

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación
mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y
Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales
domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca**

Por:

Erlin Nuñez Morales

Asesores:

Mg. Nemias Saboya Rios

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

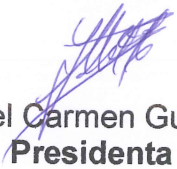
Lima, abril de 2019

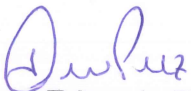
Evaluación de la eficiencia del sistema de Fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua- Cajamarca

TESIS

Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR


Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidenta


Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio
Secretario


Mg. Joel Hugo Fernández Rojas
Vocal


Ing. Evelyn Diana Ruiz Gonzales
Vocal


Mg. Nemias Saboya Rios
Asesor

Lima, 17 de abril de 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Mg. Nemias Saboya Rios, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FITORREMEDIACIÓN MEDIANTE LAS ESPECIES PALUSTRE Y FLOTANTE, ZANTEDESCHIA AETHIOPICA Y EICHHORNIA CRASSIPES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA ZONA DE LA REGIÓN NATURAL QUECHUA-CAJAMARCA" constituye la memoria que presenta el Bachiller Erlin Nuñez Morales para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental 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 constancia en Lima, a los 22 de mayo de 2019.



Mg. Nemias Saboya Rios

Dedicatoria

A mi Dios, por presentarme las personas, los recursos y los tiempos correctos para proceder desde el inicio hasta el final de la tesis. A mis padres Elmer Nuñez, Julia Morales y hermanos Abner y Abdías. Finalmente a mí querido centro poblado de Udimá. Ellos son los que me inspiraron, me inspiran y me inspirarán en el proseguir de la educación.

Agradecimientos

A los señores; Lizandro Lozano, Artemio Lozano, Nilo Nuñez, Roberto Nuñez, Elmer Nuñez (Mi padre), Lucino Galindo por su apoyo en la mano de obra y experiencia en mejora de las ideas para la ejecución correcta del proyecto. Al profesor Julio Fernández y familia por la donación del material de sustrato (grava). Al señor Hugo Gil, Cristóbal Mestanza y Abner Nuñez por su apoyo en la movilidad para el muestreo. A mis asesores Mg, Nemias Saboya y Mg. Milda Cruz por su tutoría y tiempo. Al Sr. Víctor Saldaña por todo el apoyo. A Abdías por su colaboración en todo momento. A mi madre por todo lo hecho. A Dios por su amor mostrado en las fuerzas, la inteligencia, los recursos, la salud, para lograr este objetivo.

Índice General

Resumen.....	xviii
Capítulo I. El problema	20
1.1 Identificación del problema	20
1.2 Justificación	21
1.3 Presuposición filosófica.....	22
1.4 Objetivos.....	23
1.4.1Objetivo general.	23
1.4.2Objetivos específicos.	23
Capítulo II. Revisión de literatura.....	24
2.1 Aguas residuales	24
2.1.1Tipos de aguas residuales.....	24
2.1.2Niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas.	25
2.1.2.1 Tratamiento preliminar.	25
2.1.2.2 Tratamiento primario.	26
2.1.2.3 Tratamiento secundario.....	26
2.1.2.4 Tratamiento terciario.....	27
2.1.2.5 Tratamiento avanzado.	27
2.1.3Composición de Aguas residuales domésticas.....	27
2.1.4Tecnologías comunes de tratamiento de aguas residuales.	28
2.2 Fitorremediación de aguas residuales domésticas	29
2.2.1Ventajas y limitaciones.	30
2.2.1.1 Ventajas.....	30
2.2.1.2 Limitaciones.....	30
2.2.2Mecanismos de fitorremediación.	30

2.2.2.1	Fito extracción.	31
2.2.2.2	Rizo degradación o Rizo filtración.	31
2.2.2.3	Fitoestabilización.	31
2.2.2.4	Fitoestimulación.	32
2.2.2.5	Fitovolatilización.	32
2.2.2.6	Fitodegradación.	32
	2.2.3 Plantas fitorremediadoras de aguas residuales.	32
2.3	Plantas Palustres y acuáticas flotantes.	33
	2.3.1 Plantas Palustres.	33
	2.3.2 Plantas acuáticas flotantes o libres.	34
2.4	Humedales artificiales.	34
	2.4.1 Tipos de humedales artificiales.	35
2.4.1.1	Humedal de Flujo Superficial (HFS).	35
	2.4.1.1.1 Humedal de flujo superficial con plantas flotantes.	36
	2.4.1.1.2 Humedal de flujo superficial con plantas sumergidas.	36
2.4.1.2	Humedal de Flujo Subsuperficial (HFSS).	37
	2.4.1.2.1 Humedal subsuperficial de flujo horizontal.	37
	2.4.2 Funciones generales de los humedales artificiales.	38
	2.4.3 Mecanismos en la remoción de contaminantes en humedales artificiales. ...	39
	2.4.4 Componentes de humedales artificiales.	40
2.4.4.1	Sustrato.	40
2.4.4.2	Agua.	41
2.4.4.3	Relación entre plantas y microorganismos.	41
2.5	<i>Eichhornia crassipes</i>	43
	2.5.1 Taxonomía.	43

2.5.2	Descripción.	44
2.5.3	Composición química.....	45
2.5.4	Hábitat.	45
2.5.5	Distribución geográfica.	45
2.5.6	Reproducción.	45
2.5.7	Cultivo y uso.	46
2.5.8	Parámetros de crecimiento.	46
2.6	<i>Zantedeschia aethiopica</i>	47
2.6.1	Taxonomía.....	47
2.6.2	Descripción.	47
2.6.3	Composición química.....	48
2.6.4	Hábitat.	48
2.6.5	Distribución geográfica.	48
2.6.6	Reproducción.	49
2.6.7	Cultivo y uso.	49
2.6.8	Parámetros de crecimiento.	49
2.7	Regiones naturales de acuerdo a pisos altitudinales del Perú.....	50
2.7.1	Clasificación.....	50
2.7.2	Región Natural Quechua.	51
2.8	Diseño de humedales artificiales	52
2.8.1	Tiempo de retención.....	54
2.8.2	Otras consideraciones.....	54
2.9	Parámetros de calidad del agua residual.....	55
2.9.1	Análisis de los parámetros de calidad de agua residual.	55
2.9.1.1	Aceites y Grasas.....	55

2.9.1.2	Demanda Biológica de oxígeno (DBO ₅).....	56
2.9.1.3	Demanda química de oxígeno (DQO).	57
2.9.1.4	Temperatura.	57
2.9.1.5	Potencial de hidrogeno (pH).	58
2.9.1.6	Solidos suspendidos Totales.	58
2.9.1.7	Coliformes Termotolerantes.	58
2.9.1.8	Color.	59
2.9.1.9	Nitrógeno Amoniacal.....	59
2.9.1.10	Conductividad.	60
2.9.1.11	Oxígeno disuelto (OD).....	61
2.9.1.12	Turbidez.	62
2.10	Marco legal.....	63
Capítulo III. Metodología.....		64
3.1	Lugar de ejecución.....	64
3.2	Materiales	65
3.2.1	Aforo y determinación del Caudal.	65
3.2.2	Materiales para la construcción de Humedales Artificiales.	65
3.2.3	Materiales en Gabinete.....	66
3.2.4	Materiales en monitoreo.....	66
3.3	Métodos	68
3.3.1	Evaluación preliminar del estudio – Etapa 1.....	68
3.3.2	Diseño del sistema de fitorremediación a escala – Etapa 2.	69
3.3.2.1	Diseño del tanque sedimentador.	69
3.3.2.2	Diseño del humedal de flujo subsuperficial horizontal.....	71
3.3.2.3	Diseño del humedal de flujo superficial.	72

3.3.3	Implementación del tratamiento – Etapa 3.....	72
3.3.3.1	Instalación del Tanque Sedimentador.....	72
3.3.3.2	Instalación del Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal (HFSS).....	73
3.3.3.3	Instalación del Humedal de Flujo Libre o Superficial (HFS).....	74
3.3.4	Procedimiento de toma de muestra– Etapa 4.....	74
3.3.4.1	Agua residual cruda (afluente), antes del sistema de fitorremediación.....	75
3.3.4.2	Agua residual tratada (efluente), después del sistema de fitorremediación.....	76
3.3.5	Procedimiento para diagnóstico de la eficiencia de remoción – Etapa 5.....	76
3.4	Variables de estudio.....	76
3.4.1	Variable independiente.....	76
3.4.2	Variable dependiente.....	77
3.5	Formulación de hipótesis.....	80
3.6	Estudio y diseño de la investigación.....	80
3.6.1	Análisis estadístico.....	80
3.6.2	Diseño de la investigación.....	80
Capítulo IV. Resultados y Discusión		81
4.1	Resultados de la evaluación preliminar del estudio.....	81
4.2	Resultados del diseño del sistema de fitorremediación.....	85
4.2.1	Adaptación de las plantas palustres y acuáticas en el humedal de flujo subsuperficial y superficial.....	86
4.2.1.1	Zantedeschia aethiopica.....	86
4.2.1.2	Eichhornia crassipes.....	88
4.3	Análisis descriptivo comparativo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica tratada.....	90
4.3.1	Aceites y Grasas.....	90
4.3.2	Color (b).....	91

4.3.3	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$).....	93
4.3.4	DBO ₅	94
4.3.5	DQO.....	96
4.3.6	Nitrógeno Amoniacal.....	97
4.3.7	Temperatura.....	99
4.3.8	Potencial de hidrogeno.....	101
4.3.9	Solidos Suspendidos Totales.....	102
4.3.10	Oxígeno Disuelto.....	103
4.3.11	Turbidez.....	105
4.3.12	Coliformes Termotolerantes.....	107
4.4	Análisis de eficiencia de remoción del sistema de fitorremediación con especies vegetales en el tratamiento de aguas residuales domesticas de la región natural Quechua	108
4.5	Resultados estadísticos del estudio.....	110
4.5.1	Contraste de prueba de normalidad.....	110
4.5.2	Análisis estadístico a través de Prueba de wilcoxon.....	110
4.5.2.1	Estadística de prueba:.....	110
4.5.2.2	Distribución de la estadística de prueba:.....	111
4.5.2.3	Estadística utilizando SPSS 25.0.....	111
4.5.2.4	Regla de decisión.....	112
4.5.2.5	Conclusión.....	112
Capitulo V. Conclusiones y Recomendaciones.....		113
5.1	Conclusiones.....	113
5.2	Recomendaciones.....	115
Referencias.....		117
Anexos.....		127

Índice de tablas

Tabla 1. Composición de las aguas residuales de acuerdo a su origen.....	25
Tabla 2. Composición típica del agua residual doméstica.....	28
Tabla 3. Tecnologías según proceso de tratamiento de aguas residuales	29
Tabla 4. Tipos de humedal de flujo superficial según planta a utilizar	36
Tabla 5. Características y descripciones de humedales artificiales	39
Tabla 6. Principales mecanismo de remoción con humedales.....	40
Tabla 7. Taxonomía de Eichhornia Crassipes.....	43
Tabla 8. Composición de Eichhornia crassipes	45
Tabla 9. Taxonomía de Zantedeschia aethiopica.....	47
Tabla 10. Características de los medios de soporte	53
Tabla 11. Reducción de DBO5 en función del tiempo de retención y temperatura	54
Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos y biológicos con LMP o ECA	55
Tabla 13. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias en ecosistemas	62
Tabla 14. Frecuencia de monitoreo.....	75
Tabla 15. Operacionalización de variables	78
Tabla 16. Resultados de diseño del proyecto del sistema de fitorremediación	86
Tabla 17. Crecimiento del Jacinto de agua en el humedal de flujo superficial	89
Tabla 18. Tabla de análisis de eficiencia de remoción	108
Tabla 19. Resultados de eficiencia de remoción mediante el sistema de fitorremediación.....	109
Tabla 20. Pruebas de normalidad de datos.....	110
Tabla 22. Análisis de rangos de la prueba wilcoxon de la eficiencia de remoción	111
Tabla 23. Prueba estadística de Wilcoxon para el sistema de fitorremediación ^a	112

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de fitorremediación según la zona donde ocurre el mecanismo.....	31
Figura 2. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010).....	38
Figura 3. Relación simbiótica cíclica entre plantas y microorganismos (Gómez, 2017)	42
Figura 4. Partes, morfología de la Eichhornia Crassipes (Martelo & Lara, 2012)	44
Figura 5. Partes de la especie Zantedeschia Aethiopica (Jamanca, 2017).....	48
Figura 6. Las 8 regiones naturales del Perú (Ministerio de educación [MINEDU], 2015)	51
Figura 7. Proceso Nitrificación-desnitrificación en plantas (Moreno, 2017)	60
Figura 8. Ubicación de la ejecución del proyecto.....	64
Figura 9. Procedimiento de ejecución de la investigación.....	68
Figura 10. Cámara de rejillas	81
Figura 11. Filtro de 2” PVC	81
Figura 12. Caja de vertedero y punto de captación.....	81
Figura 13. Tubería que devuelve el caudal a la PTAR	83
Figura 14. Ubicación del sistema de fitorremediación	83
Figura 15. Dimensiones del sistema de fitorremediación (vista de planta).	84
Figura 16. Ubicación de la cantera	85
Figura 17. Transporte del sustrato	85
Figura 18. Adaptación y crecimiento de la especie palustre Zantedeschia Aethiopica en el Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal en centro poblado de la región natural Quechua.	87
Figura 19. Adaptación de la especie vegetal acuática flotante en un humedal de flujo superficial en un centro poblado de la región natural Quechua.....	88

Figura 20. Resultados de aceites y grasas comparado con el LMP después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.	91
Figura 21. Resultados de Color comparado con el ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.	92
Figura 22. Análisis organoléptico del color en el afluente y en el efluente.....	93
Figura 23. Resultados de Conductividad comparado con el ECA-riego después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.	94
Figura 24. Resultados de DBO ₅ comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.	96
Figura 25. Resultados de DQO comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.	97
Figura 26. Resultados de Nitrógeno Amoniacal comparado con el ECA-categoría 4 después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.	98
Figura 27. Resultados de Temperatura comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.	100

Figura 28. Resultados de pH comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes. 101

Figura 29. Resultados de Solidos suspendidos totales comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes. 102

Figura 30. Resultados de Oxígeno Disuelto comparado con el ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes. 104

Figura 31. Resultados de Turbidez comparado con el ECA-rios (categoría 1-B) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes. 106

Figura 32. Resultados de Coliformes Termotolerantes comparado con el LMP y ECA-riego después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes. 107

Índice de Anexos

Anexo 1. Resultados del afluente y efluente con el Sistema de fitorremediación.....	127
Anexo 2. Cámara de rejas actual como pre tratamiento	130
Anexo 3. Captación del afluente, ubicación del proyecto	131
Anexo 4. Zonas de influencia	134
Anexo 5. PTAR Actual, lagunas de estabilización y caudal máximo.	135
Anexo 6. Construcción del tanque sedimentador	137
Anexo 7. Construcción del Humedal Artificial Subsuperficial Horizontal	138
Anexo 8. Construcción del Humedales Artificial Superficial	141
Anexo 9. Muestreo in Situ	143
Anexo 10. Permiso de las autoridades	146
Anexo 11. Sistema de fitorremediación.....	147
Anexo 12. Equipos de protección personal.....	148
Anexo 13. Cadena de custodia.....	149
Anexo 14. Vista de planta y perfil	150
Anexo 15. Datos para el análisis de la prueba de hipótesis - Wilcoxon	151
Anexo 16. Puntos de monitoreo en la entrada y salida.....	152

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación de Kickuth	52
Ecuación 2. Fórmula para el KBDO	52
Ecuación 3. Corrección de T° en el agua	53
Ecuación 4. Área superficial de un humedal	54
Ecuación 5...Reacción química de la DBO ₅	56
Ecuación 6.Reacción química de la DQO.....	57
Ecuación 7. Carga orgánica	69
Ecuación 8. Volumen de tanque sedimentador.....	70
Ecuación 9. Volumen de lodos	70
Ecuación 11. Volumen total del tanque sedimentador.....	70
Ecuación 12.La altura del tanque.....	71
Ecuación 13. Ecuación de Kickuth en un humedal subsuperficial	71
Ecuación 14.Kt en un humedal subsuperficial.....	71
Ecuación 15.Ancho del humedal subsuperficial.....	71
Ecuación 16. Ecuación de Kickuth para un humedal superficial.....	72
Ecuación 17. KT para un humedal superficial.....	72
Ecuación 18. Ancho de humedal superficial.....	72
Ecuación 19.Eficiencia de remoción DBO ₅	76

Resumen

La presente investigación tiene el propósito de evaluar la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre (*Zantedeschia aethiopica*) y flotante (*Eichhornia crassipes*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la región natural Quechua-Cajamarca, para ello se hizo una evaluación preliminar que permitió ubicar el punto de captación y la ubicación del sistema, posteriormente se diseñó en serie e implementó con madera en las excavación, tuberías y plástico de doble capa para evitar infiltraciones en el humedal subsuperficial horizontal con un volumen de 1.3456 m³ seguido del humedal superficial de 1.55 m³. El tratamiento duró 3 meses a partir de su funcionamiento, luego se monitoreo en el afluente (antes) y efluente (después) los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos cuyos resultados de remoción dieron para Aceites y grasas 76%, DBO₅ 95%, DQO 92%, SST 95%, turbidez 96%, N-NH₃ 64%, Conductividad 59%, y los valores más bajos fueron; Color 34% y CTT 22%. En el análisis el cumplimiento de los LMP no se cumplió únicamente en CTT, sin embargo para los ECA (categoría 3 y 4) cumplieron Aceites y Grasas, Color, Conductividad, temperatura, pH, SST, turbidez, y aquellos que no cumplieron N-NH₃, DBO₅, DQO, OD y CTT. En conclusión se alcanzó una eficiencia del 70% lo que significa un nivel bueno de remoción, sin embargo los parámetros que no lograron con la remoción para cumplir el LMP y ECA, nos determinan que hace falta la implementación de un tratamiento primario para obtener mayores resultados y una eficiencia esperada que permita la autorización de la instalación de este sistema y su normal descarga del efluente o reúso del mismo para el riego agrícola.

