoción de materia orgánica en el sistema de humedal, de acuerdo a la concentración de DBO₅, DQO SST y fosfatos.

3.6.3.1. Muestreo y análisis inicial

Se realizó un post muestreo del agua residual doméstica a tratar para la obtener la concentración inicial de DBO₅ y DQO (Ver anexo C); datos que fueron necesarios para realizar el diseño de los humedales.

3.6.3.2. Diseño del sistema de humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal

Para los cálculos del dimensionamiento se tuvo en cuenta (EPA, 1993):

Cálculo del área de la superficie con la siguiente fórmula:

$$A_s = L * W \frac{Q \left[\ln \left(\frac{C_o}{C_e} \right) \right]}{K_T d n} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$$K_T = K_{20}(\theta) = K^{(T^\circ - 20)^\circ C} \dots \dots \dots (2)$$

- As : área de superficie del humedal (m²)
- L : longitud (m)
- W : ancho (m)
- Q : flujo (m³/día)
- Co : concentración de la DBO₅ del afluente (mg/L)
- Ce : concentración de la demanda bioquímica de oxígeno del efluente (mg/L)
- KT : proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales (T °C)
- K₂₀ : proporción de la constante de temperatura de las aguas residuales (T-20°C)
- d : profundidad promedio del agua en el filtro (m)
- n : porosidad de la estructura del filtro (% como decimal)

Suposición de Largo – Ancho, de la manera que mejor se adapte el diseño.

Cálculo de la capacidad hidráulica (Ecuación de Darcy):

$$Q = K_s A \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

- A: área transversal
- S: gradiente hidráulico
- Ks: conductividad hidráulica (0.015)

Una vez obtenido el diseño del humedal, se procedió a calcular el tiempo de retención con la siguiente fórmula:

$$TRH = \left(\frac{\text{Volumen} * \text{espacio}}{Q} \right) \dots \dots \dots (4)$$

Luego de realizar el tratamiento en los sistemas de humedales se realizó el cálculo del porcentaje de remoción de materia orgánica (Chuchón y Aybar, 2008):

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

- Ci: Concentración inicial
- Cf: Concentración final

3.6.3.3. Construcción del sistema de humedal

Se construyó 3 humedales impermeables con las siguientes dimensiones: 50 cm de ancho, 150 cm de largo, 50 cm de profundidad y una capacidad de 375 litros; un tanque impermeable con capacidad de 1000 litros; tuberías y complementos. Luego de construir la estructura se procedió a colocar el sustrato compuesto por grava, arena y suelo orgánico; después se trasplanto 4 unidades de las plántulas de (*Zantedeschia aethiopica*) al humedal 1, 6 al humedal 2 y 8 al humedal 3. La cantidad de plántulas (densidad) fue considerada teniendo en cuenta el espacio necesario para la especie (Ver anexo H):

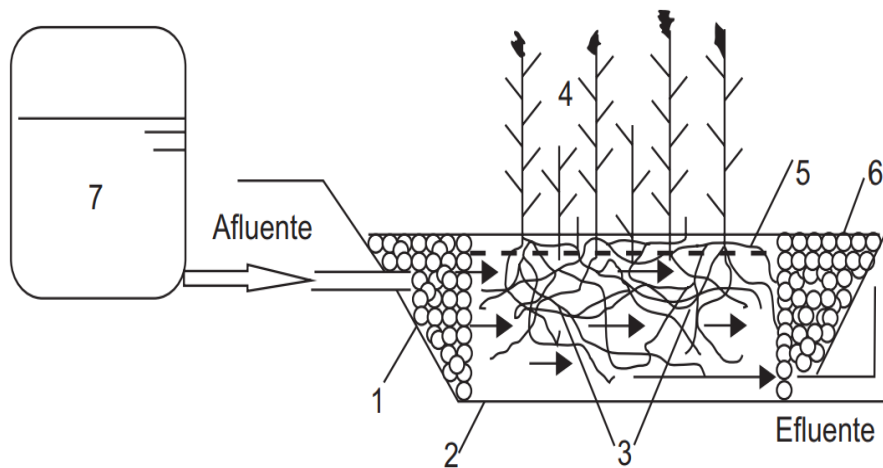


Figura 4. Esquema del procedimiento experimental (Bedoya et ál.,2014)

- 1) Zona de distribución lleno con piedras grandes 2) Zona de tratamiento 3) Medio de filtración con grava 4) Vegetación 5) Nivel de agua 6) Zona de colección 7) Tanque de Alimentación

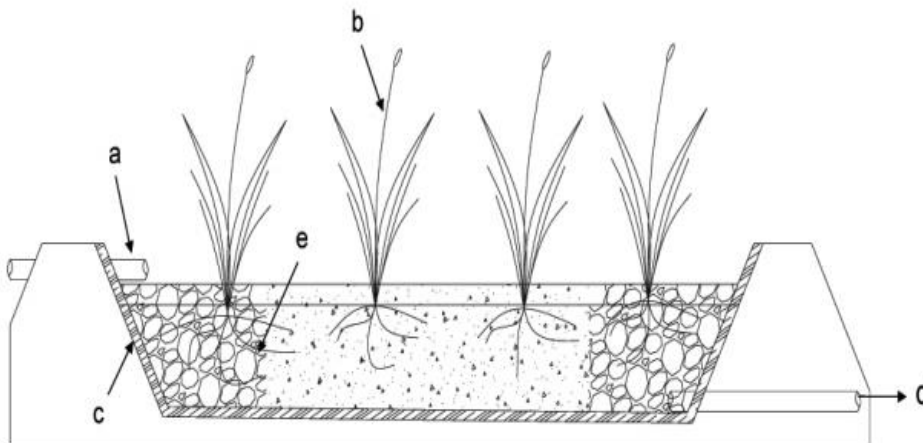


Figura 5. Esquema del procedimiento experimental 2 (Morales et ál.,2013)

- a) Estructura de entrada, b) Vegetación emergente, c) Impermeabilización, d) Estructuras de salida, e) Medio granular.

3.6.3.4. Adaptación de plantas

El tiempo de adaptación de la planta fue durante un mes (15 de Julio –15 de agosto) con la adición de 1 L de agua en condiciones de riego por día, luego se realizó la adaptación con ARD proveniente del tanque de almacenamiento durante un mes y medio.

3.6.3.5. Tratamiento de las aguas residuales domésticas

Después de la adaptación de las plantas se procedió a abastecer con 40 litros cada sistema, a un caudal de 0.04 m³/día. Este proceso tuvo un tiempo de retención de 2 días, es decir el agua residual que ingresó tardó 48 horas para ser tratada y para la recepción del agua tratada a la salida de cada humedal, se colocaron 3 tinajas, dentro de las cuales se procedió a tomar las muestras. Se consideró 10 días de tratamiento, tomándose 5 muestras de cada sistema.

3.6.3.6. Muestreo del agua residual tratada

Para este estudio se consideró los parámetros de demanda bioquímica y química de oxígeno, sólidos totales suspendidos y fosfatos los cuales se realizaron en el laboratorio B&C S.A.C “Laboratorio de ensayos Químicos y Microbiológicos”. El muestreo se realizó teniendo en cuenta el Protocolo de Monitoreo R.M. 273-2013-VIVIENDA, utilizando frascos de PVC (Anexo I), cadena de custodia (Anexo A) y etiquetas para los frascos (Anexo B). Se recolectó 5 frascos con agua residual tratada por sistema, cada 48 horas una vez iniciado el tratamiento durante 10 días.

3.6.3.7. Análisis de los parámetros considerados y obtención de resultados

Los parámetros de demanda bioquímica y química de oxígeno, sólidos totales suspendidos y fosfatos fueron analizados en el laboratorio. (Anexos D, E y F).

3.6.3.8. Recopilación de datos en el programa SPSS

Obtenida todos los resultados de los parámetros, se procedió a almacenarlos en el programa estadístico IBM SPSS Statistics. Los análisis realizados fueron modelo lineal general, univariado (DBCA).