Palabras Claves. *Zantedeschia aethiopica*, *Eichhornia crassipes*, fitorremediación, sustrato.

Abstract

The present investigation has the purpose of evaluating the efficiency of the remediation system through the species of marsh (*Zantedeschia aethiopica*) and floating (*Eichhornia crassipes*) in the treatment of domestic wastewater in the Quechua-Cajamarca natural region. That the location of the system, the configuration of the system, the configuration of the series and the application of the wood in the excavation, the source and the plastic, the capacity to avoid infiltrations in the horizontal subsurface wetland that contains the substrate, the water treat, The species *Zantedeschia aethiopica* with the measurements of 1.3456 m³ followed by the surface wetland composed of the water to be treated and the species *Eichhornia crassipes* of 1.55m³. The treatment lasted 3 months after its operation, then the effluent (before) and effluent (after) were monitored in the physicochemical and microbiological parameters. The removal results were for Oils and fats 76%, BOD5 95%, COD 92%, SST 95%, turbidity 96%, N-NH3 64%, Conductivity 59%, and the lowest values were Color 34% and CTT 22%. In the analysis Compliance with the LMP was not met in CTT, however, for the ECA (category 3 and 4), the requirements of Oils and Fats, Color, Conductivity, temperature, pH, SST, turbidity, and those that were not fulfilled NH3, BOD5, COD, OD and CTT. In conclusion, an efficiency of 70% is obtained which means a good level of removal, however, the parameters that were not achieved with the removal to comply with the LMP and the CEA, do not take into account the need to implement a primary treatment to obtain better results We hope that the authorization of the installation of this system and its normal discharge of the same time for agricultural irrigation will be allowed.

Keywords. *Zantedeschia aethiopica*, *Eichhornia crassipes*, phytoremediation, substrate.

Capítulo I. El problema

1.1 Identificación del problema

El agua es un elemento indispensable para el hombre, este es el mayor consumidor en comparación con otras especies que usan este recurso (Raymundo, 2017). Al usar el recurso, durante el ciclo del agua se generan subproductos que afectan la naturalidad del agua, causando su contaminación a lo que se denomina aguas residuales (Villanueva & Jance, 2017). En Latinoamérica, las aguas residuales de clasificación doméstica son tratadas en un muy bajo nivel, sólo el 13,7% (Zurita F., Rojas, Carreón, & Gutiérrez, 2015). En Perú, al menos el alcantarillado alcanza el 57% (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS]M. d., 2013), sin embargo sólo el 22% del agua residual doméstica es tratada y únicamente el 6% tiene un tratamiento aceptable (Goicochea, 2014), para ello la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (SUNASS & GIZ, 2016) recuerda que la normatividad peruana en el Art. 82 de la Ley N° 29338 exige que previamente al uso de efluentes domésticos cumplan los LMP y los ECA, según el fin de descarga o reúso.

En toda la región Cajamarca de acuerdo al Sistema de Información Ambiental Regional (SIAR, 2018) el 49.53% de aguas residuales domésticas no reciben tratamiento alguno siendo que la población mayor registrada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018) igual 64.6% vive en zona rural, es decir 865'944 habitantes viven en centros poblados rurales de los cuales solo la mitad de pobladores aproximadamente (50.7%) eliminan sus efluentes mediante letrinas y biodigestores, es decir la brecha por falta de saneamiento es aun de 49,3% en toda la región para el área rural donde los habitantes dejan circular sus efluentes domésticos libremente al ambiente, pastizales, suelos, quebradas y demás cuerpos de agua, esto es evidenciado en el distrito de Catache, provincia de Santa Cruz región Cajamarca. Este distrito cuenta 8958 habitantes según

el censo del INEI (2018) distribuidos en 72 centros poblados, de los cuales al hacer una visita técnica se puede encontrar que solo tres centros poblados tienen instalaciones para su tratamiento de aguas residuales domésticas mientras que 6318 habitantes no tienen algún tratamiento en sus 69 centros poblados o caseríos. Para el último censo 2017 el INEI (2018) hizo una categorización interesante, dividió a los centros poblados según regiones naturales teniendo en consideración los pisos altitudinales (msnm). En el distrito de Catache el 56.42% (5054 habitantes) de la población se encuentra en la región natural Quechua donde el 63.7%, es decir 3220 habitantes ubicados en 42 centros poblados no cuentan con saneamiento básico para la disposición de sus efluentes domésticos, estando expuestos y siendo parte de las enfermedades diarreicas agudas, relacionada con la desnutrición crónica en niños de la región Cajamarca con un 8.9% y 32% respectivamente de prevalencia (Encuesta Demográfica y de Salud Familiar [ENDES], 2018).

1.2 Justificación

Ante tales situaciones es necesario evaluar sistemas de tratamiento aplicables a las condiciones geográficas, socioeconómicas, culturales y ambientales de los centros poblados rurales de la región natural Quechua. En la actualidad existen diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas eficientes, sostenibles y que no requieren de energía o altos costos de mantenimiento como los humedales artificiales (superficiales y sub-superficiales) donde una de las plantas que con más frecuencia ha sido utilizada es la *Eichhornia crassipes* (Palta & Morales, 2013). Por lo tanto la presente investigación tiene la intención de evaluar la eficiencia del sistema de fitoremediación mediante la especie palustre y flotante, *Zantedeschia Aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca. Así mismo la propuesta técnica podrá ser útil para las entidades públicas a nivel nacional en centros poblados rurales (< a 2000 hab.) que estén categorizados dentro de la región

natural Quechua, según dice Alarcón, Ricardo, Zurita, & Garcia (2018) ahora los humedales artificiales tiene apogeo importante para tratar efluentes en pequeñas comunidades.

1.3 Presuposición filosófica

El compromiso del investigador cristiano en materia medio ambiental debe ser, mantenerse como un mayordomo fiel y testificar a las civilizaciones a través del descubrimiento científico a un Dios interesado en su salud y en la restauración de su creación contaminada por la influencia antropogénica. Actualmente se conoce que las grandes pestes han azotado a la humanidad por manejo inadecuado de las excretas mejor distinguidas como aguas residuales domésticas, sin embargo han sido menores para el tipo de civilizaciones que cuidan los recursos y evitan su contaminación (Águila, 2011).

La doctrina del santuario explica que Dios a causa del pecado del hombre vino a vivir, morir y resucitar reconciliándose con nosotros, para ello la única condición es aceptar ese regalo, de lo contrario el hombre perderá dicha felicidad eterna. Ahora luego de haber aceptado la gracia de Dios, ya no es él mismo, es un mayordomo fiel y una de sus funciones mientras este aquí en la tierra es cuidar de ella. En la historia hace más de 3400 AC la Biblia ya enseñó al pueblo Judío según Deuteronomio 23, cómo cuidar nuestro medio ambiente con respecto a lo que hoy se conoce como saneamiento básico e higiene, pues en dicho tiempo los judíos mediante estacas debían cubrir sus excretas, para el cuidado de su salud en todo el campamento.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Evaluar la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona de la región natural Quechua-Cajamarca.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Diseñar e implementar el sistema de fitorremediación mediante las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.
- Evaluar y determinar los parámetros físico-químicos y microbiológicos del tratamiento del sistema de fitorremediación.
- Analizar y comparar los resultados de los parámetros de control del sistema de Fitoremediación.
- Determinar la eficiencia de fitorremediación de las especies vegetales en el tratamiento de aguas residuales domesticas de centros poblados de la región natural Quechua.

Capítulo II. Revisión de literatura

2.1 Aguas residuales

El agua en su estado líquido natural casi siempre mantiene su composición estable, amigable con el ambiente y el ser humano, sin embargo producto de su uso se generan aguas residuales provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias, pluviales, combinaciones de las mismas que al ser descargadas alterarían los cuerpos de agua o los suelos (Mendoza G. Y., 2013), debido a sus fracciones sólidas más desechos líquidos con composiciones fisicoquímicas y microbiológicas variadas. Por lo tanto se requiere conocer en detalle su composición mediante la caracterización del agua para un tratamiento adecuado que evite cualquier tipo de contaminación o degradación (Poveda, 2014).

La caracterización se hace a través de parámetros, algunos de ellos guardan relación entre sí, Metcalf & Eddy (1995) ejemplifican como un parámetro físico como la temperatura afecta la actividad biológica y el oxígeno disuelto en el agua residual.

2.1.1 Tipos de aguas residuales.

Las aguas residuales contienen diversos componentes que lo convierte en un problema ambiental, el tipo de composición está directamente relacionado a lo antropogénica que en efecto clasifica el tipo de agua residual de acuerdo a lo mostrado por Palta & Morales (2013), en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Composición de las aguas residuales de acuerdo a su origen*

Tipo	Origen	Composición	Fuente
Domesticas	Viviendas, lavado, instituciones, oficinas, Zonas residenciales, instalaciones comerciales por consumo de agua potable	Detergentes, residuos animales y vegetales, sales, celulosa, almidón, orina, excremento.	(Poveda, 2014) (Metcalf & Eddy, 1995) (Gómez, 2017) (Rincón & Millán, 2013)
Industriales	Diversos tipos de industria, lavado de materiales,	Colorantes, grasas, barros, metales solventes, químicos y otros	(Poveda, 2014)
Agrícolas	Agricultura	Fertilizantes, herbicidas y pesticidas, residuos orgánicos	(Poveda, 2014)
Pluviales	Lluvias	Escorrentía Superficial	(Metcalf & Eddy, 1995)

2.1.2 Niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas.

El tratamiento de aguas residuales domésticas ocurre en serie mediante niveles usando diversos procesos de tratamiento y tecnologías, los niveles de tratamiento tienen por objeto estabilizar la materia orgánica, sintetizando sustancias más simples imposibles de descomponer (Gómez, 2017). Así mismo para saber los niveles que se requiere es necesario conocer el fin del efluente tratado, que debe ser regulado por normativa nacional o internacional (Noyola, Morgan, & Patricia, 2013). Existen cuatro niveles de tratamiento en serie suscritos, sin considerar el pre tratamiento.

2.1.2.1 Tratamiento preliminar.

Fundamenta en eliminar componentes que en las estructuras o tratamientos siguientes generen problemas al proceso, típicamente suelen ser volúmenes grandes y medianos como

plásticos, piedras, ramas, animales muertos, arenas, otros. Las rejillas, cribas, desarenadores, flotadores, son las unidades más usadas en este tratamiento (Noyola, Morgan, & Patricia, 2013) (Gómez, 2017).

2.1.2.2 Tratamiento primario.

En este nivel una parte de los sólidos suspendidos y la materia orgánica (DBO_5) es removida, usando el principio de gravedad mediante sedimentación (Noyola, Morgan, & Patricia, 2013). Las unidades más usadas según Gómez (2017) son biodigestor, tanques sedimentadores, tanques sépticos, tanques Imhoff, lagunas de estabilización de fase anaeróbica, reactores UASB y otros.

La sedimentación es el proceso en el que la mayoría de las partículas o material suspendido se asentarán por la gravedad dentro de un tiempo razonable y se removerán, debido a la diferencia de peso específico entre las partículas y el agua (Díaz & Caballero, 2015), físicamente removerá la arenas, aceites y grasas. Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2006) en la normas OS.090 estipula que los tanques sedimentadores de menor tamaño no deberían tener equipos mecánicos, pudiendo ser de forma circular, rectangular o cuadrados. El tiempo de retención como mínimo debe ser de 2 horas, de esta forma se lograría alcanzar una remoción de 60% o la mitad en SST, 30% de DBO_5 , y 20% de fósforo. Aunque en primera instancia no alcanzan lo estipulado por la normatividad, son de bajo costo y de operación fácil (Macloni, 2014).

2.1.2.3 Tratamiento secundario.

Este tratamiento toma el efluente del tratamiento primario y permite que los contaminantes como la DBO_5 , nitrógeno, fósforo, sean transformados mediante microorganismos en material celular, energía, compuestos orgánicos e inorgánicos. El material celular tiende a acumularse como floculo, separándose por sedimentación. El proceso biológico puede darse mediante procesos anaerobios y aerobios, en el anaerobio hay poca síntesis bacteriana con baja producción

de lodos, mientras que en el aerobio sucede lo contrario por lo tanto el costo de tratamiento de lodos aumenta (Noyola, Morgan, & Patricia, 2013). Sin embargo la estabilización de materia orgánica (DBO_5) por el proceso aerobio es más rápido y sin olores (Gómez, 2017), las unidades para este proceso son la filtración biológica, los lodos activados y zanjas de oxidación. En cambio para el proceso anaerobio se utiliza Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. También puede darse los dos procesos en una misma unidad como la Laguna facultativa (aerobia y anaerobia). Los humedales artificiales también están considerados ya sea aerobios o anaerobios dependiendo del tipo de flujo (Gómez, 2017).

2.1.2.4 Tratamiento terciario.

Este nivel que recibe el efluente del tratamiento secundario y lo convierte en su afluente permite eliminar sólidos suspendidos, variedad de nutrientes, DBO_5 no biodegradable, metales pesados y otras sustancias tóxicas. Las tecnologías usuales según Gómez (2017) son filtración, humedales artificiales, coagulación química, osmosis inversa, electrodiálisis, absorción y radiación gamma.

2.1.2.5 Tratamiento avanzado.

Este nivel permite el proceso de eliminación de organismos patógenos mediante la cloración del efluente u otros métodos (Gómez, 2017). Este nivel frecuentemente permite alcanzar el fin para el que se dispuso el tratamiento (Noyola, Morgan, & Patricia, 2013).

2.1.3 Composición de Aguas residuales domésticas.

La composición se refiere a la cantidad de constituyentes fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales domésticas, cuyos parámetros son vitales para la elección de la tecnología (Metcalf & Eddy, 1995) básicamente DBO_5 , Coliformes totales y Sólidos en suspensión (Gómez, 2017).

Para las aguas residuales domésticas, se tienen estudios realizados referenciales de los contaminantes presentes como los de la tabla 2, sin embargo se recomienda realizar la caracterización de acuerdo al proyecto.