3.6.3.9. Procesamiento de datos

El procesamiento de resultados se realizó con la ayuda del programa IBM SPSS Statistics.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación se realizó a 3607 msnm, en el sector de Huatascapa, provincia Sandía, de la región de Puno, el experimento estuvo expuesto a condiciones ambientales no controladas.

4.1. Caracterización del agua residual

La tabla 11 presenta los resultados de la caracterización del agua residual que fueron tratados en los humedales artificiales. Se realizó la caracterización según la tabla propuesta por Metcalf y Eddy (1991).

Tabla 11
Caracterización del agua residual doméstica

Parámetro	Unidades	Concentración inicial del agua residual doméstica
DBO₅	mg O ₂ /L	97
DQO	mg O ₂ /L	139
SST	mg/L	128
Fosfatos	mg/L	4.5

La tabla 11 muestra que la DBO₅ inicial fue de 97 mg/L; el valor de DQO fue de 139 mg/L los cuales corresponden a una concentración baja, los SST (128 mg/L) y fosfatos (4.5 mg/L) a una concentración media de acuerdo a Metcalf y Eddy (1991).

4.2. Implementación de los humedales

A partir de la caracterización del agua residual se diseñó e implemento los humedales artificiales de flujo sub superficial.

Para el diseño de los humedales se tuvo en cuenta los datos mostrados en la tabla 12 según (EPA, 1993):

Tabla 12
Datos requeridos para el diseño de humedales

Datos		
Parámetros	Unidad	Valor
Demanda Bioquímica de Oxígeno de entrada (C_0)	mg/L	97
Demanda Bioquímica de Oxígeno de salida (C_e)	mg/L	15
Caudal	m ³ /día	0.04
Población	Habitantes	4
n* (porosidad de H. A. con plantas)	-	0.35
d (profundidad)	m	0.50
Temperatura promedio del agua residual	°C	14.5

* Valor de porosidad referenciado en (United States Environmental Protection Agency, 1993)
Fuente: EPA, (1993)

La tabla 13 muestra los resultados de los cálculos de dimensionamiento para la implementación de los humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal.

Tabla 13
Resultados de los cálculos de dimensionamiento de los humedales

Dimensionamiento de los humedales	
Área de la superficie (A_s)	0.53 m ²
Largo – Ancho (del humedal)	1.03 m
Capacidad hidráulica	0.52 m
Tiempo de retención	0.04 m ³ /día
	2 días

Ver los cálculos en el anexo G

La figura 6 muestra el diseño general de los humedales artificiales de flujo horizontal sub superficial que se utilizó para la investigación.

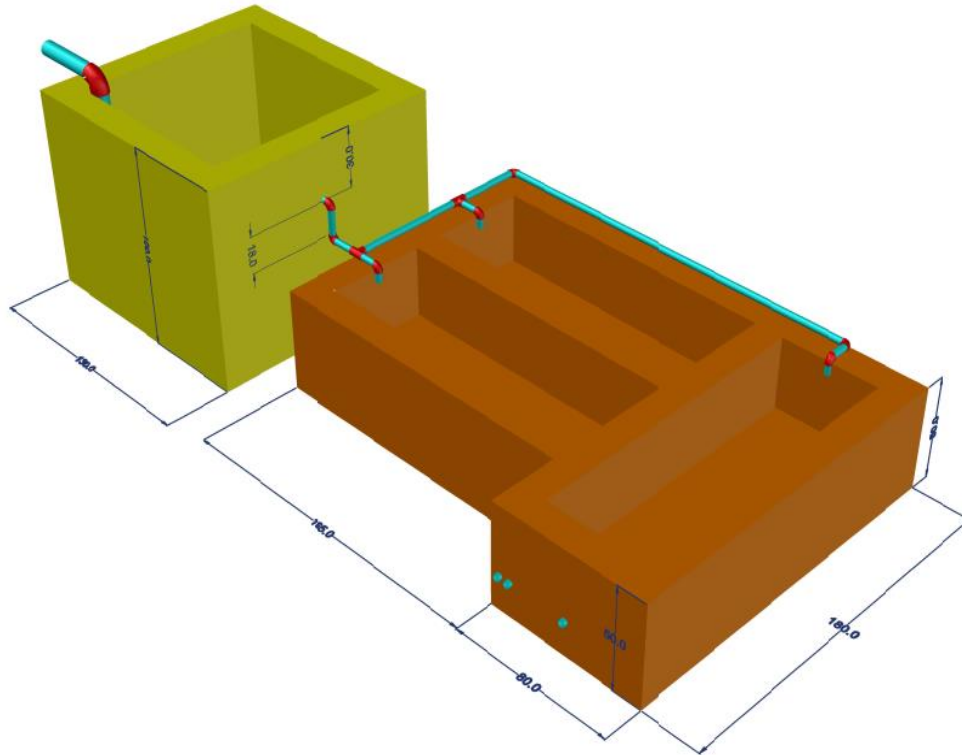


Figura 6. Diseño general del sistema de humedales

Vista en planta (ver anexo H)

La figura 7 muestra los volúmenes ocupados por cada sustrato: suelo orgánico, arena y grava en los tres humedales.

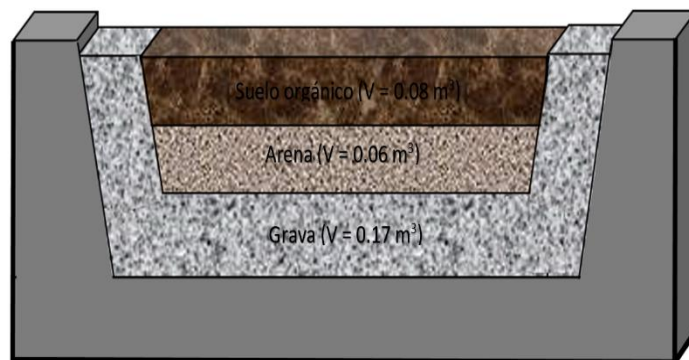


Figura 7. Volúmenes ocupados por cada sustrato

Se construyó un tanque impermeable con capacidad de 1000 L sirviendo como fuente de abastecimiento de agua a los 3 humedales impermeables con dimensiones de: 0.5 x 1.5 m y 0.5 m de profundidad con una capacidad de 375 L cada una. Se colocó el sustrato compuesto por grava (0.17m^3), arena (0.06m^3) y suelo orgánico (0.08m^3) (Figura 7);

después se trasplantó las plántulas a cada humedal de la siguiente manera: 4 unidades de las plántulas al humedad 1, 6 al humedad 2 y 8 al humedal 3 (Ver anexo I). La distancia entre plántulas en el primer humedal fue de 0.5 m, en el segundo 0.3 m y en el tercero 0.2 m (Figura 8).

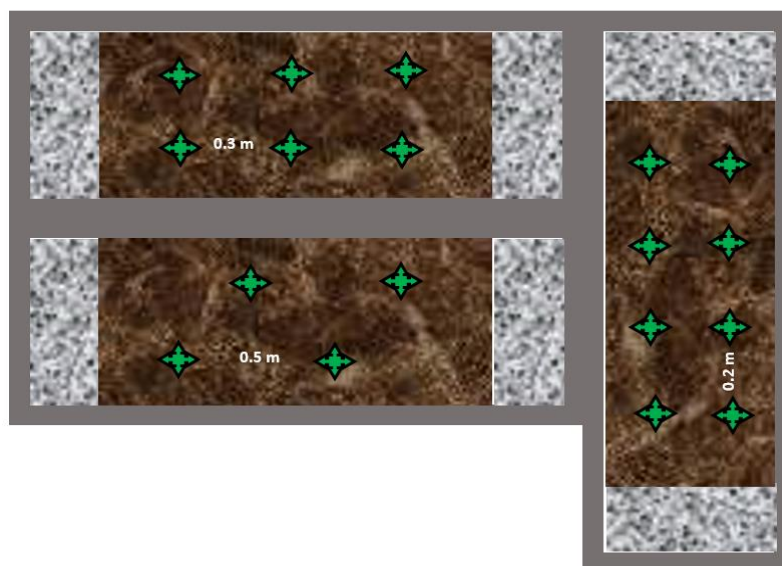


Figura 8. Distancia y ubicación de plántulas en cada humedal

4.3. Influencia de la densidad de plántulas en los parámetros

4.3.1. Influencia de la densidad en el número de flores

La tabla 14 muestra los resultados de la medición mediante la observación realizado a la cantidad de alcatraces desarrollados en los 3 humedales.