Tabla 2. *Composición típica del agua residual doméstica*

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos Totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disuelto Totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos Sedimentables	mg/l	5	10	20
DBO ₅ , 20°	mg/l	110	220	400
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fosforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Organicos	mg/l	1	3	5
Inorganico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfato ^a	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales ^b	Nº/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos Orgánicos Volátiles	µg/l	< 100	100-400	> 400

Fuente: Adaptado de (Metcalf & Eddy, 1995)

2.1.4 Tecnologías comunes de tratamiento de aguas residuales.

Para cumplir una adecuada remoción de contaminantes (Metcalf & Eddy, 1995) que cumpla con los permisos de vertido o reutilización se requiere analizar y elegir adecuadamente las

tecnologías de una planta de tratamiento. Noyola, Morgan, & Patricia (2013) señalan que existe una gran variedad de estos para el tratamiento de agua residual doméstica. Estas tecnologías se disgregan a partir del tipo de operación y proceso que ejercen de mayor porcentaje en sus unidades, a continuación una lista:

Tabla 3. *Tecnologías según proceso de tratamiento de aguas residuales*

Tecnologías para el tratamiento del agua residual	
Fisicoquímicos	Biológicos
	✓ Aerobios
Tamizado	▪ Lodos activos
Filtración	▪ Filtro percolador
Sedimentación	▪ Discos biológicos rotatorios
	Filtro sumergido
	✓ <i>Anaerobios</i>
Adsorción	▪ Fosa séptica
Absorción	▪ Tanque Imhoff
Desorción	▪ Contacto Anaerobio
	▪ Filtro Anaerobio
	▪ Reactor de lecho de lodo (UASB)
Oxidación química	▪ Reactor de lecho expandido/fluidificado
	✓ <i>Sistemas naturales construidos</i>
Filtración con membranas	▪ Sistemas lagunares (diversas variantes)
Coagulación-Floculación-Sedimentación	▪ Humedales (Wetland)
Precipitación	▪ Ecurrimiento/infiltración en el terreno
Intercambio iónico	

Fuente: (Noyola, Morgan, & Patricia, 2013)

2.2 Fitorremediación de aguas residuales domésticas

Fitorremediación, que traducido significa “fito” igual planta y “remediación” igual a mal por corregir, es decir uso de plantas para corregir contaminantes en agua, lodo, suelo (Agudelo, Macias, & Suárez, 2005) (Mentaberry, 2011) (Jaramillo & Flores, 2012) (Poveda, 2014) o aire contaminado (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010) a través de microorganismos que están en las raíces donde biodegradan, secuestran contaminantes orgánicos e inorgánicos

(Poveda, 2014) además estabilizan metales presentes en las aguas residuales metabolizándolo y convirtiéndolos en CO₂, H₂O, sales minerales (Polo, Flores, Huamán, Gregorio, & Poma, 2017) (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010) además utiliza la energía solar como parte del tratamiento.

2.2.1 Ventajas y limitaciones.

2.2.1.1 Ventajas.

La construcción de una tecnología con fitorremediación toma los recursos naturales y no perturba las zonas aledañas (Agudelo, Macias, & Suárez, 2005), los procesos biodegradable pueden serán más rápidos (Mentaberry, 2011), tiene buena aceptación social, genera bajos residuos, minimiza el uso de productos químicos (Isan, 2017). Además Arias, Betancur, Gómez, Salazar, & Hernández (2010) marca la poca presencia de plagas, ausencia de malos olores, sin dificultades en la operación, permite nuevas unidades, es eco amigable con el medioambiente por la mínima cantidad de energía requerida para su operación y funcionamiento.

2.2.1.2 Limitaciones.

Normalmente la fitorremediación requiere un largo tiempo de adaptación (Isan, 2017), en lugares con alta contaminación la fitotoxicidad es limitante, la normativa o regulación es mínima en el país (Mentaberry, 2011). A pesar de tener buenos mecanismos de remoción, siempre se tendrá como límite a la propia planta.

2.2.2 Mecanismos de fitorremediación.

Las plantas incorporan los contaminantes mediante mecanismos distintos. Agudelo, Macias & Suárez (2005) exponen en la figura 1 algunos como la fitodegradación, fitoextracción, fitoestabilización, rizodegradación, a este último Jaramillo & Flores (2012) denomina rizo filtración además agrega, fitoestimulación, fitovolatilización como (Mentaberry, 2011) (Jaramillo

& Flores, 2012) (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010), la descripción se detalla a continuación:

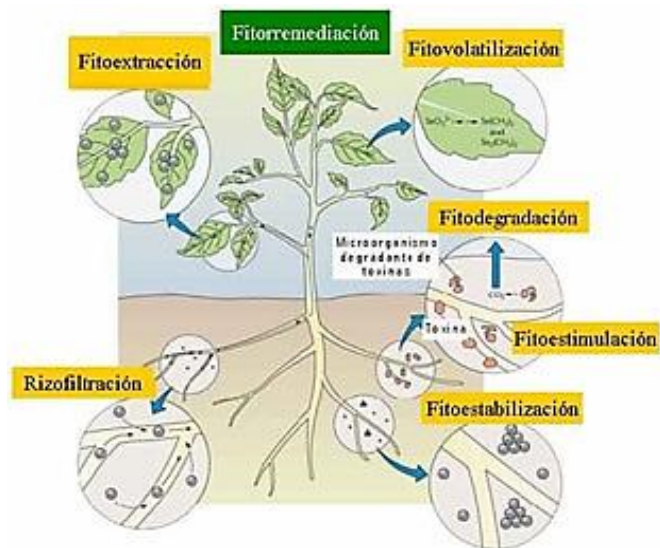


Figura 1. Tipos de fitorremediación según la zona donde ocurre el mecanismo.

2.2.2.1 Fito extracción.

Este mecanismo se da principalmente en la parte aérea de los tallos y hojas, luego de que los contaminantes hayan sido captados por las raíces (Agudelo, Macias, & Suárez, 2005); (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010).

2.2.2.2 Rizo degradación o Rizo filtración.

Las raíces succionan, precipitan, concentran y degradan compuestos orgánicos presentes en los efluentes (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010), lo biodegradado son aprovechados como nutrientes para la mejora de la actividad microbiológica (Agudelo, Macias, & Suárez, 2005).

2.2.2.3 Fitoestabilización.

Mediante plantas tolerantes se limita la disponibilidad y movimiento de los contaminantes mediante las raíces de compuestos químicos, estos adhieren y forman complejos con los

contaminantes, inmovilizándolos así en la rizósfera (Agudelo, Macias, & Suárez, 2005) (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010).

2.2.2.4 Fitoestimulación.

Se motiva a los microorganismos como las bacterias y hongos que se encargan de la degradación a desarrollarse mediante las secreciones de las raíces (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010).

2.2.2.5 Fitovolatilización.

La planta capta los compuestos orgánicos y los liberan como compuestos volátiles a la atmosfera mediante la transpiración (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010).

2.2.2.6 Fitodegradación.

Dentro de los tejidos de la planta, las enzimas catalizan los contaminantes mediante el metabolismo para su degradación (Agudelo, Macias, & Suárez, 2005).

Las plantas palustres y acuáticas flotantes captan, almacenan y degradan la materia orgánica para producir componentes menos tóxicos o no tóxicos. Sin embargo eso va a depender de la concentración y tipo de contaminantes, el tiempo necesario para la fitorremediación, los factores climático del lugar, el tipo de fitorremediación y el tipo de plantas a usar.

2.2.3 Plantas fitorremediadoras de aguas residuales.

Las plantas fitorremediadoras de aguas residuales o servidas obtienen nombres distintos como plantas vasculares acuáticas, hidrófitos vasculares, macrofitas acuática (se debe a su característica de plantas macroscópicas) (Schmidt-Mumm, 1998), limnofitas, plantas acuáticas, (Urrutia, Sánchez, Pauchard, & Hauenstein, 2017) comprendidos en dos grandes grupos, las hidrófitas y helófitas. Velásquez (1994) señala que las hidrófitas poseen la mayor parte del cuerpo vegetativo

sumergido y flotante acuático, sus hojas, estructura floral reposan en la superficie de agua y sus raíces en la columna de agua; sin embargo las helófitas tiene las raíces sostenidas a un substrato, es decir la parte inferior sumergido y la parte superior emergente, de allí el nombre de plantas emergentes, palustres o de pantanos, sus tallos y hojas se exponen al aire, realizando así su fotosíntesis. Cualquiera de estos grupos pueden degradar contaminantes mediante humedales artificiales (Mentaberry, 2011).

2.3 Plantas Palustres y acuáticas flotantes

2.3.1 Plantas Palustres.

Las plantas palustres en su traducción latín significa pantanoso, es decir la planta vive entre el agua libre y el substrato. Las raíces se desarrollan bien bajo el agua, sin embargo la falta de oxígeno les permite desarrollar Aerénquima. El Aerénquima de acuerdo a Gonzales (2018) es “un tejido parenquimático que contiene espacios intercelulares particularmente grandes llenos de gas que conecta toda la planta”. También se denominan plantas emergentes debido a que pueden vivir sin agua permanente si la riegas con frecuencia (Fronza, 2018). Lallana, (1997) recomienda utilizar estas plantas en un tratamiento secundario previo a un tratamiento primario.

Algunas plantas palustres usadas en este tratamiento son *Scirpus lacustris*, *Phragmites australis* y *Typha* spp., pues tienen gran potencial depurar el nitrógeno, fósforo, materia orgánica, sólidos en suspensión, se caracterizan por su adaptabilidad en zonas frías o templado frías (Lallana, 1997). Así mismo Fronza, (2018) considera algunas más como la *Acorus calamus*, *Arum italicum*, *Cyperus*, *Euphorbia palustris*, *Hippuris vulgaris* *Iris*, *Pseudoacorus*, *Juncus* y la *Zantheschia*. En su gran mayoría se caracterizan por emitir flores utilices para decoraciones y por sus eficientes purificando el agua. Este sistema bien mantenido, puede durar mínimo 30 años (Lallana, 1997).

2.3.2 Plantas acuáticas flotantes o libres.

Las macrofitas flotantes no necesitan echar raíces profundas, utilizan el O₂ y CO₂ de la atmosfera, eliminan las algas al adquirir recursos necesarios para su crecimiento y al bloquear la luz solar, generando temperaturas menores en el agua, absorben, filtran mediante las raíces porcentajes grandes de metales, nutrientes, solidos suspendidos y microorganismos de la columna de agua a una alta velocidad (Fronza, 2018). Por lo tanto Lallana, (1997) explica que para cumplir con tales fines un sistema de tratamiento de agua residuales domésticas debe tener un tratamiento primario y secundario de tal manera que permita su utilización para un tratamiento terciario en una laguna con plantas acuáticas.

Una característica en este tipo de plantas acuáticas flotantes es el Aerénquima, este se ubica en el órgano que hace de flotador, por ejemplo el pecíolo inflado en *Eichhornia crassipes* y la lámina foliar en *Pistia stratiotes* (Gonzales, 2018).

Lallana, (1997) menciona que las características químicas de las aguas cambian permanentemente dentro del sistema de tratamiento, por lo tanto las plantas deberían ser tolerantes al pH, oxígeno disuelto (OD), conductividad específica del agua y turbidez.

El uso de plantas acuáticas flotantes han resultado ser eficientes en la remoción de los contaminantes de aguas residuales (Martelo & Lara, 2012), encontrándose a la especie *Eichhornia crassipes* de mayor interés, pues alcanza niveles de remoción de 95% de DBO₅, 90.2% de DQO, 21-91% de Solidos suspendidos, 98.5% nitrógeno total y del 85%-95% en algunos metales.

2.4 Humedales artificiales

La palabra humedal define los componentes típicos de agua, suelos hídricos y vegetación (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010). Las especies vegetales fitorremediadoras

purifican el agua mediante mecanismos naturales líneas arriba descritos, esto es posible en sistemas de poca profundidad llamados humedales (Rincón & Millán, 2013). En forma natural tienen sus áreas inundadas mediante caudales de aguas superficiales y/o subterráneas suficientemente para tenerlos inundados.

La forma de aprovechar su capacidad depuradora para el tratamiento de aguas residuales es a través de instalaciones que simulen sus características y procesos físicos, químicos y biológicos con el nombre de humedales artificiales (Gómez, 2017). Estos se pueden diseñar de acuerdo a la calidad de efluente que se desea lograr, debido a que pueden remover contaminantes como DBO₅, sólidos suspendidos, nutrientes, metales, microorganismos patógenos y otros.

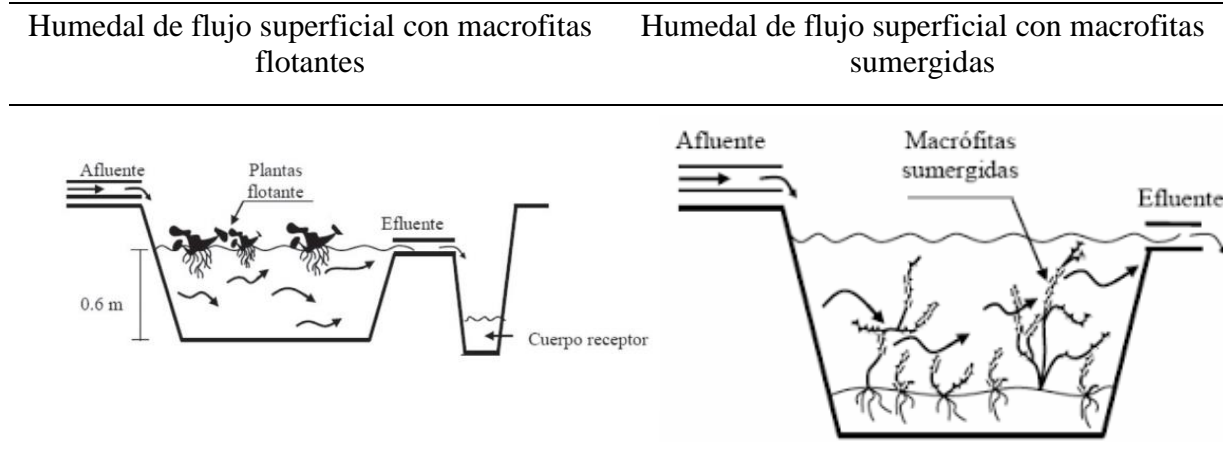
2.4.1 Tipos de humedales artificiales.

Los tipos de humedales artificiales dependen del flujo de agua que circula en el mismo ya sea de forma superficial o subterránea, dividiéndose en Humedal de Flujo Superficial y en Humedal de Flujo Subsuperficial conocidos en inglés con los nombres de (FWS - Free Water Surface) (SFS - Sub Surface Flow), respectivamente.

2.4.1.1 Humedal de Flujo Superficial (HFS).

El componente agua está expuesta a la atmósfera, las raíces y tallos vegetativos llegan hacer los medios de soporte donde se produce el tratamiento mientras circula lentamente el agua. La vegetación puede ser mediante macrofitas flotantes o sumergidas, según lo mostrado en las imágenes de la Tabla 4. La trayectoria del flujo suele ser horizontal.

Tabla 4. Tipos de humedal de flujo superficial según planta a utilizar



Fuente: Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández (2010)

Para utilizar este humedal es necesario que exista un pre tratamiento, un tratamiento primario o secundario con el fin de lograr que la superficie no sea colmatada. Para su implementación se requiere grandes áreas (Castañeda L., 2016). Este tipo de humedal es utilizado principalmente en tratamiento nivel terciario, en ocasiones nivel secundario (Peña & Infante, 2012)

2.4.1.1.1 Humedal de flujo superficial con plantas flotantes.

Consiste en estanques semejantes a las lagunas de estabilización con la diferencia del uso de macrofitas flotantes en la superficie del agua y raíces sumergidas su profundidad varía desde 10 cm a 150 cm, las especies comunes son el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna spp.*) (Martelo & Lara, 2012).

2.4.1.1.2 Humedal de flujo superficial con plantas sumergidas

Difiere en cuanto al tejido fotosintético que está debajo de la superficie del agua, por lo que requiere oxígeno disuelto lo cual no se encuentran en las aguas residuales con alto contenido de DBO₅ (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010).

2.4.1.2 Humedal de Flujo Subsuperficial (HFSS).

El agua fluye por debajo del sustrato, sin que esté en contacto con la atmósfera, por lo que se eliminan olores y se disminuye la presencia de insectos. El sustrato suele ser generalmente grava (volcánica, asfáltica o de río), arena o zeolita entre otros (Hernández, 2012) dándole forma de filtro biológico. La altura del sustrato varía entre 30 y 90 cm espacio requerido para la extensión de las raíces (Gómez, 2017). El afluente ingresante también debe ser necesariamente pre tratado. En este tipo de humedales, sólo se pueden sembrar plantas acuáticas emergentes o plantas lacustres. La siembra es en la superficie del lecho filtrante (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010).

De acuerdo a la dirección del agua pre-tratada según Hernández (2012), los humedales sub superficiales pueden ser de forma horizontal o vertical.

2.4.1.2.1 Humedal subsuperficial de flujo horizontal.

El agua fluye en paralelo al sustrato en forma de flujo pistón en la dirección que señala la flecha de color rojo en la figura 2, ingresa mediante tuberías en la parte superior y es recogida por otros conductos en el otro extremo inferior. El medio poroso se mantiene saturado con agua y la altura de la misma dentro del estanque se regula mediante la tubería de salida (Castañeda L., 2016)

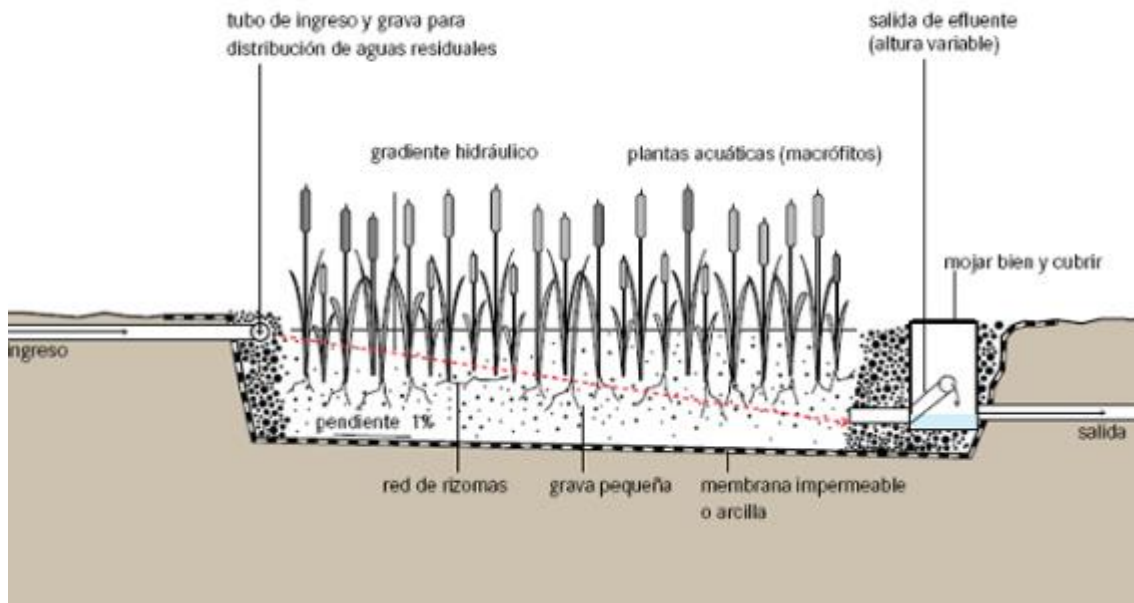


Figura 2. Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010).

Este tipo de humedal empieza a formarse generalmente en una excavación del suelo, que se impermeabiliza para luego agregarse grava, arena o tierra y sembrar las plantas palustres (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m con una pendiente aproximada de 1 %. El tamaño del sustrato para la plantación de las macrofitas se requiere de grava con diámetros promedios de 50 mm y 100 mm.

2.4.2 Funciones generales de los humedales artificiales.

En cuantos a funciones básicas para el tratamiento de aguas residuales según la Tabla 5, la fijación física de contaminantes, la transformación de los mismos mediante microorganismos y niveles de tratamientos influyen en remociones de 80% arriba para DBO, sólidos suspendidos y nitrógeno así mismo para trazas orgánicas, metales y patógenos.

Tabla 5. *Características y descripciones de humedales artificiales*

Características	Descripción	Fuente
Funcionamiento	Actividad bioquímica de microorganismos Aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día. Apoyo físico de un medio de soporte para el enraizamiento de plantas.	García y Corzo, 2008
Funciones	Fijan físicamente los contaminantes y la materia orgánica al medio de soporte. Utilizan y transforman contaminantes mediante microorganismos. Niveles de tratamiento consistentes, bajo consumo de energía y poco mantenimiento.	EPA, 1998
Rendimiento	Rendimientos superiores al 80% de DBO Remueve niveles significativos de trazas orgánica, metales y patógenos. Presentan bajo rendimiento en la remoción de fosforo.	Lara, 1999
Aplicaciones	Tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y subterránea contaminadas	Silvia y Zamora, 2005

Fuente: Gómez (2017)

2.4.3 Mecanismos en la remoción de contaminantes en humedales artificiales.

La remoción de contaminantes de un agua residual domestica tratada en humedales artificiales requiere de diversos procesos fisicoquímicos y biológicos como se muestra en la Tabla 6. Algunos de estos están interrelacionados, por ejemplo si la materia orgánica del caudal a tratar es alta, se va a requerir mayor demanda de oxígeno a la que se puede cubrir mediante fotosíntesis más aireación natural. En estas circunstancias Gómez (2017) señala que la concentración de oxígeno disuelto en el agua residual cae hasta un nivel muy bajo donde la degradación anaerobia llega a prevalecer.

La degradación aerobia de la materia orgánica carbonosa genera subproductos de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, mientras que en la anaerobia son $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$.

Tabla 6. *Principales mecanismo de remoción con humedales*

Constituyente del agua residual	Mecanismo de remoción	
	Humedal de Flujo Libre	Humedal de flujo subsuperficial
Materia orgánica biodegradable	Degradación microbiana aerobias, facultativas y anaerobias de DBO soluble, filtración y sedimentación de la DBO particulada.	Degradación microbiana aerobia, anaerobia y facultativa en las plantas y detritos de la superficie.
Solidos suspendidos	Sedimentación, filtración	
Nitrógeno	Amonificación seguida por la nitrificación, desnitrificación bacteriana. Volatización del amonio	
Fosforo	Reacciones de adsorción precipitación con el aluminio, hierro, calcio y minerales de arcilla	
Metales pesados	Adsorción de las plantas y detritos de la superficie, sedimentación	
Patógenos	Sedimentación/filtración, muerte natural, radiaciones uv, excreción de antibióticos mediante las raíces.	

Fuente: adaptado de (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010) (Gómez, 2017).

2.4.4 Componentes de humedales artificiales.

Los componentes de un humedal artificial viene hacer el medio de soporte llamado sustrato o medio filtrante, el agua residual a tratar, las plantas fitorremediadoras y los microorganismos, sin dejar de considerar las condiciones ambientales como la luz solar, tipo de clima y otros (Gómez, 2017).

2.4.4.1 Sustrato.

Mediante interacciones fisicoquímicas este medio extrae los contaminantes (Gómez, 2017), para ello deberá tener una permeabilidad suficiente que evite el aniego y el agua atraviese la unidad de la grava, el material frecuente a usar, con un mínimo de diámetro de 5 mm pues el tamaño afecta

al flujo hidráulico del humedal y en consecuencia el caudal a tratar, si hay gran cantidad de limo y arcilla los caudales a tratar serán limitados por la resistencia hidráulica debido a que el diámetro de los poros son pequeños, sin embargo la capacidad de adsorción y filtración es mayor. El sustrato sostiene las especies fitorremediadoras y sirven de medio de crecimiento de los microorganismos, así mismo favorece la precipitación química del hierro, calcio o aluminio (Peña & Infante, 2012). Así mismo existen estudios que señalan que mientras la profundidad sea mayor en el lecho y se vaya alejando de la superficie y las raíces de las plantas, las zonas de aerobias suelen ser menos.

2.4.4.2 Agua.

El objetivo es tratar las aguas residuales domésticas, recogidas mediante la red de alcantarillado que las transportará hacia el humedal artificial (Gómez, 2017). En todo el humedal artificial y sus unidades de tratamiento es el factor más importante pues es su fase realiza todas las reacciones fisicoquímicas, además sirve como medio de cultivo para la colonización y multiplicación de los microorganismos que son útiles para la depuración (Jamanca, 2017).

2.4.4.3 Relación entre plantas y microorganismos.

Las plantas mediante sus raíces adsorben metales y aumentan el pH del agua, eso destruye algunos microorganismos patógenos. En el día su vegetación fotosintética y la luz solar producen parte del oxígeno necesario en los humedales, esto disminuye por la noche debido a que las bacterias y plantas siguen consumiendo el oxígeno disponible, además la energía solar les permite transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Y los productos degradados por las bacterias como NH_3 , PO_4^3 , CO_2 , son aprovechados para la nutrición de las plantas (Poveda, 2014) (Gómez, 2017). En la Ilustración se puede ver esquematizado esta relación. La elección de la planta que ser nativa con un alcance de biomasa adecuada en densidad, que pueda crecer fácilmente y que toleren las aguas residuales. Peña & Infante (2012), registra que una especie macrofita aporta

entre entre 2.08 a 12 g O₂/m²/d, si el sustrato es más reductor que otro tipo, la especie vegetal tiene que aportar suministrar más O₂, en caso que este solamente en contacto con el agua el aporte será mayor. Las especies vegetales disminuyen la velocidad del afluente, esto favorece en la sedimentación de los SST, pues es el tiempo de contacto aumenta. Los estudios muestran que un humedal tiene más remoción cuando poseen especies vegetales.

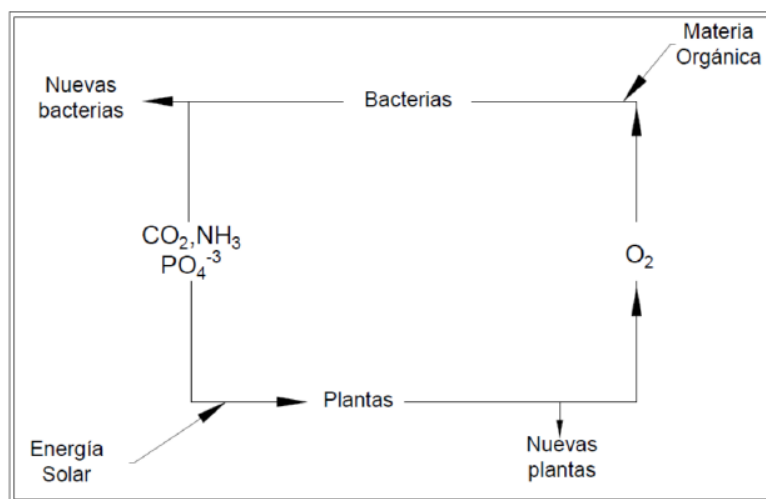


Figura 3. Relación simbiótica cíclica entre plantas y microorganismos (Gómez, 2017)

Las bacterias y otros microorganismos presentes en la rizósfera de las plantas al degradar la materia orgánica generan metabolitos junto con nitrógeno, fósforo y otros que son útiles para las plantas (Poveda, 2014). Las bacterias degradan durante el día la materia orgánica nitrogenada convirtiéndola en amoníaco y aumentando el pH, pasado el día se empieza a liberar CO₂ en acorde con lo mostrado en la figura 3, lo cual hace efecto al disminuir el pH, por lo tanto, las aguas residuales pueden ser ácidas en la noche, básicas en el día, algo desfavorable en algas y algunos microorganismos (Gómez, 2017). En el lecho superficial predominan los microorganismos aerobios que aprovechan el oxígeno de las raíces de las plantas y de la atmósfera, en el resto del sustrato se propagan las colonias de microorganismos anaerobios. Los microorganismos más

conocidos son los helmintos, bacterias, levaduras, hongos, virus y protozoarios. Las bacterias funcionan como indicadores, los más conocidos son los Coliformes fecales, estreptococos fecales, Salmonella, Yersinia, Pseudomonas y Clostridium según Herskowitz (como se citó en Gómez, 2017).

Las bacterias al usar los nutrientes y carbono como fuente de energía van formando nuevos microorganismos a una velocidad dependiente de la temperatura y la disposición de sustrato. La energía es adquirida según Peña & Infante (2012) por la oxidación de compuestos reducidos (dador de electrones) con un oxidante (aceptor de electrones), entre los donantes de electrones están los compuestos orgánicos como amonio, hidrógeno o sulfuros; y como aceptores al oxígeno, nitrato, hierro, manganeso o sulfato. Cuando las bacterias son anaerobias el crecimiento es más lento. En la respiración microbiana del humedal hay una relación estrecha entre el potencial redox y los aceptores de electrones. La digestión anaerobia puede darse en las etapas de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

2.5 Eichhornia crassipes

2.5.1 Taxonomía.

En la tabla 7 el Jacinto de Agua o Eichhornia crassipes es clasificado sistemáticamente.

Tabla 7. *Taxonomía de Eichhornia Crassipes*

Categoría	Nombre
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Pontederiales
Familia:	Pontederiaceae
Genero:	Eichornia
Especie:	Crassipes

Fuente: Adaptado de (Jaramillo & Flores, 2012).

2.5.2 Descripción.

La especie *Eichhornia Crassipes* es considerada como una planta acuática flotante, conocida comúnmente como lirio de agua, lechugín o camalote con raíces sumergidas, con flores lilas, de climas cálidos y fríos. Es una de las plantas más rápidas en crecimiento, octava en el mundo (Jaramillo & Flores, 2012), duplicando su tamaño en diez días, pueden llegar a medir entre 50 cm a 150 cm desde la parte superior hasta el extenso de la raíz (Jaramillo & Flores, 2012). El tallo suele ser corto según se muestra en la Figura 4, sus hojas de color frecuentemente verde, con peciolo abultados y alongados de aire le permite flotar (Martelo & Lara, 2012). Produce inflorescencia en la estación del verano, sus raíces se caracterizan por ser blancas de jóvenes y negro violáceos de adultas. Es eficiente para extraer nutrientes del agua más aún al multiplicarse, es un excelente indicador, se seca debido al oxígeno insuficiente en el agua por estar muy contaminada y presenta un color amarillento cuando hay exceso de elementos o nutrientes (Poveda, 2014). También absorbe metales pesados como plomo, mercurio y cadmio.

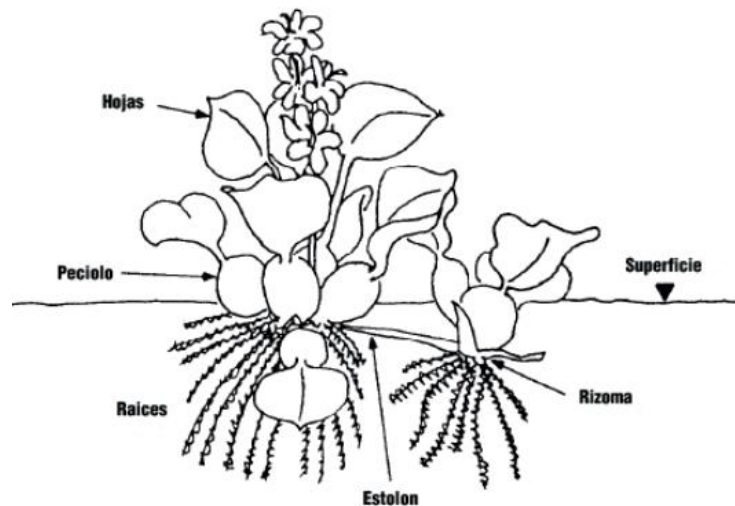


Figura 4. Partes, morfología de la *Eichhornia Crassipes* (Martelo & Lara, 2012)

2.5.3 Composición química.

La caracterización de la planta se muestra en la tabla 8, en porcentajes de masa seca.

Tabla 8. *Composición de Eichhornia crassipes*

Constituyente	% Masa seca	
	Promedio	Intervalo
Proteína cruda	18.1	9.7-23.4
Grasa	1.9	1.6-2.2
Fibra	18.6	17.1-19.5
Ceniza	16.6	11.1-20.4
Carbohidrato	44.8	36.9-51.6
NTK	2.9	1.6-3.7
Fósforo	0.6	0.3-0.9

Fuente: (Jaramillo & Flores ,2012)

2.5.4 Hábitat.

Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos. Actualmente está en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Jaramillo & Flores, 2012).

2.5.5 Distribución geográfica.

Nativa de Brasil, sin embargo introducida en todo el mundo en climas tropicales y subtropicales. Es importante señalar que en muchos lugares se ha convertido en maleza (Jaramillo & Flores, 2012).

2.5.6 Reproducción.

Cuando las plantas adultas son suprimidas las semillas se reproducen sexual y asexualmente y mediante rebrote de propagación vegetativa (Jaramillo & Flores, 2012) duplicándose en cantidad cada dos semanas (Cruz, y otros, 2016).

2.5.7 Cultivo y uso.

El cultivo se describe de dos formas; por el porcentaje de superficie de agua ocupada durante un determinado tiempo y por (densidad) la planta medida como masa de plantas por unidad de área, en condiciones normales recubre la una densidad de 10kg/m² hasta 80kg/m² (Jaramillo & Flores, 2012).

Su uso puede ser ornamental para jardines acuáticos, sin embargo ha sido hasta el momento la especie más estudiada con remociones eficientes en DBO₅, sólidos suspendidos, organismos patógenos, nutrientes y metales pesados (Valderrama, 1996). Utilizada en humedales artificiales de flujo libre o superficial (Silván, Ocaña, Marguilis, Barajas, & Cerino, 2016) con tiempos de retención promedio van de 5,5 a 7,5 días. Esta especie es la que mejor representa a las macrofitas flotantes en este tipo de humedales (Rabat & Trapote, 2016) utilizando los mecanismos de fitorremediación como la fitoestimulación, la fitovolatilización, la fitoestabilización, y la rizofiltración (Guio & Toscano, 2018).

2.5.8 Parámetros de crecimiento.

Conductividad específica desde 100 µs/cm a 2600µs/cm (Lallana, 1997)

Temperatura de 5°-30°C, nivel óptimo desde 15° a 18°C (Cruz, y otros, 2016).

DBO₅ mínimo entre 1 y 30 mg/l

PH entre 4.5-7.5

Nutrientes: NPK, Ca, S, Fe, Al, B, Cu, Mo y Zn (Jaramillo & Flores, 2012).