Tabla 14
Resultados de número de flores en los sistemas

	Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
Evaluación a los:	4	6	8
	Número de flores		
2 días	1	0	0
4 días	2	1	1
6 días	3	1	1
8 días	3	2	2
10 días	4	3	2

La tabla 15 presenta los datos estadísticos procesados que indican si existe al menos una diferencia entre las evaluaciones y los humedales con respecto a la influencia de la densidad en la cantidad de flores de alcatraz.

Tabla 15
Prueba de efectos inter- sujetos para el número de flores

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Número de flores					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	18.000	6	3.000	25.714	0.000
Intersección	45.067	1	45.067	386.286	0.000
Evaluación	12.267	4	3.067	26.286	0.000
Humedal	5.733	2	2.867	24.571	0.000
Error	0.933	8	0.117		
Total	64.000	15			
Total corregido	18.933	14			

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Los resultados sobre la influencia de la densidad en el número de flores, analizadas en la prueba de efectos inter- sujetos (Tabla 15), demostraron que existe una diferencia significativa ($p = 0.000 < 0.05$) entre las evaluaciones y también los humedales. Es decir, al menos una evaluación es diferente a las demás (Tabla 14), existiendo una influencia distinta en la producción de flores en al menos un humedal con respecto a su densidad. Esta variabilidad se dio gracias a la plantación a diferentes distancias y densidades de las plántulas de alcatraz en cada humedal.

La tabla 16 muestra datos de la prueba Tukey y Duncan, esta prueba nos indica, en que humedal, se da mejor la producción de flores.

Tabla 16
Influencia de la densidad en el número de flores

Número de flores					
Pruebas	Humedal	N	Subconjunto		
			1	2	
HSD Tukey ^{a,b}	3.00	5	12.000		
	2.00	5	14.000		
	1.00	5		26.000	
	Sig.		0.640	1.000	
Duncan ^{a,b}	3.00	5	12.000		
	2.00	5	14.000		
	1.00	5		26.000	
	Sig.		0.382	1.000	

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = 0.05

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Los resultados de las pruebas de Tukey y Duncan en la tabla 16, presentan una diferencia en el humedal 1 con densidad de 4, es decir que a esta densidad hay mayor producción de flores, todo lo contrario, ocurre en los humedales 2 y 3 con densidades de 6 y 8 respectivamente. La plantación a diferentes distancias y densidades de las plántulas de alcatraz en cada humedal, influyo en la variabilidad mostrada en las pruebas de Tukey y Duncan.

Durante el conteo de flores se observó su crecimiento de forma saludable por el tipo de humedal que se implementó, Zurita y otros autores (2008) donde utilizaron fluorescencia inducida por láser (LIF) y mediciones físicas para evaluar y comparar la salud de (*Zantedeschia aethiopica*), bajo dos patrones de flujo en humedales construidos con flujo subsuperficial, indicaron que las plantas en un HFH eran más saludables que las de un humedal de flujo vertical. Las mediciones físicas llevaron a la misma conclusión.

En un sistema a escala piloto la mayoría de las plantas ornamentales sobrevivieron al período de experimentación de 12 meses y su desarrollo dependió del tipo de humedal construido que fueron plantadas alcatrazes parecía más saludable y produjo alrededor de 60 flores en el de flujo superficial horizontal (Zurita et ál., 2009).

4.3.2. Influencia de la densidad de plántulas en el DBO₅

La tabla 17 muestra los resultados de los análisis de DBO₅ en los 3 humedales.

Tabla 17
Resultados de DBO₅ en los humedales

	Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
Evaluación a los:	4	6	8
		(mg /L)	
2 días	26	29	28
4 días	18	20	20
6 días	15	16	18
8 días	12	13	13
10 días	12	13	13

La tabla 18 presenta datos estadísticos de las pruebas de efectos inter- sujetos que indican si existe al menos una diferencia entre las evaluaciones y los humedales con respecto a la influencia de la densidad de plántulas en la remoción del DBO₅.

Tabla 18
Pruebas de efectos inter- sujetos para DBO₅

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	DBO ₅		F	Sig.
		gl	Media cuadrática		
Modelo corregido	473.333	6	78.889	175.309	0.000
Intersección	4717.067	1	4717.067	10482.370	0.000
Evaluación	463.600	4	115.900	257.556	0.000
Humedal	9.733	2	4.867	10.815	0.005
Error	3.600	8	0.450		
Total	5194.000	15			
Total corregido	476.933	14			

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Los resultados sobre la influencia de la densidad de plántulas en la DBO₅ analizadas en la prueba de efectos inter- sujetos (Tabla 18), demostraron que existe una diferencia significativa ($p = 0.000 < 0.05$) entre las evaluaciones y también los humedales. Al menos una evaluación es diferente a las demás como se puede observar en la tabla 17, también hay una influencia distinta en la remoción de DBO₅ en al menos un humedal con respecto a la densidad de plántulas. La plantación a diferentes distancias de las plántulas de alcatraz en cada humedal (Figura 8), favoreció notablemente a que una evaluación y un humedal sea muy diferente a las demás.

La tabla 19 muestra datos de la prueba Tukey y Duncan esta prueba nos indica en que humedal se da mejor la remoción de DBO₅.

Tabla 19
Influencia de la densidad de plántulas en la remoción de DBO₅

	DBO ₅			
	Humedal	N	Subconjunto	
			1	2
HSD Tukey ^{a,b}	1.00	5	16.6000	
	2.00	5		18.2000
	3.00	5		18.4000
	Sig.		1.000	0.886
Duncan ^{a,b}	1.00	5	16.6000	
	2.00	5		18.2000
	3.00	5		18.4000
	Sig.		1.000	0.650

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

b. Alfa = 0.05.

Fuente: Software estadístico IBM SPSS.

Los resultados de las pruebas de Tukey y Duncan en la tabla 19, presentan una diferencia en el humedal 1 que tiene como densidad 4, es decir que a esta densidad hay mayor remoción de DBO₅, que en los humedales 2 y 3 con densidades de 6 y 8 plántulas respectivamente. La plantación a diferentes distancias de las plántulas de alcatraz en cada humedal (Figura 8), favoreció notablemente a que una evaluación y un humedal sea muy diferente a las demás.

4.3.3. Influencia de la densidad de plántulas en el DQO

La tabla 20 muestra los resultados de los análisis de DQO en los 3 humedales.

Tabla 20
Resultados de DQO en los humedales

Evaluación a los:	Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
	4	6	8
	DQO (mg/L)		
2 días	36	49	50
4 días	36	34	33
6 días	28	25	28
8 días	20	25	22
10 días	20	21	20

La tabla 21 presenta datos estadísticos de las pruebas de efectos inter- sujetos que indican si existe al menos una diferencia entre las evaluaciones y los humedales con respecto a la influencia de la densidad de plántulas en la remoción del DQO.

Tabla 21
Pruebas de efectos inter- sujetos para DQO

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	DQO		F	Sig.
		gl	Media cuadrática		
Modelo corregido	1238.800	6	206.467	13.583	0.001
Intersección	13320.600	1	13320.600	876.355	0.000
Evaluación	1214.400	4	303.600	19.974	0.000
Humedal	24.400	2	12.200	0.803	0.481
Error	121.600	8	15.200		
Total	14681.000	15			
Total corregido	1360.400	14			

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Los resultados sobre la influencia de la densidad en el DQO analizadas en la prueba de efectos inter- sujetos (Tabla 21), demostraron que existe una diferencia significativa ($p = 0.000 < 0.05$) en las evaluaciones, pero no en los humedales ($p = 0.481 > 0.05$). Es decir, al menos una evaluación es diferente a las demás como se puede observar en la tabla 20, en cambio no existe una influencia significativa de la densidad de plántulas que diferencie un humedal del otro en la remoción del DQO. Esta variabilidad en las evaluaciones se dio gracias a la plantación a diferentes distancias las plántulas de alcatraz en cada humedal.