Climas templados y cálidos

No se adapta en un medio salino (Poveda, 2014).

2.6 *Zantedeschia aethiopica*

2.6.1 Taxonomía.

En la tabla 9 el Cartucho de agua es clasificado sistemáticamente.

Tabla 9. *Taxonomía de Zantedeschia aethiopica*

Categoría	Nombre
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Alismatales
Familia:	Araceae
Genero:	<i>Zantedeschia</i>
Especie:	<i>Zantedeschia aethiopica</i>

Fuente: Jamanca (2017), Polo, Flores, Huamán, Gregorio, & Poma (2017).

2.6.2 Descripción.

La especie *Zantedeschia aethiopica* ha sido estudiada como una planta palustre dice (Gualli & Orlandomena, 2017) con nombres comunes como cartucho blanco, cartucho de pantano, alcatraz, cala (Schmidt-Mumm, 1998). Es una especie monocotiledónea cuyo crecimiento en altura es de 60 a 100 cm, las hojas tienen 15 a 40 cm de largo con 6.8 a 24.5 cm de ancho (Gualli & Orlandomena, 2017). Las raíces pueden llegar hasta 16 cm de largo, debido al tallo grueso. Las hojas según se muestra en la Ilustración 2 son en su mayoría verde, extendidas largamente pecioladas (Polo, Flores, Huamán, Gregorio, & Poma, 2017). Además las raíces liberan a su alrededor compuestos orgánicos como azúcares y aminoácidos en proporciones pequeñas, favoreciendo a ciertos microorganismos, así se genera la rizósfera. Los microorganismos favorecidos por la rizósfera a su vez pueden favorecer a la planta al acelerar la solubilización de nutrientes o de la materia orgánica descompuesta o, como sucede con ciertas bacterias, fijando el nitrógeno atmosférico (Figuroa, 2002).

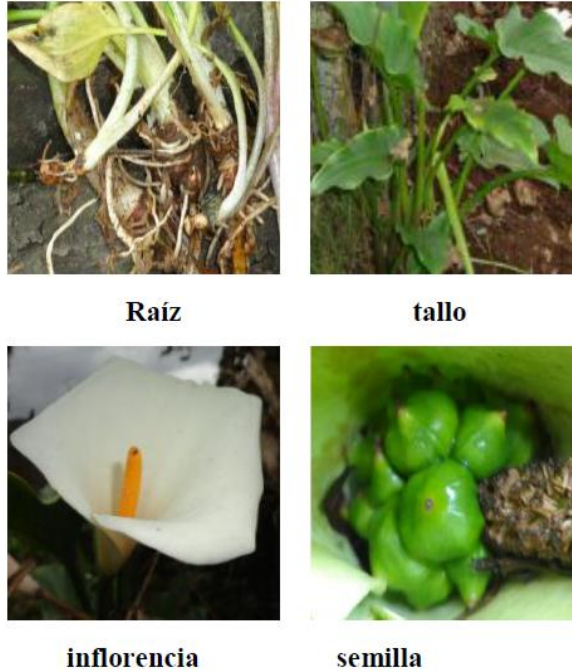


Figura 5. Partes de la especie *Zantedeschia Aethiopica* (Jamanca, 2017)

2.6.3 Composición química.

Se conoce que tiene característica química tóxica, con efectos de irritación a la piel, mucosa bucal, gastroenteritis y diarrea (Polo, Flores, Huamán, Gregorio, & Poma, 2017).

2.6.4 Hábitat.

Suele estar en canales de riego, zanjas de desagüe y ambiente húmedos, requiere de mucha agua en sus épocas de floración desde primavera hasta finalizado el verano en un periodo de 8 a 11 meses, generalmente se puede encontrar de forma silvestre (Guali & Orlandomena, 2017)

2.6.5 Distribución geográfica.

Natural de Sur África (Schmidt-Mumm, 1998) y naturalizado en distintas partes del mundo de clima cálido o tropical (Polo, Flores, Huamán, Gregorio, & Poma, 2017).

2.6.6 Reproducción.

En la planta se encuentran flores de ambo sexos, la femenina se sitúa bajo la masculina en la espata, que rodea las anteras amarillas (inflorescencia). En la raíz (bulbo o rizoma) se concentran los nutrientes, ahí también nacen varios tallos con dos hojas y una flor (Gualli & Orlandomena, 2017).

2.6.7 Cultivo y uso.

La belleza de su flor (Fronza, 2018), hace de la planta útil para uso ornamental para jardines o interiores de hogares, cultivándose de manera óptima en áreas húmedas y fértiles pues requieren materia orgánica (Polo, Flores, Huamán, Gregorio, & Poma, 2017).

Algunas investigaciones han utilizado esta planta para limpiar aguas residuales, para evitar proliferación de algas (Jamanca, 2017) y remover contaminantes de origen domésticos (Gualli & Orlandomena, 2017). Por ejemplo Jamanca (2017) muestra que se hizo un trasplante en un humedal de flujo horizontal, Gallegos (1999) los evaluó en un humedal horizontal de flujo subsuperficial y recomienda espaciarlas 46 cm entre ellas considerando una densidad de siembra igual a 14 plantas por m². La experiencia en el uso de humedales de tratamiento a nivel mundial indica la utilización de especies que antes no eran comúnmente utilizadas.

2.6.8 Parámetros de crecimiento.

- Distancia mínima entre plantas es 20 cm (Gualli & Orlandomena, 2017)
- Ambientes con constante humedad.
- Temperatura promedio de 12 a 23°C.
- Nutrientes: N, P, K, Ca, Nitrógeno igual a 90 kg/ha

2.7 Regiones naturales de acuerdo a pisos altitudinales del Perú

El común denominador de la sociedad peruana es dividir en grandes regiones según el conocimiento hispánico, costa, sierra y selva. Sin embargo nuestros aborígenes nunca consideraron estas regiones en tres, más bien como aclara Pulgar (2018) ocho regiones naturales según los pisos altitudinales, cuyos nombres ha sido recogido por dicho autor. Brack & Mendiola (2004) refiere que el clima va cambiando con la altura, la temperatura va disminuyendo así como la presión atmosférica y el aire se vuelve raro pues disminuye por cantidad de volumen. Entonces estos factores cambiantes van a afectar en forma directa tanto a la tecnología de tratamiento como los procesos de depuración en aguas residuales, en lo humedales por ejemplo la adaptación de las plantas acuáticas flotantes, palustres y la comunidad microbiana.

Esto es determinante en la ingeniería ambiental, porque cuando se planteen soluciones se encontraran con ocho problemas, ocho realidades, ocho soluciones similares, por lo que su aplicación va a tener un alcance mayor cuando se considera las ocho regiones naturales, pues sus factores medioambientales naturales son comunes o similares. Los factores ambientales son clima, relieve, suelo, subsuelo, aguas subterráneas, aguas superficiales, mar, flora, fauna, grupos humanos, latitud y altitud (Pulgar, 2018). El hombre también juega un papel importante pues de acuerdo a cada región natural se asemeja las costumbres y cultura.

2.7.1 Clasificación.

Javier Pulgar Vidal, geógrafo peruano dividió las regiones naturales del Perú de acuerdo a la historia ancestral, las condiciones geográficas y ambientales como la región Chala, Yunga, Omagua, Rupa Rupa, Quechua, Suni, Puna y Janca; claramente distintas en altitud y características mencionadas.

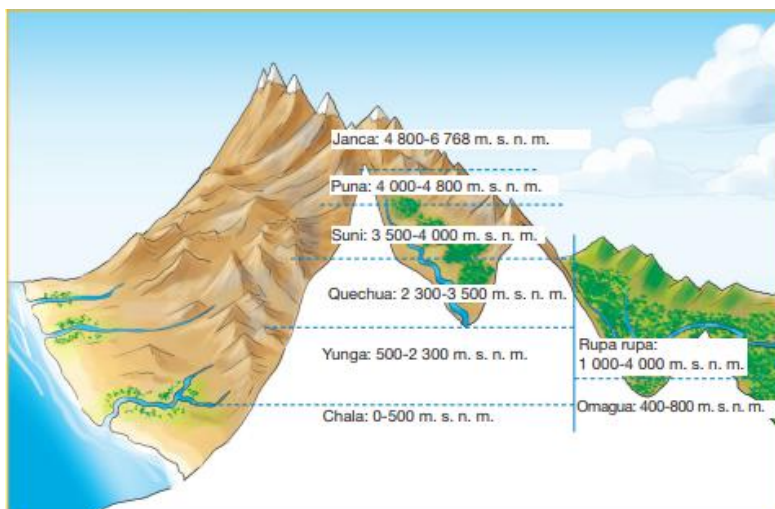


Figura 6. Las 8 regiones naturales del Perú (Ministerio de educación [MINEDU], 2015)

2.7.2 Región Natural Quechua.

El término Quechua ha servido desde tiempos incaicos para determinar estas tierras con climas templados, ubicadas entre los 2300 a 3500 m.s.n.m, comprende montañas con pendientes y llanuras interandinas formadas por los ríos. El clima es seco y templado con temperaturas cambiantes bruscamente en el día y la noche, las lluvias son abundantes de diciembre a marzo. Sus tierras son muy aprovechadas para la agricultura en el Perú como papa, trigo, maíz, olluco, habas, etc que pueden ser afectadas por granizadas y heladas. Además abunda la crianza de ganado, acémilas, ovejas y cabras (MINEDU, 2015). Su ubicación se da en las vertientes occidental y oriental de los Andes con ciudades principales como Cusco, Ayacucho, Abancay, Huancayo, Huaraz y Cajamarca. Se dice que los indígenas de Tarma, Cajamarca o Cuzco empleaban la palabra *Queshua* cuando eran interrogados de su procedencia (Sifuentes, 2019).

La temperatura y la humedad de esta región natural varían de acuerdo a la distancia con respecto a la línea ecuatorial. Por decir Cajamarca se encuentra muy cerca fluctuando promedio anual entre 11 a 16° C, con máximas de 22 a 29° C y mínimas de 7 y 4° C durante los meses de

mayo a agosto. La humedad se sitúa entre 500 a 1200 mm de precipitación, con tendencia a aumentar de sur a norte (Food and Agriculture Organization [FAO], 2007)

Sus características climáticas, topográficas, paisajes rurales y urbanos, geografía, clima, biodiversidad y su historia junto con sus monumentos arqueológicos los hace una gran región natural con potencial turístico e incluso los cronistas concluyen que llegó a ser la zona más desarrolladas durante la época del Tahuantinsuyo (Velazco, 2016).

2.8 Diseño de humedales artificiales

El manual de humedales artificiales emitido por la ONU-Hábitat (2008) recomienda utilizar la ecuación de Kickuth para el diseño del tamaño, consiste en:

$$As = \frac{Q(\ln Ci - \ln Ce)}{KDBO}$$

Ecuación 1. Ecuación de Kickuth

Donde:

As= Área de superficie del lecho o sustrato

Qp= Caudal máximo horario

Ci= Concentración de DBO5 en el afluente (mg/l)

Ce= Concentración de DBO5 en el efluente (mg/l)

KDBO= Constante de velocidad (m/d)

El KDBO es determinado a partir de la fórmula KT_{dn} , en la siguiente ecuación,

$$KT = K_{20} * (1.06)^{T-20}$$

Ecuación 2. Fórmula para el KDBO

Donde:

K20=constante de velocidad a 20°C (d-1)

T= temperatura de operación del sistema (°C)

d= altura de la columna de agua (m)

n= porosidad del sustrato (% en forma de fracción)

La constante de velocidad (KDBO) depende de la temperatura. El nivel de degradación de DBO aumenta en un 10% por °C.

Borrero L. (1999) y Silva & Zamora, (2005) recomienda utilizar para humedales de flujo subsuperficial un K₂₀ de 1.104 d⁻¹ y para humedales de flujo superficial o libre un valor de K₂₀ = 0.678 d⁻¹

Así mismo presentan los valores estandarizados de porosidad en la tabla 10 de acuerdo al sustrato.

Tabla 10. *Características de los medios de soporte*

Tipo de material	Tamaño efectivo	Porosidad	Conductividad hidráulica
	D ₁₀ ,mm	(n), %	(ks), m ³ /(m ² .d)
Arena gruesa	2	28-32	100-1000
Arena gravosa	8	20-30	500-5000
Grava fina	16	30-38	1000-10000
Grava media	32	36-40	10000-50000
Roca gruesa	128	38-45	50000-250000

Fuente: Adaptado de Borrero L(1999).

En cuanto a la temperatura existe una variación entre el agua residual y el aire, por lo que Burgers (como se citó en López, 2018) recomienda utilizar la ecuación 3.

$$T_{H_2O} = 10.443 + 0.688 * T_{aire}$$

Ecuación 3. Corrección de T° en el agua

Una vez encontrada el área superficial (AS) Nuñez (2016) recomienda dimensionar el área despejando el ancho (A) del humedal con la siguiente ecuación, considerando la relación largo/ancho igual a 2. Considerar una pendiente del 1% (0.01) (Gómez, 2017).

$$\text{Ancho} = \left(\frac{AS}{2}\right)^{0.5}$$

Ecuación 4. Área superficial de un humedal

2.8.1 Tiempo de retención.

En cuanto al tiempo de retención de acuerdo a Llagas & Guadalupe (2006) se ve en la tabla 11 que se requiere un mayor tiempo de retención cuando la temperatura es menor si se requiere remover un mínimo de materia orgánica DBO₅.

Tabla 11. *Reducción de DBO5 en función del tiempo de retención y temperatura*

Temperatura °C	Tiempo de retención(Días)	Reducción de DBO ₅ (%)
10	5	0-10
10-15	4-5	30-40
15-20	2-3	40-50
20-25	1-2	40-60
25-30	1-2	60-80

Fuente: Adaptado de (Llagas & Guadalupe, 2006)

2.8.2 Otras consideraciones.

En cuanto a la selección de la planta acuática, palustre o flotante a partir de lo que recomienda (Mentaberry, 2011) se resumen las siguientes consideraciones.

- Tasa de captación del contaminante
- Densidad de las plantaciones
- Mantenimiento y gastos de cosecha
- Análisis de riesgos contingentes (plagas, sequías, etc.)

Otras consideraciones a tener en cuenta es la tuberías y su distribución que conectan las unidades, su diámetro, el diámetro de sus agujeros y el espaciamiento entre ellas (Gómez, 2017).

2.9 Parámetros de calidad del agua residual

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que nos permite evaluar la calidad del agua residual y la eficiencia de remoción en los sistemas de tratamiento deben ser monitoreados tanto en el efluente como el afluente, de los cuales el protocolo nacional toma como referencia los de la tabla 12, dispuesto por normativa nacional del sector ambiental.

Tabla 12. *Parámetros fisicoquímicos y biológicos con LMP o ECA*

Tipo	Parámetro	LMP ¹	Unidad	ECA ² (Categoría 3)	Unidad
Físico - Químico	Aceites y Grasas	20	mg/l	5	mg/l
	DBO5	100	mg/l	15	mg/l
	DQO	200	mg/l	40	mg/l
	Temperatura	<35	°C	▲ ⁴ 3	°C
	pH a 25°	6.5-8.5	pH	6.5-8.5	pH
Microbiológico	Sólidos suspendidos totales	150	ml/L		ml/L
	Coliformes termotolerantes	10000	NMP/100ml	1000	NMP/100ml
	Color ³	-	-	100	pt/Co
	Nitrógeno amoniacal	-	Cat. 2 -->	6.98	mg/l NH3
Físico - Químico	Conductividad	-	-	2500	us/cm
	Turbidez	-	-	100	UNT
	Oxígeno Disuelto	-	-	>=4	mg/l

1. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – D.S. N° 003-2010-MINAM.
2. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - DS N° 004-2017-MINAM.
3. Después de filtración simple.
4. ▲ significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

2.9.1 Análisis de los parámetros de calidad de agua residual.

2.9.1.1 Aceites y Grasas.

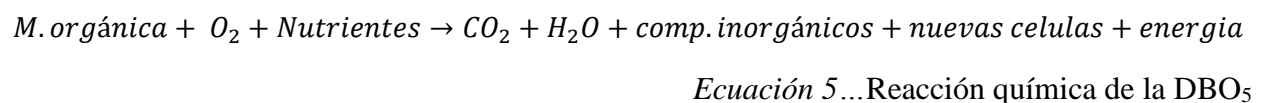
Es de origen animal-vegetal cuyos derivados son muy utilizados en las cocinas domésticas, cada vez que son arrojados al agua forman una bio-película que causa daño a la microvida. En el

tratamiento de aguas residuales cuando el afluente tiene un alto contenido de aceites y grasas interfiere en los procesos aerobios, anaerobios de los microorganismos reduciendo la eficiencia de remoción, pues su composición química es de carbono, hidrogeno, oxígeno, en menor medida azufre y otros. Se caracterizan por ser insolubles con el agua por su alta estabilidad, sin embargo pueden ser solubles con solventes no polares como el éter, el hexano, benceno, queroseno y más.

Los aceites y grasas se resumen en lípidos con la diferencia que el primero está en estado líquido a 20°C y el segundo en estado sólido a 20°C, respectivamente. Están formados por la unión de ácidos grasos y glicerol, las grandes cadenas de moléculas del glicerol además del peso molecular alto de los ácidos grasos le dan la característica de alta viscosidad. En estado líquido tienen una densidad igual 0.82 – 0.92 mg/l mientras que en estado sólido es de 1 a 1.057 mg/l (Huané & Rivera, 2014) (Sánchez Q. J., 2011) (Riccio, 2010) (Pérez, León, & Delgadillo, 2013).

2.9.1.2 Demanda Biológica de oxígeno (DBO₅).

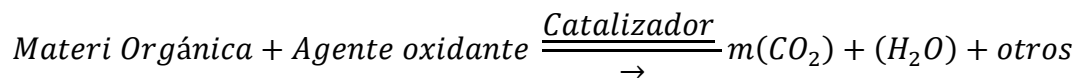
Cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica que es biodegradable por lo que es un indicador del nivel de contaminación, cuando se analiza a nivel de laboratorio la prueba debe realizarse en presencia de oxígeno de acuerdo a la siguiente fórmula, el número cinco (5) se debe a la cantidad de días representativos que debe pasar la prueba de laboratorio a 20°C, de esta forma se aproxima a la realidad de las aguas residuales (Rodríguez L. D., 2018).



La remoción de DBO₅ en los humedales artificiales inicialmente se da en 50% mediante sedimentación, debido al flujo lento el medio filtrante absorbe los compuestos, el resto de DBO es por contacto con las bacterias (Rincón & Millán, 2013).

2.9.1.3 Demanda química de oxígeno (DQO).

Es la cantidad de oxígeno que se requiere para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica presente en un cuerpo de agua por un agente químico. De acuerdo a la siguiente fórmula se toma la materia orgánica de una muestra de agua que mediante el ácido sulfúrico y en presencia de un catalizador convierte la materia orgánica en CO₂, agua y otros compuestos inorgánicos (Rodríguez L. D., 2018).



Ecuación 6. Reacción química de la DQO

Las reacciones biológicas de los microorganismos que usan la materia orgánica en su metabolismo al igual que las plantas influenciadas por el tiempo de retención y la acción filtrante de la grava, hacen que los humedales tengan gran capacidad de remoción de DQO (Rincón & Millán, 2013), el aporte de O₂ mediante raíces es mínimo.

2.9.1.4 Temperatura.

La temperatura influye directamente en la actividad biológica puede retardarlo o a acelerarlo. Por ejemplo a 10°C la reacción microbiana para remover materia DBO y N retarda su velocidad, en caso la temperatura aumente significativamente satura el oxígeno disuelto acelerando la reacción y produciendo olores de CH₄, H₂S (Rincón & Millán, 2013). La temperatura de las aguas residuales suelen ser más calientes que las de consumo humano. Las medidas de temperatura pueden realizarse con cualquier termómetro Celsius de mercurio o alcohol que como mínimo, tendrá una escala marca cada 0.1 °C sobre el tubo capilar y una capacidad térmica mínima que permita un equilibrio rápido se determina mediante “termometría” in situ.

2.9.1.5 Potencial de hidrogeno (pH).

Es el término que nos expresa el grado de acidez, neutralidad o alcalinidad de un agua residual, es una forma de expresar la concentración de iones de hidrogeno. En el tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales permite controlar los procesos biológicos con un pH cercano a la neutralidad favorable a los microorganismos, la muerte de vegetales tiende a acidificar el pH, mientras que las algas mantienen someramente un pH básico (Rincón & Millán, 2013).

2.9.1.6 Sólidos suspendidos Totales.

Los sólidos totales se dividen en fracciones de sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos disueltos totales (SD), los SS son fracciones que quedan retenidas en un filtro de 1,2 µm de tamaño de poro a 103°-105°C (Rodríguez L. D., 2018).

De acuerdo a los mecanismos de los humedales artificiales se ve que se remueven mediante sedimentación, adsorción y precipitación, para ello se requiere alta densidad de las especies vegetales y un buen sustrato (Rincón & Millán, 2013).

2.9.1.7 Coliformes Termotolerantes.

Los Coliformes es un grupo de bacterias que se encuentran normalmente en vegetación, agua y suelo, sin embargo hay Coliformes provenientes del tracto gastrointestinal de los seres vivos con sangre caliente, especialmente en los humanos que mediante sus excretas son dispuestos al ambiente. Estos Coliformes se dividen en Coliformes totales que a la vez se subdividen en Coliformes Termotolerantes, este último debe su nombre por soportar temperaturas de hasta 45°C, tienen forma de bacilos y se representan por *Escherichia coli* en 90% y menor proporción *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae*. El *Escherichia coli* genera problemas abdominales como diarreas, náuseas, vómitos; *Citrobacter sp* produce alteraciones a nivel intestinal y *Klebsiella sp* ocasiona

problemas respiratorios. Los Coliformes Termotolerantes son indicadores fecales en el agua porque mediante el cultivo suelen producir gas a partir de la lactosa a 45°C, esto no sucede con los bacilos de los Coliformes del ambiente (Caceda, 2016) (Larrea, Rojas, Romeu, Rojas, & Heydrich, 2013) (APHA, AWWA, & WPCF, 1992).

En los humedales artificiales de acuerdo a lo registrado por Gómez (2017) se alcanzó remociones desde 35-40% con tiempos de retención de cuatro días y mediante grava de río fina que hace la función de biofiltración, esto propicia su muerte natural sumado a ellos los antibióticos de la rizósfera de las plantas y la rapiña de invertebrados.

Los métodos para su determinación son el filtro membrana y tubos múltiples.

2.9.1.8 Color.

El color es un parámetro que está ligado con la turbiedad pero nos da referencia a otro tipo de contaminación, el agua puede tener un color real y un color aparente, el primero se caracteriza por el color natural del agua, extractos vegetales como sustancias húmicas y fulvicos que pasan por filtración, en cambio en el segundo se refiere a todo el color que es aportado por el material en suspensión y no requiere filtración. En la ingeniería el color es importante tanto para la estética como para la desinfección. En cuanto a la desinfección se sabe que el color está asociado a la materia orgánica entonces al asociarlo con cloro se pueden generar trihalometanos, que son cancerígenos y peligrosos para las personas (Rodríguez L. D., 2018).

2.9.1.9 Nitrógeno Amoniacal.

El nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico forman el nitrógeno total. No obstante el nitrógeno amoniacal es parte del ciclo del nitrógeno según se puede ver en la ilustración, en las aguas residuales se degrada de la materia orgánica y por acción bacteriana se va oxidando

conductividad está muy relacionada con sólidos suspendidos, dureza del agua e incluso corrosión del agua. La conductancia de una solución es lo opuesto a su resistencia y se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Giraldo, 1995). Es importante medir para identificar efluentes de origen industrial o su posible reutilización post-tratamiento.

En humedales artificiales donde un componente son los vegetales, estos tienen la capacidad de absorber sales o iones incorporándolos a sus tejidos y permiten el cultivo en agua con una relativa salinidad (MOOC Agrotech, 2015) reduciendo la conductividad significativamente (Rincón & Millán, 2013).

2.9.1.11 Oxígeno disuelto (OD).

En los humedales artificiales los microorganismos y vegetación vivos dependen de algún u otra forma del Oxígeno Disuelto (OD) para sus procesos metabólicos para el crecimiento o reproducción. El OD condiciona las características de un ecosistema que pueden ser aeróbicos o anaeróbicos, se encuentra como fuente primaria en la atmósfera o mediante el producto del proceso de fotosíntesis en plantas, algas y cianobacterias. El oxígeno de la atmósfera es escasamente soluble, no reacciona químicamente con el agua. Su solubilidad está relacionada con la Presión Parcial y la temperatura definida por la ley de Henry para que la cantidad de oxígeno se puede disolver teóricamente en un cuerpo de agua. A mayor altitud la presión parcial es menor por tanto la solubilidad también es menor, en cuanto a la temperatura si esta es mayor la solubilidad es menor. Otro factor es la Salinidad a mayor salinidad menor solubilidad, la sal disuelta en el agua reduce los espacios intermoleculares disponibles para la disolución del agua. En la ingeniería es importante, ayuda a conocer el costo de aireación en los procesos de tratamiento, en los ríos el grado de contaminación además sirve para determinar la DBO_5 a nivel de laboratorio (Rodríguez L. D., 2018).

Depende la concentración del oxígeno disuelto en el agua hay diferentes condiciones de acuerdo a tabla 13.

Tabla 13. *Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias en ecosistemas*

OD (mg/l)	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	OD adecuada para la vida de la gran mayoría de especies y otros organismos acuáticos
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistema en plena producción fotosintética

Fuente: (Rodríguez L. D., 2018)

En el tratamiento de aguas residuales doméstica la presencia o ausencia de oxígeno disuelto indica el tipo de transformación biológica, ya sea por microorganismo aerobios o anaerobios (Giraldo, 1995). En los humedales artificiales el OD es consumido de forma inmediata por los microorganismos, lo que define en mayor porcentaje un tratamiento anaerobio (Rincón & Millán, 2013).

2.9.1.12 Turbidez.

Es un parámetro que hace referencia a todo el material en suspensión que interfiere con el paso de la luz a través del agua, desde partículas coloidales a gruesas de orígenes orgánicos o inorgánicos. Está asociado a las condiciones estéticas como indicador de buena calidad de agua, en la filtración indica cómo se está llevando el proceso, en la desinfección muchas partículas o coloides pueden pegarse a ellos interfiriendo al desinfectante además en caso de compuestos orgánicos al juntarlo con cloro pueden dar compuestos cancerígenos o trihalometanos (Rodríguez L. D., 2018).

En los humedales gracias a los vegetales por la sedimentación y adherencia del material en suspensión se logra remover la turbiedad en buenas proporciones (Rincón & Millán, 2013).

2.10 Marco legal

A nivel nacional se ha logrado alcanzar un nivel adecuado en cuanto a la legislación ambiental especialmente en lo que se refiere al sector saneamiento y ambiental, por lo que se deben tomar las siguientes normas legales.

- Constitución Política del Perú – 1993. Artículo 2; Inciso 22: Artículo 66; Artículo 67.
- La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611.
- Resolución Ministerial N° 176-2010-Vivienda.
- Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma OS-090 PTAR.
- Ley de recursos hídricos - LEY N° 29338.
- Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos - Decreto Supremo N° 001-2010-AG.
- Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR RM N° 273-2013-VIVIENDA.
- Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y re-uso de aguas residuales tratadas RJ 224-2013-ANA.
- Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. D S N° 003-2010-MINAM.
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. D S N° 004-2017-MINAM
- Reglamento de Protección Ambiental para proyectos vinculados a las actividades de Vivienda, Urbanismo, Construcción y Saneamiento DS N° 015-2012-VIVIENDA.

Capítulo III. Metodología

3.1 Lugar de ejecución

El sistema de fitorremediación se ejecutó en el Centro Poblado Udima, ubicado en el distrito de Catache, provincia de Santa Cruz, región de Cajamarca con una población de acuerdo al censo del 2007 de 900 personas con una tasa de crecimiento igual a 9 %, por lo que se estima que al año 2038 habrá una población igual a 1198.9 (1200) habitantes, así mismo el (INEI I. N., Sistema de Información Geográfica , 2018) lo ha catalogado como regional natural Quechua por presentar un clima templado frío. La temperatura promedio anual del centro poblado es igual a 15.46° C, durante el año varía entre una temperatura mensual mínima igual a 10.9 ° C y una mensual máxima de 20.3°C según reportes del SENAMHI. La temperatura más baja registra durante los meses de junio a setiembre. Las precipitaciones pluviales más fuertes se presentan entre los meses de diciembre a abril, llegando en promedio a alcanzar entre 900 a 1220 mm por año.

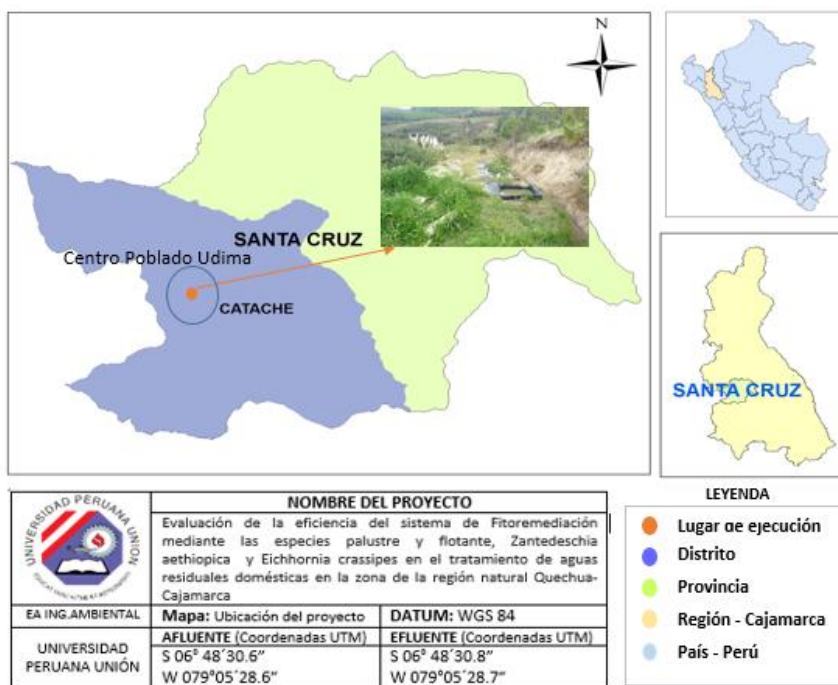


Figura 8. Ubicación de la ejecución del proyecto

La ubicación del proyecto a nivel piloto (ver anexo 14 y 16) se realizó en la actual planta de tratamiento de aguas residuales que se encuentra en la parte baja del centro poblado, en las coordenadas UTM 710909.00 m E; 9247061.00 m S. Debido a que presta las condiciones para el aprovechamiento del afluyente luego de pasar la cámara de rejas y el vertedero sutro. Las aguas residuales domésticas del centro poblado cuenta con un caudal promedio (Q_p) de agua residual igual a 2 l/s, y caudal máximo horario (Q_{mh}) igual a 5 l/s.

3.2 Materiales

3.2.1 Aforo y determinación del Caudal.

El cálculo máximo de la descarga del alcantarillado se calculará a partir de la población futura y los criterios de la norma OS.100, para el aforo del caudal piloto será mediante el método volumétrico por lo que se necesita:

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| Botas de seguridad | ✓ Cronómetro |
| ✓ Guantes | ✓ Máscara quirúrgica |
| ✓ 2 envases de suero de 100 ml | |

3.2.2 Materiales para la construcción de Humedales Artificiales.

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| ✓ Cinta masking tape | ✓ 6 m tubería de 4" |
| ✓ Clavos para madera | ✓ 1 Cubeta de plástico |
| ✓ Tablas de Madera | ✓ 1 Jarra mediana |
| ✓ Codos de 90° | ✓ Plumones |
| ✓ Grava de ½"- 1" | ✓ Cinta scotch |
| ✓ Palana | ✓ Linterna de Mano |
| ✓ Discos para cemento | ✓ 6 m tubería de 4" |
| ✓ Wincha | ✓ 1 Cubeta de plástico |
| ✓ Picotas | ✓ 1 Jarra mediana |
| ✓ 6Kg Plastico | ✓ Plumones |
| ✓ 10 m Tuberías de ½" | ✓ Cinta scotch |

- ✓ 4 Llaves de cierre rápido
- ✓ 1 bolsa de yeso
- ✓ 1 Bolsa de Cemento
- ✓ 1 L Silicona
- ✓ Taladro
- ✓ Amoladora
- ✓ Brocas
- ✓ 3 Lampas
- ✓ Martillo
- ✓ Sierra de Arco
- ✓ Tablas
- ✓ Mallas
- ✓ Carretilla
- ✓ Protector Solar
- ✓ 6 Mascarillas
- ✓ 6 Guantes de Vinilo
- ✓ Extensión Electrica
- ✓ Motor Electrico
- ✓ 1 rollo de Manguera
- ✓ 6 Reducciones
- ✓ 2 m tubería de 2"
- ✓ Linterna de Mano
- ✓ 6 m tubería de 4"
- ✓ 1 Cubeta de plástico
- ✓ 1 Jarra mediana
- ✓ Plumones
- ✓ Cinta scotch
- ✓ Linterna de Mano
- ✓ Culer
- ✓ Cuaderno de campo
- ✓ Lapicero
- ✓ Culer
- ✓ Cuaderno de campo
- ✓ Lapicero
- ✓ 1 Balde 18 L
- ✓ Mano de obra
- ✓ 6 Guantes Quirúrgicos
- ✓ Barreta Corrugada
- ✓ 1 Bolsa de urea
- ✓ 1 Drisa de 10 mts.
- ✓ 3 Pegamentos de PVC
- ✓ Nivel de Burbuja

3.2.3 Materiales en Gabinete.

- ✓ Laptop core™ i5 - Memoria USB 8GB.
- ✓ Software (Word, excel. AutoCAD 2017, STATICS 13.1)
- ✓ Materiales de escritorio (papel, bolígrafos, pizarra).