La tabla 22 muestra datos de la prueba Tukey y Duncan esta prueba nos indica en que humedal se da mejor la remoción de DQO.

Tabla 22
Influencia de la densidad de plántulas en la remoción de DQO

DQO			
Humedal		N	Subconjunto
			1
HSD Tukey ^{a,b}	1.00	5	28.0000
	3.00	5	30.6000
	2.00	5	30.8000
	Sig.		0.521
Duncan ^{a,b}	1.00	5	28.0000
	3.00	5	30.6000
	2.00	5	30.8000
	Sig.		0.308

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

b. Alfa = 0.05.

Los resultados de las pruebas de Tukey y Duncan en la tabla 22 se puede observar no que existe una influencia de la densidad en los humedales, es decir que los 3 remueven DQO similarmente.

4.3.4. Influencia de la densidad de plántulas en los sólidos suspendidos totales

La tabla 23 muestra los resultados de los análisis de SST en los 3 humedales.

Tabla 23
Resultados de los SST en los humedales

Evaluación a los:	Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
	4	6	8
		SST (mg /L)	
2 días	32	34	35
4 días	22	23	22
6 días	20	24	25
8 días	19	21	16
10 días	18	18	17

La tabla 24 presenta datos estadísticos de las pruebas de efectos inter- sujetos que indican si existe al menos una diferencia entre las evaluaciones y los humedales con respecto a la influencia de la densidad de plántulas en la remoción de SST.

Tabla 24
Prueba de efectos inter- sujetos para SST

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	SST		F	Sig.
		gl	Media cuadrática		
Modelo corregido	492.400	6	82.067	26.761	0.000
Intersección	7981.067	1	7981.067	2602.522	0.000
Evaluación	484.267	4	121.067	39.478	0.000
Humedal	8.133	2	4.067	1.326	0.318
Error	24.533	8	3.067		
Total	8498.000	15			
Total corregido	516.933	14			

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Los resultados sobre la influencia de la densidad en los SST analizadas en la prueba de efectos inter - sujetos (Tabla 24), demostraron que existe una diferencia significativa ($p = 0.000 < 0.05$) en las evaluaciones, pero no en los humedales ($p = 0.318 > 0.05$). Al menos una evaluación es diferente a las demás (tabla 23), en cambio no existe una influencia significativa de la densidad de plántulas que diferencie un humedal del otro en la remoción de SST. Esta variabilidad en las evaluaciones se dio gracias a la plantación a diferentes distancias las plántulas de alcatraz en cada humedal.

La tabla 25 muestra datos de la prueba Tukey y Duncan esta prueba nos indica en que humedal se da mejor la remoción de SST.

Tabla 25
Influencia de la densidad en SST

SST			
Humedal		N	Subconjunto
			1
HSD Tukey ^{a,b}	1.00	5	22.2000
	3.00	5	23.0000
	2.00	5	24.0000
	Sig.		0.290
Duncan ^{a,b}	1.00	5	22.2000
	3.00	5	23.0000
	2.00	5	24.0000
	Sig.		0.158

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

b. Alfa = 0.05.

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Los resultados de las pruebas de Tukey y Duncan en la tabla 25 se puede observar no que existe una influencia de la densidad en los humedales, es decir que los 3 remueven SST similarmente.

4.3.5. Influencia de la densidad de plántulas en fosfatos

La tabla 26 muestra los resultados de los análisis de fosfatos en los 3 humedales.

Tabla 26
Resultados de fosfatos en los humedales

	Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
Evaluación a los:	4	6	8
		(mg /L)	
2 días	1.3	3.8	4.1
4 días	0.95	2.8	2.7
6 días	0.9	2.38	2.45
8 días	0.9	2.49	2.5
10 días	1.11	2.68	2.7

La tabla 27 presenta datos estadísticos de las pruebas de efectos inter- sujetos que indican si existe al menos una diferencia entre las evaluaciones y los humedales con respecto a la influencia de la densidad de plántulas en la remoción de fosfatos.

Tabla 27
Pruebas de efectos inter- sujetos para fosfatos

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Origen	Fosfatos			F	Sig.
	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática		
Modelo corregido	13.794	6	2.299	28.865	0.000
Intersección	75.983	1	75.983	953.975	0.000
Evaluación	2.647	4	0.662	8.307	0.006
Humedal	11.148	2	5.574	69.980	0.000
Error	0.637	8	0.080		
Total	90.414	15			
Total corregido	14.431	14			

Fuente: Software estadístico IBM SPSS

Los resultados sobre la influencia de la densidad en los fosfatos analizadas en la prueba de efectos inter- sujetos (Tabla 27), demostraron que existe diferencia significativa ($p = 0.000 < 0.05$) entre las evaluaciones y también los humedales. Al menos una evaluación de fosfatos es diferente a las demás como se puede observar en la tabla 26, también que hay una influencia distinta en la remoción de fosfatos en al menos un humedal con respecto a su densidad de plántulas. Esta variabilidad se dio gracias a la plantación a diferentes distancias y densidades de las plántulas de alcatraz en cada humedal.

La tabla 28 muestra datos de la prueba Tukey y Duncan donde nos indica en que humedal se da mejor la remoción de fosfatos.

Tabla 28
Influencia de la densidad en fosfatos

Humedal	Fosfatos			
		N	Subconjunto	
			1	2
HSD Tukey ^{a,b}	1.00	5	1.0320	
	2.00	5		2.8300
	3.00	5		2.8900
	Sig.		1.000	0.940
Duncan ^{a,b}	1.00	5	1.0320	
	2.00	5		2.8300
	3.00	5		2.8900
	Sig.		1.000	0.745

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.

b. Alfa = 0.05.

Los resultados de las pruebas de Tukey y Duncan en la tabla 28 donde se puede observar la diferencia en el humedal 1 que tiene como densidad 4, es decir que a esta densidad hay mayor remoción de fosfatos, que en los humedales 2 y 3 con densidades de 6 y 8 respectivamente. La plantación a diferentes distancias y densidades de las plántulas de alcatraz en cada humedal, influyo en la variabilidad mostrada en las pruebas de Tukey y Duncan.

4.4. Determinación del porcentaje de remoción

La tabla 29 muestra resultados de las concentraciones iniciales de DBO₅, DQO, SST y fosfatos tomadas del tanque de almacenamiento, y los resultados de las concentraciones finales de los parámetros antes mencionados, obtenidos de las salidas de cada humedal, en ella también se puede observar una notable disminución de cada parámetro en los distintos humedales con densidades diferentes.

Tabla 29
Resultados de iniciales y finales de los sistemas

Parámetros	Concentración inicial	Concentración final		
		Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
DBO ₅ (mg/L)	97	12	13	13
DQO (mg/L)	139	20	21	20
SST (mg/L)	128	18	18	17
Fosfatos (mg/L)	4.5	1.11	2.68	2.7

4.4.1. Porcentajes de remoción de DBO₅

En la tabla 30 se muestra que el humedal 1 con una densidad de 4 obtuvo el mayor porcentaje (87.6 %) de remoción, y los humedales 2 y 3 con una densidad de 6 y 8 respectivamente obtuvieron una remoción de 86.6 % de DBO₅.

Tabla 30
Porcentaje de remoción de DBO₅

Parámetro	Concentración inicial	Concentración final		
		Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	97	12	13	13
% de remoción		87.6	86.6	86.6

Los 3 humedales cada una de ellas con distintas densidades, tuvieron una remoción significativa > al 86%, en un sistema a escala de laboratorio con distintas plantas ornamentales entre ellas (*Z. aethiopica*) la DBO₅ se eliminó en más del 70% (Zurita et ál., 2006), en un sistema a escala piloto fueron más del 80% (Zurita et ál., 2009) y 69% de DBO₅ (Núñez et ál., 2017) estas tuvieron una menor remoción ya que hicieron un policultivo y a densidades altas.