3.2.4 Materiales en monitoreo.

- ✓ Termómetro de Alcohol
- ✓ Cadena de Custodia
- ✓ Wincha 5 m
- ✓ Cronometro
- ✓ Cámara fotográfica o celular
- ✓ GPS. Garmin Etrex

- ✓ 12 Frascos 500 ml (2 muestras c/u Conductividad, pH, OD, Turbiedad, CTT, SST, DBO, DQO, Nitrógeno Amoniacal, Color)
- ✓ Caja cooler fresco
- ✓ Guantes
- ✓ Guardapolvo
- ✓ Mascara quirúrgica
- ✓ Balde

3.3 Métodos

En la Figura 9, se muestra el procedimiento para lograr evaluar la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca.

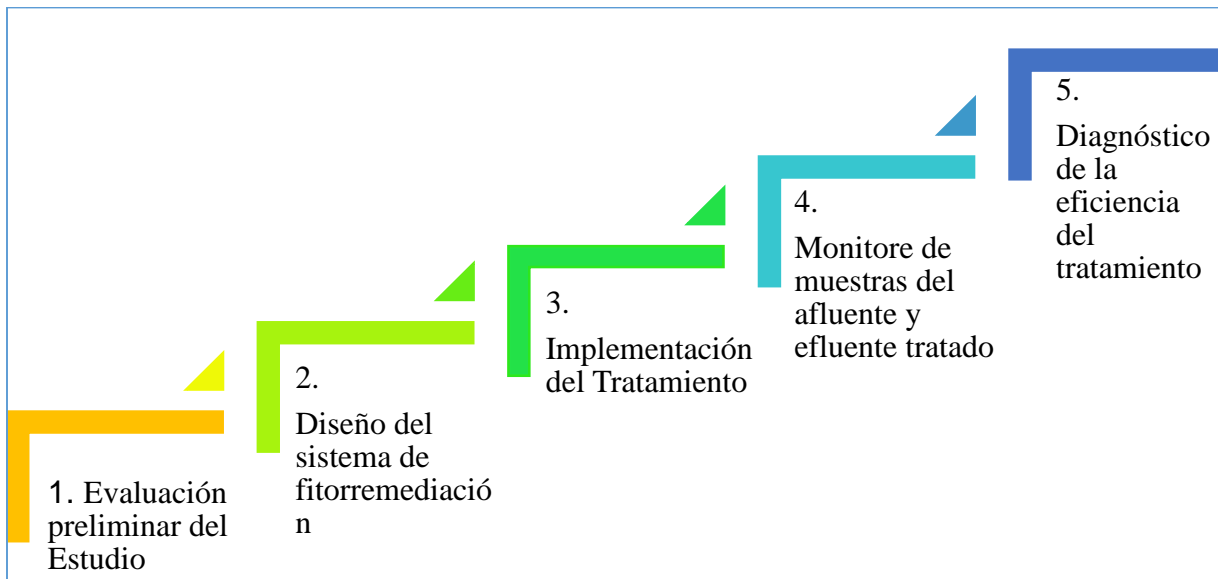


Figura 9. Procedimiento de ejecución de la investigación

3.3.1 Evaluación preliminar del estudio – Etapa 1.

La evaluación preliminar permitirá identificar algunos factores que permitan el normal desarrollo de la ejecución del proyecto, por lo que se requiere realizar las siguientes actividades:

- a) Ubicar y verificar el funcionamiento de la cámara de rejillas.
- b) Identificar el caudal y punto de captación de afluente para el proyecto.
- c) Identificar costumbres relacionados de la población que alteren o modifiquen las muestras y el tratamiento.
- d) Identificar el área de influencia directa y los actores.

- e) Evaluar que la ejecución del proyecto no altere el normal desarrollo de la PTAR existente.
- f) Identificar y verificar las medidas del área de ubicación del proyecto.
- g) Estudiar la elección de las especies palustre y acuática.
- h) Selección del sustrato
- i) Para definir los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se considerará los LMP y otros parámetros según recomendaciones de otros autores.

3.3.2 Diseño del sistema de fitorremediación a escala – Etapa 2.

Para el diseño del sistema de fitorremediación a escala se requiere los datos generales de población final de diseño, la T° corregida, el Qp y la carga volumétrica. Así mismo se experimentó un tratamiento en serie para los humedales artificiales, considerando como tratamiento secundario al humedal de flujo subsuperficial horizontal y un tratamiento a nivel terciario mediante humedales de flujo superficial o libre, pues según Carvajal, Zapattini, & Quintero (2018) y Rodríguez, Reyes, Jácome, Molina, & Suárez (2013) dicen que los humedales de flujo superficial son tratamientos usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad agua mientras tanto los humedales sub-superficiales puede ser usados como tratamiento secundario.

3.3.2.1 Diseño del tanque sedimentador.

Para todo el diseño del tanque sedimentador se requiere primero encontrar la carga orgánica media la siguiente ecuación.

$$CO = Pob * APC$$

Ecuación 7. Carga orgánica

Dónde: CO= Carga orgánica

Pob= Población final

APC= Aporte per cápita

Una vez encontrada la carga orgánica, se procede a hallar el volumen mediante la carga orgánica y la carga volumétrica definida según la ecuación 8.

$$V = \frac{CO}{\lambda V}$$

Ecuación 8. Volumen de tanque sedimentador

Donde:

V= volumen

λV = carga volumétrica

Ahí no termina todo, pues se genera un volumen de lodos que es necesario considerarlo para encontrar el volumen total, mediante la ecuación 9 y 10.

$$VL = Tl * Pob * T limpieza$$

Ecuación 9. Volumen de lodos

Donde:

VL= volumen de lodos

Tl= tasa de lodos

Tlimpieza= tiempo de limpieza

Mediante la ecuación 11, es posible encontrar el volumen total del tanque sedimentador

$$VT = V + VL$$

Ecuación 10. Volumen total del tanque sedimentador

Donde:

VT= volumen total

Finalmente se podrá dimensionar a partir de la formula siguiente, sabiendo que la relación largo/ancho es igual a 1, para que el sedimentador sea cuadrado.

$$A * H = VT$$

$$L * W * H = VT$$

Donde:

A= Área,
L= Largo,
A= Ancho,
H= Altura

3.3.2.2 Diseño del humedal de flujo subsuperficial horizontal.

Para determinar el área superficial del humedal de flujo subsuperficial horizontal se calcula por medio de ecuación 12 de Kickuth:

$$As = \frac{Q * (\ln Co - \ln Ce)}{Kt * y * n}$$

Ecuación 12. Ecuación de Kickuth en un humedal subsuperficial

El porcentaje de remoción considerado es 60% de DBO para el tratamiento secundario, por lo tanto el valor de Ce sería igual 27.88 mg/l.

Para hallar el valor de KT se considera el K_{20} para este tipo de humedal que difiere con el siguiente humedal artificial por medio de la ecuación 13, con el valor $K_{20} = 1.104^{d-1}$

$$Kt = K_{20} * 1.06^{T-20}$$

Ecuación 13. Kt en un humedal subsuperficial

Para encontrar las dimensiones de largo y ancho del humedal se utiliza el resultado del áreas superficial en la ecuación 14, considerando que la relación largo ancho es igual 2.

$$Ancho = \left(\frac{As}{2}\right)^{0.5}$$

Ecuación 14. Ancho del humedal subsuperficial

3.3.2.3 *Diseño del humedal de flujo superficial.*

Para determinar el área superficial del humedal de flujo superficial se calcula por medio de ecuación de Kickuth:

$$As = \frac{Q * (\ln Co - \ln Ce)}{Kt * y * n}$$

Ecuación 15. Ecuación de Kickuth para un humedal superficial

El porcentaje de remoción considerado es 60% de DBO para el tratamiento terciario, por lo tanto el valor de Ce sería igual 11.12 mg/l.

Se calcula primero el valor de KT por medio de la ecuación siguiente, con un valor de $K_{20} = 0.678^{d^{-1}}$

$$Kt = K_{20} * 1.06^{T-20}$$

Ecuación 16. KT para un humedal superficial

Para encontrar las dimensiones de largo y ancho del humedal se utiliza el resultado del áreas superficial en la formula siguiente, considerando que la relación largo ancho es igual 2.

$$Ancho = \left(\frac{As}{2}\right)^{0.5}$$

Ecuación 17. Ancho de humedal superficial

3.3.3 **Implementación del tratamiento – Etapa 3.**

3.3.3.1 *Instalación del Tanque Sedimentador.*

- a) Trazo y replanteo en el lugar de ejecución.
- b) Limpieza del terreno
- c) Transporte del material de trabajo
- d) Excavación del tanque sedimentador

- e) Medición de las dos capas de plástico (infiltración)
- f) Instalación de la madera de soporte
- g) Conexión de la tubería de la captación del afluente hacia el sistema primario.
- h) Prueba hidrostática mediante agua superficial
- i) Verificación de las dimensiones de diseño a escala
- j) Descarga del afluente doméstica

3.3.3.2 Instalación del Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal (HFSS).

Los pasos realizados que se planean ejecutar para la construcción se han extraído de Nuñez (2016):

- a) Trazo y replanteo en el lugar de ejecución.
- b) Limpieza del terreno, y transporte de algunas plantaciones.
- c) Instalación y limpieza de las vías de acceso al humedal.
- d) Transporte del material de trabajo
- e) Conexión de la tubería del tratamiento primario hacia el humedal (HFSSH).
- f) Excavación para el humedal en forma manual.
- g) Verificación de las medidas del diseño de HFSSH, largo, ancho y profundidad.
- h) Construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, revestirlo con doble lámina de plástico grueso para evitar las filtraciones.
- i) Instalar las tuberías de acuerdo al diseño, con sus respectivos accesorios, válvulas de cierre rápido (llaves de paso), codos, tapones donde corresponda y otros.
- j) Transporte de la grava, lavado y llenado en el humedal con grava
- k) Prueba hidrostática para ver el funcionamiento del humedal mediante agua limpia para detectar estancamientos y poner a funcionar con el agua residual doméstica.
- l) Siembre de la especie emergente *Zantedeschia aethiopica* (Cartucho).

3.3.3.3 Instalación del Humedal de Flujo Libre o Superficial (HFS).

El siguiente procedimiento es elaboración propia con referencia de Lara (1999).

- a) Trazo, replanteo y limpieza del área a utilizar.
- b) Se toma como propuesta un reservorio de geometría rectangular, debido a que la construcción es menos tediosa.
- c) Transporte del material de trabajo
- d) Conexión de la tubería del humedal (HFSSH) al humedal (HFS).
- e) Excavación para el humedal en forma manual.
- f) Verificación de las medidas del diseño de FWS, largo, ancho y profundidad.
- g) Construcción del humedal artificial de flujo libre, revestirlo con dos capas gruesa de plástico y una capa de plástico fino para evitar las filtraciones.
- h) Instalar las tuberías de acuerdo al diseño, con sus respectivos accesorios, válvulas de cierre rápido (llaves de paso), codos, tapones donde corresponda y otros.
- i) Prueba hidrostática para ver el funcionamiento del humedal mediante agua limpia para detectar estancamientos, y poner a funcionar con el agua residual doméstica.
- j) Siembre la especie flotante *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua).
- k) Controlar regularmente el color, olor y desfogue del efluente.

3.3.4 Procedimiento de toma de muestra– Etapa 4

El Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas es el único documento válido de acuerdo a la normativa sectorial (MVCS, 2013). El protocolo aprobado mediante la Resolución Ministerial N° 273-2013 Vivienda señala las consideraciones que hay que tener para el muestreo, como la ubicación de los puntos de control, los métodos, las técnicas adecuadas, así como los parámetros y frecuencias.

Para ubicar los puntos se deben tener en consideración las características:

- La muestra debe ser representativa del flujo
- Ubicar el punto donde hay mayor mezcla y cerca del aforo
- Para medir el afluente el monitoreo debe ser antes del ingreso del agua a tratar
- El acceso debe ser fácil
- Los puntos de monitoreo deberían ser fáciles de ubicar, para ello se utilizará el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS), registrado en coordenadas UTM y en el sistema WGS84.
- La frecuencia de monitoreo debe ser según la tabla 14.

Tabla 14. *Frecuencia de monitoreo*

Rango de caudal promedio anual de la PTAR	Frecuencia de monitoreo	Frecuencia mínima de medición de caudal
300 L/s	Mensual	Lecturas horarias, 365 días
>100 a 300 L/s	Trimestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por mes
>10 a 100 L/s	Semestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por trimestre
< 10 L/s	Anual	Lecturas horarias, por 24 horas, una vez por semestre

3.3.4.1 Agua residual cruda (afluente), antes del sistema de fitorremediación

El punto de monitoreo del afluente será ubicado en el ingreso del sistema de fitorremediación de acuerdo al Anexo 16, luego de pasar los colectores de agua residual doméstica y el cribado o cámara de rejillas, de tal forma que los sólidos de gran tamaño no interfieran en la toma de muestras.

3.3.4.2 Agua residual tratada (efluente), después del sistema de fitorremediación

El punto de monitoreo del efluente se ubicará en la salida del sistema de fitorremediación luego de ser el agua tratada de acuerdo al anexo 16, considerar las características antes mencionadas para ubicar el punto y asegurar el monitoreo.

3.3.5 Procedimiento para diagnóstico de la eficiencia de remoción – Etapa 5

El protocolo es de uso obligatorio para evaluar la eficiencia de remoción y funcionamiento de la PTAR domésticas.

El análisis de los parámetros solo será válido por resultados de laboratorios acreditados ante el INACAL. Para evaluar la eficiencia de remoción de una PTAR doméstica se realizará una comparación del afluente y efluente (cruda y tratada) según la ecuación 18, aplica para todos los parámetros a excepción de pH, OD y T° (MVCS, 2013) (Vanegas & Reyes, 2017).

$$DBO_r = \frac{DBO_E - DBO_S}{DBO_E} * 100$$

Ecuación 18. Eficiencia de remoción DBO₅

Donde:

DBOr: Demanda Bioquímica de Oxígeno removido (%)

DBO_E: Demanda Bioquímica de Oxígeno en la entrada (mg/l)

DBO_S: Demanda Bioquímica de Oxígeno en la salida (mg/l)

3.4 Variables de estudio

3.4.1 Variable independiente.

Sistema de fitorremediación (Tratamiento en serie mediante tanque sedimentador, seguido de los humedales artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal y de Flujo Superficial respectivamente).

3.4.2 Variable dependiente.

Calidad de aguas residuales domésticas. Parámetros fisicoquímicos: Aceites y Grasas, DBO₅, DQO, Temperatura, pH, SST, Color, Nitrógeno Amoniacal, Oxígeno disuelto, Turbidez, Conductividad. Parámetro microbiológico: Coliformes Termotolerantes.

Tabla 15. Operacionalización de variables

Variab	Definición	Unidad	Método/Equipo	Rango
Independiente				
Sistema de fitorremediación	Opción tecnológica para la remoción de contaminantes en efluentes domésticos	%	Eficiencia de remoción /Tanque sedimentador y humedales artificiales	0 -100
Dependientes				
Fisicoquímicas				
Aceites y Grasas	Cantidad de lípidos solidos o líquidos a 20°C presentes en los cuerpos de agua	mg/l	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease I and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry	0-20
DBO ₅	En el oxígeno que se requiere para degradar la materia orgánica mediante bacterias en 5 días a 20°C.	mg/l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test	0-100
DQO	Es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente la materia orgánica, mediante bicromato de potasio.	mg/l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method	0-200
Nitrógeno Amoniacal (En amoniaco)	Es la cantidad de nitrógeno amoniacal en forma de amoniaco presente en el agua residual	mgNH ₃ /l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ D, 23rd Ed. 2017: Nitrogen (Ammonia). Ammonia Selective Electrode Method	0-231
pH	Es un indicador del grado de acidez o alcalinidad del agua residual	Unidad de pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H ⁺ .B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method	0-14

Sólidos totales en suspensión	Son las partículas que se encuentran en forma de coloides y que dan los valores de turbiedad.	ml/l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A,D, 22nd Ed. 2012: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.	0-150
Conductividad	Es un indicador de la cantidad de sales y de los iones en solución pues tiene cargas positivas y negativas.	(μ S/cm)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method.	0-5000
Oxígeno disuelto	Es la cantidad de oxígeno soluble en el agua residual.	mg/l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.	0 - < 5
Temperatura	Es un parámetro que mide el calor del agua residual in situ,	°C	Temperature. Laboratory and Field Methods	+5
Color	El color se determina mediante comparación visual de la muestra con concentraciones conocidas de soluciones coloreadas.	Pb/co	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23rd Ed. 2017: Color. Spectrophotometric Single Wavelength Method (Proposed)	1-20 (0-500)
Turbiedad	Material en suspensión en formas de partículas y coloides, interfiere el paso de la luz solar en el agua	UNT	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2130. B. 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method	0.09-100
Microbiológicos				
Coliformes Termotolerantes	Indicadores de contaminación fecal u de otras bacterias patógenas que son causantes de enfermedades gastrointestinales.	NMP/100 ml	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	0-10000

Elaboración Propia.