Las plantas ornamentales han mostrado una eficiencia de eliminación de DBO₅ variando entre 70 y 93% (Morales et ál., 2013). Con estos resultados favorables podemos indicar que los humedales con (*Z. aethiopica*) tienen mejores rendimientos en la remoción de DBO que con uso de macrofitas (*Typha latifolia* y *Cyperus papyrus*) donde el porcentaje de remoción es del 79.4 % y 68.1 % respectivamente (Bedoya et ál., 2014) también de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) donde obtuvo una remoción de 80% (Mamani y Chavez, 2018).

4.4.2. Porcentajes de remoción de DQO

La tabla 31 muestra que el humedal 1 y 3 con una densidad de 4 y 8 respectivamente obtuvieron el mayor porcentaje (85.6 %) de remoción, y el humedal con una densidad de 6, obtuvo una remoción de 84.9 % de DQO.

Tabla 31
Porcentaje de remoción de DQO

Parámetro	Concentración inicial	Concentración final		
		Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	139	20	21	20
% de remoción		85.6	84.9	85.6

En los 3 humedales cada una de ellas con distintas densidades, tuvieron una remoción significativa > al 84 %, en un sistema a escala de laboratorio con distintas plantas ornamentales entre ellas *Z. aethiopica* la DQO se redujo en más del 75% en todos los casos (Zurita et ál., 2006), en un sistema a escala piloto las remociones promedio fueron más del 80% (Zurita et ál., 2009) y de 64% de DQO (Núñez et ál., 2017). Agregándole terrazas de sedimentación, estanques de estabilización eliminó > 80% (Belmont et ál., 2004). y a escala laboratorio la remoción fue 81% de DQO (Díaz y Valdivia, 2018) estas tuvieron una menor remoción ya que hicieron un policultivo y a densidades altas.

4.4.3. Porcentajes de remoción de SST

La tabla 32 muestra que el humedal 3 con una densidad de 8 obtuvo el mayor porcentaje (86.7%) de remoción, y los humedales con densidad de 4 y 6, obtuvieron una remoción de 85.9 % de SST.

Tabla 32
Porcentaje de remoción de SST

Parámetro	Concentración inicial	Concentración final		
		Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
SST(mg/L)	128	18	18	17
% de remoción		85.9	85.9	86.7

En los 3 humedales cada una de ellas con distintas densidades, tuvieron una remoción significativa > al 85% en comparación a un tratamiento a escala piloto agregándole terrazas de sedimentación, estanques de estabilización es mejor ya que solo eliminó 80% de SST (Belmont et ál., 2004). Nuestro resultado contrasta con la remoción

en un sistema a escala laboratorio con uso de alcatraz a densidades de plántulas altas donde el porcentaje de remoción fue 75% (Díaz y Valdivia, 2018). Con estos resultados favorables podemos indicar que los humedales con plantas ornamentales como (*Z. aethiopica*, *Canna Heliconia*) donde el porcentaje de remoción fue > 88% (Konnerup et ál., 2008) tienen mejores rendimientos que a escala laboratorio y piloto en cuanto a la remoción de SST.

4.4.4. Porcentajes de remoción de fosfatos

La tabla 33 muestra que el humedal 1 con una densidad de 4 obtuvo el mayor porcentaje (75.3%) de remoción, y los humedales con densidad de 6 y 8, obtuvieron una remoción mayor e igual al 40 % de fosfatos.

Tabla 33
Porcentaje de remoción de fosfatos

Parámetro	Concentración inicial	Concentración final		
		Humedal 1	Humedal 2	Humedal 3
Fosfatos (mg/L-PO ₄ ⁻²)	4.5	1.11	2.68	2.7
% de remoción		75.3	40.4	40.0

La investigación del año 2013 menciona que las plantas ornamentales han mostrado una eficiencia de eliminación de fosfatos variando entre 40 y 80% (Morales et ál., 2013). En un sistema a escala de laboratorio con distintas plantas ornamentales entre ellas (*Z. aethiopica*) el fósforo se redujo en más del 66% (Zurita et ál., 2006) y en un sistema a escala piloto las remociones promedio fueron 50% (Zurita et ál., 2009) y 33% de fosfatos (Núñez et ál., 2017). En comparación con las investigaciones hechas por Zurita y otros autores estas tuvieron una menor remoción ya que hicieron un policultivo y a densidades altas.

4.5. Evaluación económica de la producción de la flor de alcatraz

Para una buena producción de la flor de alcatraz y un rendimiento óptimo de remoción de materia orgánica en las aguas residuales domésticas, la densidad debe ser 5 plantas de alcatraz en m². Este dato se calculó con la regla de tres simple, si en el humedal 1 con un espacio de 0.75 m² tiene una densidad de 4 plantas, en m² habrá 5 plantas. Estos cálculos ayudaron en la evaluación económica de la producción de la flor de alcatraz mostrada en la tabla 34.

Tabla 34
Evaluación económica de la producción de la flor de alcatraz

	m ²	Número de plantas (5 plantas por m ²)	Numero de flores por planta (de 2 a 4 ^a)	Precio nacional por flor (S/0.80 a S/2.00 ^b)	Precio local por flor (S/1.00 a S/2.00)
1 ha	10000	50000	100000 - 200000	S/80000 - S/200000	S/100000 - S/200000

a. cada planta de alcatraz puede tener entre 2 a 4 flores (Soto de Paz, 2014)

b. el precio en el Perú de la flor de alcatraz varía según la zona de S/0.80 a S/2.00 (Vivero Los Incas, 2019).

Se realizó una medición del peso de la flor calculando que aproximadamente 10 flores son un 1kg. Entonces 1 tn contiene aproximadamente 10000 flores, la producción de la flor de alcatraz será 10 a 20 toneladas por hectárea (10 -20 tn /ha). El caudal que se requerirá será mayor al utilizado en esta investigación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se produjo flor de alcatraz a partir de aguas residuales provenientes de un domicilio con cuatro habitantes, en un sistema de tres humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal en el sector de Huatascapa – Puno.
- El agua residual tratada presento características típicas de su origen doméstica con una concentración media de SST y fosfatos; baja de DBO₅ y DQO.
- Los tres humedales implementados son del tipo horizontal de flujo sub-superficial, conectados a un tanque impermeable que sirve de abastecimiento de agua residual domestica necesaria para producción de flor de alcatraz.
- Las densidades de plántulas en los humedales influyen de manera significativa en la producción de flores de alcatraz, como se pudo observar en el humedal 1 que presento mejores condiciones para la flor al tener una menor densidad.
- La producción de flor de alcatraz fue de manera óptima en el humedal 1, presentando mayor número de flores y mejores resultados en la remoción de DBO₅ (87.6%), DQO (85.6%), SST (85.9 %) y fosfatos (75.3 %).

5.2. Recomendaciones

Para posteriores construcciones de humedales artificiales de flujo subsuperficial considerar lo siguiente:

- Realizar una evaluación y prevenir frente a las condiciones climatológicas, ya que el tratamiento se puede ver afectado por ello.
- Debido a que no se cuenta con muchos estudios en nuestro país, se recomienda aplicar la (*Zantedeschia aethiopica*) en humedales como especies para la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas, ya que se demostró la eficiencia de las mismas y con un buen mantenimiento se lograría mejorar la calidad de agua y generar ingresos económicos con la venta de las flores que el propio sistema brindara.
- Se recomienda al Gobierno Regional y locales, que consideren esta investigación para realizar un adecuado tratamiento de las aguas residuales domésticas, ya que es una tecnología limpia y podría generar ingresos con la producción de las plantas ornamentales.

REFERENCIAS

- Alianza por el Agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas: Monográficos Agua en Centroamérica*. In *Secretariado de Alianza por el agua, Ecología y Desarrollo* (Ideasamare).
<http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- ANA. (2009). *Ley de Recursos Hídricos*. Lima.
- ANA. (2011). *Uso de aguas residuales en el Perú*.
- Arnáiz, C., Isac, L., Lebrato, J. (2000). *Tratamiento biológico de aguas residuales*. Revista Tecnología del Agua.
- Bedoya, J. C., Ardila, A. N., Reyes, J. (2014). *Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia*. Colombia.
- Belmont, M., Cantellano, E., Thompson, S., Williamson, M., Sánchez, A., Metcalfe, C. (2004). *Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico*. México.
- Chuchón, S. A., Aybar, C. A. (2008). *Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y DBO de la planta de tratamiento de aguas residuales "La Tatora", Ayacucho*. Ecología Aplicada: <https://doi.org/17262216>.
- Coaquira, A. (2018). *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*.
- Congreso Constituyente Democrático. (1993). *Constitución Política del Perú*. Lima.
- Díaz, E., Valdivia, I. (2018). *Efecto del tiempo de retención y variación de especies de plantas ornamentales para la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas – Cajamarca, 2018*. Cajamarca.
- Duarte, Y. (2012). *Cartucho*. Flores Silvestres.
- EPA. (1993). *United States Enviromental Protection Agency*.
- Espigares García, P. L. (2012). *Aguas residuales composición*. Obtenido de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Fair, G. M., Geyer, J. C., & Okun, D. A. (2008). *Purificación de agua y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México: Limusa.

- Figuerola, J. (1999). *Evaluación del Alcatraz (Zantedeschia aethiopica) como planta emergente en un pantano tipo flujo horizontal de subsuperficie para el tratamiento de aguas residuales de una granja porcícola*. Monterrey.
- Grayum, M. (2003). *Manual de plantas de Costa Rica*. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden.
- Gómez, Y. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando Cyperus alternifolius y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas*.
- Haro, M., González, Aponte, N. (2010). *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular*. Ciudad Universitaria, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta edición. Mexico
- Hernández, W. (2017). *Tratamiento de Aguas Residuales Empleando las Especies Achira (Canna Índica) y Carrizo (Pragmites Australis) a través de Humedales Artificiales, Chalamarca 2017*.
- Konnerup, D., Koottatep, T., Brix, H. (2008). *Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia*. Tailandia.
- Lara, J. A. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Universidad politécnica de Cataluña: Obtenido de <https://www.ecohabitar.org/wpcontent/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>.
- Larios, F., Gonzáles, C., & Morales, Y. (2015). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*.
- Lehman, A. (2015). *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. Madrid.
- Maldonado, M. (2005). *Uso de wetlands para el tratamiento y reúso de aguas residuales domésticas*.
- Mamani, N., Chávez, R. (2018). *Evaluación de la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas - Puno, 2018*. Juliaca.
- Mendoza, M. (2015). *Parámetros de calidad de aguas residuales*.
- Metcalf, L., & Eddy, H. (1991). *Tratamiento y depuración de aguas residuales*.
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2011). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*.

- MINAGRI, (2010). *Reglamento de la Ley N° 29338.- Ley de Recursos Hídricos, aprobado por D. S. N° 001-2010-AG.* Lima.
- MINAM, (2005). *Ley general del ambiente.* Ministerio del Ambiente.
- MINAM, (2010). *Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.*
- MINAM. (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales – PTAR.*
- Morales, G., López, D., Vera, I., Vidal, G. (2013). *Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materias orgánicas y nutrientes contenidos en aguas servidas.*
- Nina, R. (2015). *Evaluación de biodigestor de polietileno rotoplast en el tratamiento de aguas residuales domésticas y propuesta de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba-Espinar.*
- Núñez, R. (2016). *Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergente Cyperus Papyrus (Papiro).*
- Núñez, R., Vidal, G., López, D. (2017). *Evaluación de humedales construidos en régimen de policultivo y monocultivo de plantas ornamentales para la depuración de aguas servidas.* Chile.
- OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales.* Lima.
- Organización Mundial de la Salud (2019). *Agua.* Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Orjuela, M., Lizarazo, J. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia.* Obtenido de Universidad Nacional de Colombia.
- Pérez, J., Espigares, M. (1995). *Aguas residuales.* Composición.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales.* In Editorial Reverté, S. A (Revisada.).
http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Reina Valera. (1960). *Santa Biblia.*
- Rojas, M. (2018). *“Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (Chrysopogon zizanioides) en humedales artificiales en la comunidad de Santa Rosa bajo, distrito Chota, 2017”.*

- Rojas, M., Purihuamán, C. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domesticas con la especie vertiver (chrysopogon zizanioides) en humedales artificiales de flujo subsuperficial*. Cajamarca.
- Soto de Paz, G. E. (2014). *Análisis de la cadena de valor de los cartuchos (Zantedeschia aethiopica) en cuatro departamentos de Guatemala*. Guatemala de la Asunción.
- Silva, J. (2004). *Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la universidad de Piura*. Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI_119.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Suaréz, J. (2008). *Calidad de aguas en Ríos, autodepuración*.
- UNESCO. (2003). *Water for people, water for life Executive Summary of the UN World Water Development Report. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*, 36.
- Vivero Los Incas. (2019). Perú.
- Vidal G., Hormazábal S. (2016). *Humedales construidos. Diseño y operación*. Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile.
- Zapata, A. R. (2014). *Humedales artificiales; una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada La Nutria de los cerros orientales de Bogotá D. C.* Colombia.
- Zurita, F., Belmont, M., De Anda, J., Cervantes-Martínez, J. (2008). *Stress detection by laser-induced fluorescence in Zantedeschia aethiopica planted in subsurface-flow treatment wetlandz*. México.
- Zurita, F., Belmont, M., De Anda, J., Whi, R. (2011). *Seeking a way to promote the use of constructed wetlands for domestic wastewater treatment in developing countries*. México.
- Zurita, F., De Anda, J., Belmont, M. (2006). *Performance of laboratory-scale wetlands planted with tropical ornamental plants to treat domestic wastewater*. Mexico.
- Zurita, F., De Anda, J., Belmont, M. (2009). *Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands*. México.

ANEXOS

Anexo A: Cadena de custodia



CADENA DE CUSTODIA

Código:	
Revisión:	
Página:	1 de 1

Solicitante : Mary Luz Ramos Peña
Dirección : Jr. Ukopaja 9/a - Jumbay
R.U.C. :
Contacto :


Teléfono / Fax : 949600379
E-mail : maryluz.rps@gmail.com


Cod. Lab.	Cod. de campo	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra *	Puntos de Muestreo	Com., CP., Localidad, Urb.	Distrito	Provincia	Departamento	U.T.M.		N° de frascos		Vol. Total aprox. (ml)
										Este	Norte	P	V	
	H-001	06/10/19	09:00	AR	Tanque de Almacenamiento	Sector Huachacapa	Cayash	Sandia	Puno			2		
	H-002	06/10/19	10:00	EF	Humedal 1	Sector Huachacapa	Cayash	Sandia	Puno			2		
	H-003	06/10/19	10:00	EF	Humedal 2	Sector Huachacapa	Cayash	Sandia	Puno			2		
	H-004	06/10/19	10:20	EF	Humedal 3	Sector Huachacapa	Cayash	Sandia	Puno			2		
Total												2		


*AR: Agua Potable; AR: Agua Freativa; AS: Agua Superficial; AT: Agua Subterránea; AL: Agua Pluvial; EF: Fuente; VE: Vertedero; SE: Semental; BV: Balsa Vieja; DP: Duplicado; BC: Banco de Campes; BF: Banco de Fresas; LD: Límite; BQ: Balsa


Responsable del muestreo : Mary Luz Ramos Firma	Observaciones: <hr style="width: 50%; margin-left: 0;"/>	Tipo de recipiente para el transporte: Cooler Temperaturas durante el transporte: - Muestras dentro del periodo de análisis: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Muestras entregadas intactas: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	Entregado a: Elgo. Herbert Pari Waira Recibido por: Fecha y hora: 06-10-19 - 03:00 pm Firma:
-------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Anexo B: Etiqueta para frascos

 LABORATORIOS B&C S.A.C. "Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos" Oficina: Jr. Lima N° 165, Ofc. 312 - Jirónca, Telf: R/P M # 951492233 / 957 708565 E-mail: bclaboratorios@gmail.com	
Código de Campo y/o ID de la Muestra: M-001	Código Laboratorio:
Punto de Muestreo: Tanque de Almacenamiento	
Origen de la Fuente: Agua Residual D.	Fecha y Hora: 06/10/19/09.0
Muestreado por: Mary Luz Ramos	Ensayos Solicitados: DBO, DQO
Preservada: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
con:	
Observaciones:	

 LABORATORIOS B&C S.A.C. "Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos" Oficina: Jr. Lima N° 165, Ofc. 312 - Jirónca, Telf: R/P M # 951492233 / 957 708565 E-mail: bclaboratorios@gmail.com	
Código de Campo y/o ID de la Muestra: M-002	Código Laboratorio:
Punto de Muestreo: Humedal 1	
Origen de la Fuente: Efluente	Fecha y Hora: 06/10/19/10.00
Muestreado por:	Ensayos Solicitados:
Preservada: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	SST y Fosfatos
con:	
Observaciones:	

 LABORATORIOS B&C S.A.C. "Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos" Oficina: Jr. Lima N° 165, Ofc. 312 - Jirónca, Telf: R/P M # 951492233 / 957 708565 E-mail: bclaboratorios@gmail.com	
Código de Campo y/o ID de la Muestra: M-001	Código Laboratorio:
Punto de Muestreo: Tanque de Almacenamiento	
Origen de la Fuente: Agua Residual D.	Fecha y Hora: 06/10/19-09.00
Muestreado por: Mary Luz Ramos	Ensayos Solicitados:
Preservada: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	Fosfatos y SST
con:	
Observaciones:	

 LABORATORIOS B&C S.A.C. "Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos" Oficina: Jr. Lima N° 165, Ofc. 312 - Jirónca, Telf: R/P M # 951492233 / 957 708565 E-mail: bclaboratorios@gmail.com	
Código de Campo y/o ID de la Muestra: M-002	Código Laboratorio:
Punto de Muestreo: Humedal 1	
Origen de la Fuente: Efluente	Fecha y Hora: 06/10/19-10.00
Muestreado por: Mary Luz Ramos	Ensayos Solicitados:
Preservada: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	DBO y DQO
con:	
Observaciones:	

Anexo C: Resultados de laboratorio antes del tratamiento



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° C293-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **MARY LUZ RAMOS PEÑA**
 Dirección : ---
 Proyecto : "Producción de flor de Alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) a partir de Aguas Residuales Domesticas en Humedales Artificiales de Flujo Sub Superficial en el sector Huasacapa - Puno, Peru."

I. Datos del muestreo

Descripción del Producto : *Agua Residual*
 Punto de muestreo : *M-001: Tanque de almacenamiento*
 Procedencia : *Sector Huasacapa, Dist. Cuyo cuyo, Prov. Sandia, Dept. Puno*
 Ubicación UTM : ---
 Fecha y hora de muestreo : *06 - Octubre - 2019 / 09:00 hrs.*
 Presentación : *2,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno*
 Tipo de muestra : *Puntual*
 Muestreado por : *El Cliente*
 Fecha de recepción : *06 - Octubre - 2019*

II. Resultados Parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		M-001: Tanque de almacenamiento
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	128
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	97
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	139
Fosfatos	mg/L -PO ₄ ²⁻	4.5

Detalle:

< Valor : Límite de Detección del Método
 mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Método normalizado 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. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210B. 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado. Método titrimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5220 C. 21ª ed. 2005.
- Fosfatos: Fotométrico.

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente, LABORATORIOS B&C asume responsabilidad si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, si certificador del sistema de calidad.

Juliaca, 11 de Octubre del 2019


 Mery Luz Ramos Peña
 JEFE DE LABORATORIO
 C.B.P. 0687

Anexo D: Resultados de laboratorio después del tratamiento del humedal 1



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° C317-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : MARY LUZ RAMOS PEÑA
 Dirección : —
 Proyecto : "Producción de flor de Alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) a partir de Agua Residuales Domésticos en Humedales Artificiales de Flujo Sub Superficial en el sector Huatascapa - Puno, Peru."

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : Efluente
 Punto de muestreo : M-014: Humedal 1
 Procedencia : Sector Huatascapa, Dist. Cuyo cuyo, Prov. Sandía, Dept. Puno
 Ubicación UTM : —
 Fecha y hora de muestreo : 14 - Octubre - 2019 / 10:00 hrs.
 Presentación : 2,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno
 Tipo de muestra : Puntual
 Muestreado por : El Cliente
 Fecha de recepción : 14 - Octubre - 2019

III. Resultados Parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		M-014: Humedal 1
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	18
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	12
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	20
Fosfatos	mg/L -PO ₄ ³⁻	1.11

Donde:

< Patr : Límite de Detección del Método
 mg/L : Miligramos por Litro

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Sólidos Suspendedos Totales: Gravimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 2540. 27ª ed. 2005
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210 B. 21ª ed. 2005
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método titrimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5220 C. 21ª ed. 2005
- Fosfatos: Fotométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente, LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 21 de Octubre del 2019


 Firma: Herbert Paul Neira
 JEFE DE LABORATORIO
 CDR. 9687

Página 4 de 4

Anexo E: Resultados de laboratorio después del tratamiento del humedal 2



LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20446241590

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° C318-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : MARY LUZ RAMOS PEÑA
 Dirección : —
 Proyecto : "Producción de flor de Alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) a partir de Agua Residual: Doméstica en Humedales Artificiales de Flujo Sub Superficial en el sector Huatascapa - Puno, Peru."

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : Efluente
 Punto de muestreo : M-015: Humedal 2
 Procedencia : Sector Huatascapa, Dist. Cuyo cuyo, Prov. Sandía, Dept. Puno
 Ubicación UTM : —
 Fecha y hora de muestreo : 14 - Octubre - 2019 / 10:00 hrs.
 Presentación : 2,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno
 Tipo de muestra : Puntual
 Muestreado por : El Cliente
 Fecha de recepción : 14 - Octubre - 2019

III. Resultados Parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		M-015: Humedal 2
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	18
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	13
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	21
Fosfatos	mg/L -PO ₄ ⁻³	2.68

Dados:

< 1000 : Límite de Detección del Método
 mg/L : Miligramos por Litro

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 2540, 2ª ed. 2005
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210B, 2ª ed. 2005
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método titulométrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5220 C, 2ª ed. 2005
- Fosfatos: Fotométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos es sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No debe referirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente, LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado de idoneidad de calidad.

Juliaca, 21 de Octubre del 2019



Ing. Herbert Pari Neira
 JEFE DE LABORATORIO
 CEP 9637

Anexo F: Resultados de laboratorio después del tratamiento del humedal 3



LABORATORIOS B&C S.A.C.
Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos
RUC: 20448241590

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO N° C319-2019

I. Datos del Solicitante

Solicitante : **MARY LUZ RAMOS PEÑA**
Dirección : —
Proyecto : "Producción de flor de Acatraz (*Zantedeschia aethiopica*) a partir de Agua Residual de Domésticos en Humedales Artificiales de Flujo Sub Superficial en el sector Huatascapa - Puno, Peru."

II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : Efluente
Punto de muestreo : M-016: Humedal 3
Procedencia : Sector Huatascapa, Dist. Cuyo cuyo, Prov. Sandia, Dept. Puno
Ubicación UTM : —
Fecha y hora de muestreo : 14 - Octubre - 2019 / 10:00 hrs.
Presentación : 2,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno
Tipo de muestra : Puntual
Muestreado por : El Cliente
Fecha de recepción : 14 - Octubre - 2019

III. Resultados Parámetros Fisicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION
		M-016: Humedal 3
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	17
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	13
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	20
Fosfatos	mg/L -PO ₄ ³⁻	2.70

Donde:
- Valor : Límite de Detección del Método
mg/L : Miligramos por Litro

MÉTODOS DE ENSAYO

- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Método normalizado 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. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210B. 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo oxidado. Método titrimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5220 C. 21ª ed. 2005.
- Fosfatos: Fotométrico

NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos es válido únicamente para la muestra analizada.
- No debe inferirse a la muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente, LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 21 de Octubre del 2019

Blago Harbort Parí Nieto
JEFE DE LABORATORIO
CBP. 9387

Anexo G: Cálculos de dimensionamiento para la implementación de los humedales artificiales de flujo sub superficial

Cálculo del área de la superficie:

$$A_S = L * W \frac{Q \left[\ln \left(\frac{C_0}{C_e} \right) \right]}{K_T d_n} \dots\dots (1)$$

Hallamos K_T :

$$K_T = K_{20}(\theta) = K^{(T^\circ - 20)^\circ C} \dots\dots (2)$$

Donde:

$$K_{20} = 1.104$$

$$\theta = 1.06$$

$$T = 14.5$$

(K_{20} y θ : constantes)

$$K_T = (1.104)(1.06)^{(14.5 - 20)^\circ C}$$

$$K_T = 0.80$$

Reemplazamos K_T en la ecuación 1:

$$A_S = \frac{0.04 \left[\ln \left(\frac{97}{15} \right) \right]}{(0.80)(0.50)(0.35)}$$

$$A_S = 0.53 \text{ m}^2$$

Cálculo Largo – Ancho (L-W) del humedal:

Suponemos una proporción L – W de 2:1

$$L = 2 W$$

$$2 W * W = 0.53$$

$$W = \left(\frac{0.53}{2} \right)^{0.5}$$

$$W = 0.52 \text{ m}$$

$$L = 2 * 0.52$$

$$L = 1.03 \text{ m}$$

Por lo tanto, se tiene un humedal artificial de las siguientes dimensiones: largo 1.03 m, ancho 0.52 m y una altura de 0.50 m. Siendo su volumen 0.27 m³.

Cálculo de la capacidad hidráulica (Ecuación de Darcy y/o ecuación 3):

$$Q = K_s AS$$

Donde:

A: área transversal

$$A = 2(W * p) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$A = 2(0.5 * 0.52)$$

$$A = 0.52 \text{ m}^2$$

S: gradiente hidráulico

$$S = 0.1 \left(\frac{d}{L} \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$S = 0.1 \left(\frac{0.50}{1.03} \right) = 0.05$$

KS: conductividad hidráulica (0,015)

$$K_s = \left(\frac{3}{200} \right) * 100 \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$K_s = 0,15$$

Cálculo del caudal requerido:

$$Q = K_s AS \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$Q = 0.15 * 0.52 * 0.05$$

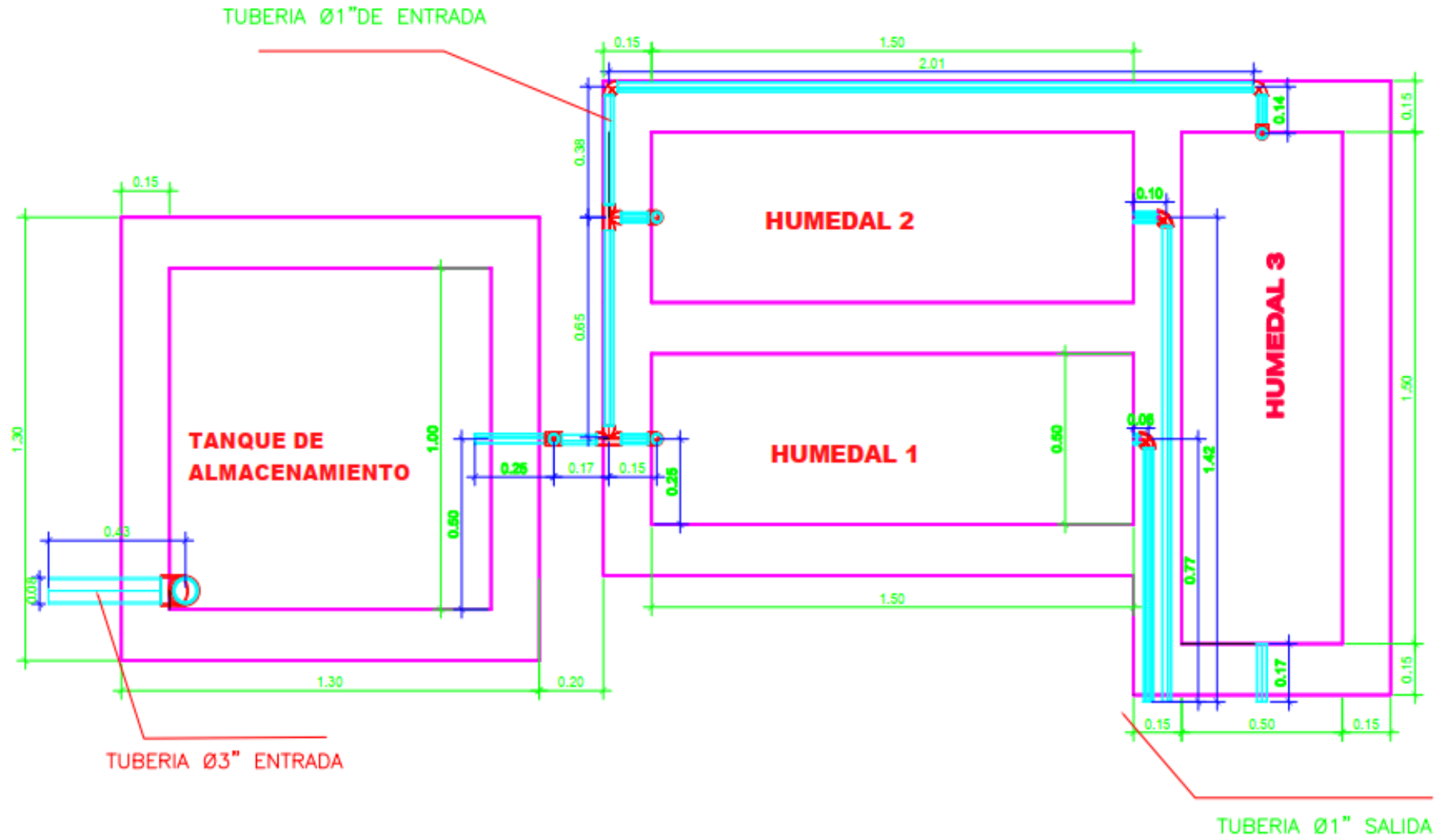
$$Q = 0.04 \text{ m}^3/\text{día}$$

Cálculo del tiempo de retención (ecuación 4):

$$TRH = \left(\frac{\text{Volumen} * \text{espacio vacío}}{Q} \right)$$

$$TRH = \left(\frac{0.27 * 0.35}{0,04} \right) = 2 \text{ días}$$

Anexo H: Vista en planta del sistema de humedales



Anexo I: Panel fotográfico de la construcción de los sistemas

Figura 9: Construcción de los humedales



Se construyó el sistema de humedad con concreto para su impermeabilización

Figura 10: Colocación de la grava



La grava se utilizó para la retención de los sólidos suspendidos y para una mejor remoción de materia orgánica.

Figura 11: Colocación de la arena fina



El medio granular como arena fina contribuyo a la eliminación de contaminantes por que sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora.

Figura 12: Colocación de tierra orgánica y el trasplanto de las flores



Se colocó tierra negra con alto porcentaje de humus para que la planta pueda crecer y desarrollarse de forma óptima

Figura 13: Muestreo de las aguas y conteo de flores



Cada 48 horas se hizo el muestreo y el conteo de la producción de flores de alcatraz