3.5 Formulación de hipótesis

H_{01} = El sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* no son eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca.

H_{a1} = El sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* son eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca.

3.6 Estudio y diseño de la investigación

El presente proyecto pretende manipular intencionalmente una variable (sistema de fitorremediación) en el tratamiento del agua residual doméstica (parámetros fisicoquímicos y microbiológicos), la variable dependiente.

3.6.1 Análisis estadístico

Se pretende realizar análisis descriptivo comparativo y para el contraste de la hipótesis se utiliza análisis no paramétrico dado que los valores fisicoquímicos y microbiológicos son distintos entre ellos. Aplicando la prueba Kolmogorov-Smirnov y Wilcoxon mediante SPSS 25.0

3.6.2 Diseño de la investigación

En tal sentido de acuerdo a los conceptos en cuanto al diseño de investigación, para el presente estudio aplica el experimental porque de acuerdo a Hernández, Fernández, & Baptista (2014) se genera una situación en su contexto para ver el comportamiento de quienes son los afectados y compararlo con quienes no están involucrados, en este caso para ver la eficiencia de remoción del sistema de fitorremediación en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos. Sin embargo no es un experimento puro más bien de tipo cuasi experimental, puesto que el tratamiento o grupos ya están conformados antes del experimento.

Capítulo IV. Resultados y Discusión

4.1 Resultados de la evaluación preliminar del estudio

- En la cámara de rejas el día 04 de octubre del 2018 se encontró que el espaciamiento entre las barras es entre 10 a 15 cm, de acuerdo a Metcalf & Eddy (1995) dicha medidas permite que los sólidos como plásticos, piedras, palos, trapos, arena gruesa, etc.; dichos solidos obstruyen e impiden el normal funcionamiento del sistema de tratamiento, por lo tanto en el punto de captación (Ver en detalle anexo 3) se agregó un filtro de PVC de 2" tal como se muestra en las siguientes figuras.



Figura 10. Cámara de rejas



Figura 11. Filtro de 2" PVC

- Se halló que el caudal máximo horario de ingreso en la PTAR (Anexo 5) existente del afluente es igual a 5 l/s, se reguló a escala igual a 5ml/s. El punto de captación identificado en campo como se muestra en la figura 12, es en la caja del vertedero.



Figura 12. Caja de vertedero y punto de captación

- Así mismo se identificó y verificó que las costumbres del centro poblado, en su mayoría suelen realizar sus necesidades básica entre las 4:30 am – 6:00 am para salir a trabajar en el campo como la mayoría de pobladores de la región Quechua, por lo que se requiere hacer el monitoreo entre las 6:30 am – 8:00 am para lograr una muestra con mejor concentración.
- En el área de influencia se logró identificar fuentes de agua que se usan para regadío bebidas de animales y que un posible desvío o aumento podía inundar el sistema de fitorremediación por lo que se instaló un canal de protección. También se conoció en campo un conflicto de agricultores cercanos al proyecto entre los usuarios de agua para riego, por lo que se obtuvo los permisos respectivos según el anexo 10.



- En sitio se encontró que al captar el caudal para el proyecto de la caja del vertedero el caudal sobrante podría perjudicar la infraestructura de la PTAR existente, por lo que dicho caudal de desbordamiento de agua residual fue recolectado por una tubería de PVC de 4” según la figura y devuelta a las lagunas de estabilización sin problemas.



Figura 13. Tubería que devuelve el caudal a la PTAR

- Se identificó que el sistema de fitorremediación a escala funcionaría a la misma altura del canal del vertedero a 2 metros del borde de la PTAR actual, en dicho lugar se verificó que las medidas del área del proyecto según la figura 15, alcanzaría sin complicaciones ver figura 14, el área inundada de agua son el trazado de las medidas.



Figura 14. Ubicación del sistema de fitorremediación

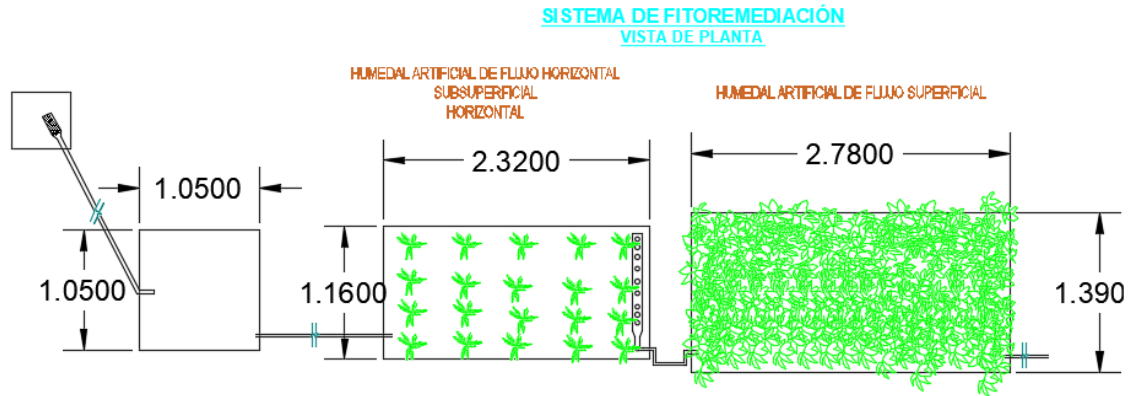


Figura 15. Dimensiones del sistema de fitorremediación (vista de planta).

- Se eligió la especie palustre, *Zantedeschia aethiopica* por su disponibilidad en la región, así como su adaptabilidad y su tolerancia en el tratamiento de aguas residuales domésticas, este último criterio se aplicó para elegir la especie acuática, *Eichhornia crassipes*, aunque no se encontró en la región se optó introducir dicha especie pues la literatura revisada lo señaló como un componente muy útil en la remoción, además por su resistencia y rápido crecimiento en bajas temperaturas (Alarcón, Ricardo, Zurita, & Garcia, 2018). El flujo o tipo del humedal es un criterio también muy importante en la elección de las especies.
- El sustrato estuvo conformado por material de soporte proveniente de una cantera cercana a la ubicación del proyecto, cuyas características es origen de roca tipo caliza dicho sustrato fue lavado por la presencia de sedimentos, limo o arcilla. Fue ubicado en una sola capa de altura en el humedal subsuperficial horizontal, la grava es de un tamaño promedio de 30 mm de diámetro promedio. Así mismo por su volumen el llenado es igual a 1.3 m³, en 24 carretillas llenadas en 5/6 de su volumen total igual a 54 litros (el volumen de la carretilla de acuerdo a sus especificaciones técnicas de su marca es igual a 65 l).



Figura 16. Ubicación de la cantera



Figura 17. Transporte del sustrato

- Los LMP dictan medir los parámetros fisicoquímicos de aceites y grasas, DBO₅, DQO, temperatura, pH, sólidos suspendidos totales y en microbiológicos a Coliformes termotolerantes. Así mismo los siguientes autores recomiendan sumar la medición de estos parámetros para evaluar el funcionamiento de la fitorremediación como los son N-NH₃ (Silva V. J., 2002), oxígeno disuelto (Montoya, Ceballos, Casas, & Morató, 2010), Color (Luna & Aburto, 2013), turbiedad (Marín, Solís, López, Bautista, & Romellón, 2016) y conductividad (Quintero, 2014).

4.2 Resultados del diseño del sistema de fitorremediación

En la tabla 16 así como en el plano del anexo 14 se detalla los resultados del diseño del sistema de tratamiento mediante fitorremediación, estos resultados se dieron a escala real y piloto, para el humedal subsuperficial horizontal mediante tratamiento secundario y para el humedal superficial mediante el tratamiento terciario.

El criterio para el diseño a escala es a partir del volumen y el caudal máximo horario debido a la influencia en el tiempo de retención.

Tabla 16. Resultados de diseño del proyecto del sistema de fitorremediación

Nivel de tratamiento	Unidad de tratamiento	Escala Real	Escala Piloto – 1/1000	Tiempo de retención
		Caudal ingreso real = 432 m ³ /día = 5l/s		
		Caudal ingreso escala piloto = 60ml/12s =5ml/s		
Secundario	Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal	H= 1.5m	H= 0.50m	3.1 días
		L= 42.22m	L= 2.32m	
		A= 21.11m	A= 1.16m	
		V= 1336.896	V= 1.34m ³	
Terciario	Humedal de Flujo Libre	H= 1.33m	H=0.40	3.2 días
		L= 54m	L=2.78m	
		A= 27m	A= 1.39m	
		V= 1931.625	V= 1.932m ³	

H= Altura; L= Largo; A= Ancho; V=Volumen

La instalación de los humedales de flujo subsuperficial horizontal se evidencian en el anexo 7 con la especie *Zantedeschia aethiopica*, así como el en el anexo 8 se puede evidenciar la implementación y funcionamiento del humedal de flujo superficial mediante la especies *Eichhornia crassipes*.

4.2.1 Adaptación de las plantas palustres y acuáticas en el humedal de flujo subsuperficial y superficial.

4.2.1.1 *Zantedeschia aethiopica*.

La especie vegetal *Zantedeschia aethiopica* se tomó de un terreno húmedo cercano a un humedal natural aguas arriba del centro poblado el día 09 de octubre y se mantuvo durante una semana remojando en una tina de agua, luego fue inoculado al humedal construido el día lunes 15 de octubre del 2018 a horas 7:10 am. Según la teoría la planta puede alcanzar de 60 a 100 cm, los resultados nos muestran que la adaptación duró aproximadamente un mes (4 semanas) a partir de la inoculación, luego el crecimiento optimo fue a los tres meses (12 semanas) tomando la medición de altura que va desde 16 cm a 56 cm, de acuerdo a lo mostrado en la figura 15 un gran porcentaje del largo de las hojas está entre los 30 a 50 cm, incluso el promedio

del total es igual a 34 cm de la altura posterior, la floración se mostró a los 90 días en cuatro plantas aunque Gualli & Orlandomena (2017) señala que la floración se da de 8 a 11 meses.



Figura 18. Adaptación y crecimiento de la especie palustre *Zantedeschia Aethiopica* en el Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal en centro poblado de la región natural Quechua.

La figura 18 demuestra que la especie *Zantedeschia Aethiopica* ha sido tolerante a las características fisicoquímicas y microbiológicas, pues hubo un cambio dentro del sistema de tratamiento en cuanto oxígeno disuelto (OD), conductividad (C), turbidez, NH₃ y otros que pudieron afectar el crecimiento del mismo. Así mismo se mostró que la tolerancia de acuerdo a Alarcón, Ricardo, Zurita, & Garcia (2018) es aparente ya que permitió evitar el estrés de la planta, pues se proporcionó oxígeno desde las partes aéreas de la planta hasta los órganos localizados en áreas anaerobias, esto permitió una tolerancia a largo plazo y un crecimiento sostenido de la especie en el humedal. La principal estrategia fue el desarrollo de Aerénquima en tallos que permiten la difusión de oxígeno (Palta & Morales, 2013).

4.2.1.2 *Eichhornia crassipes*.

La especie vegetal *Eichhornia crassipes* fue sustraída de la región natural Chala (0-500 msnm) en un vivero de la ciudad de Chiclayo, por lo que dicha especie es foránea para la región natural Quechua donde se llevó a cabo el proyecto.








Figura 19. Adaptación de la especie vegetal acuática flotante en un humedal de flujo superficial en un centro poblado de la región natural Quechua.

La especie *Eichhornia crassipes* ha sido tolerante a las características químicas como se puede ver en la figura 19, dichas características tuvieron cambios dentro del sistema de tratamiento en cuanto oxígeno disuelto (OD), conductividad (C), turbidez, N-NH₃ y otros que pudieron afectar el crecimiento del mismo.

En la tabla 17 se demuestra el crecimiento aritmético de la especie así como el tamaño alcanzado. Se sembró 25 plantas en un área de 59cm de largo x 39 cm de ancho igual a 0.23 m², comparando con la teoría de crecimiento de duplicación cada dos semanas en aproximadamente 8 semanas el áreas superficial humedal artificial estaría lleno con 416 especies.

Tabla 17. Crecimiento del Jacinto de agua en el humedal de flujo superficial

Eichhornia crassipes luego de 10 Semanas (2 + 1/2 meses) en el Humedal de Flujo Superficial		
	<p>L= 59 cm Ancho= 39 Cm Área =0.23 m² N° Plantas=25</p> <p style="text-align: right;">Densidad= 108 plantas/m²</p>	
	<p>Total plantas= 108*3.86 = 416 plantas</p>	
		
Estolón = 38 cm	Largo = 50 cm Peciolo = 20 Unidades	Rizoma = Rizoma Altura = 22 cm

El área superficial del humedal artificial de flujo superficial que sostendrá esta especie es igual a 3.86 m², con este dato es posible calcular en cuanto tiempo se llenó el área del humedal sabiendo que dicha planta puede duplicarse cada dos semanas. Además a través de la densidad según la tabla 17 se puede calcular la cantidad de plantas antes y después del tratamiento.

4.3 Análisis descriptivo comparativo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual doméstica tratada

Los resultados del laboratorio certificado para los parámetros del antes y después están registrados en el Anexo 1. La toma de muestras para su evaluación fue el día 11 de enero del 2019 cuyos resultados salieron el día 18 de enero del 2019.

4.3.1 Aceites y Grasas.

Los resultados mostrados en este parámetro muestran una gran reducción de grasas y aceite, de 19.8 mg/l en el afluente a 4.8 mg/l en el efluente doméstico según la figura 20, esto luego de haber tenido un tiempo de retención de 6.2 días atravesando el humedal subsuperficial horizontal y finalmente el humedal de flujo superficial. Esto indica que el sistema de fitorremediación tiene alta eficiencia de remoción (76% según la tabla 19), mediante la rizodegradación han filtrado los enlaces de carbono, hidrogeno y oxígeno (Arias, Betancur, Gomez, Salazar, & Hernández, 2010), que al ser retenidos en la parte superior del lecho debido a su densidad flotan (Huané & Rivera, 2014) y son aprovechados como nutrientes útiles para la actividad de los microorganismos aerobios que descomponen a los compuestos en metabolitos útiles para el mismo crecimiento de las plantas mediante la fitodegradación (Agudelo, Macias, & Suárez, 2005).

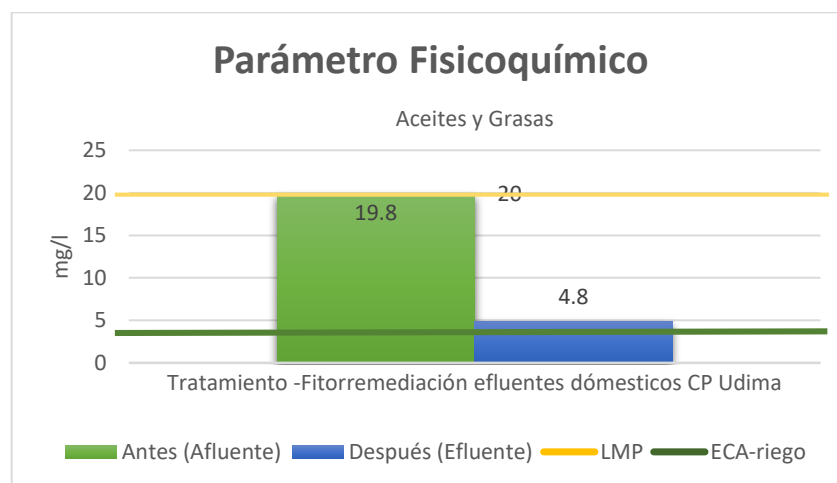


Figura 20. Resultados de aceites y grasas comparado con el LMP después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

Luna & Aburto (2013) ha registrado un promedio de 4 mg/l en el efluente usando este mismo esquema de humedales, muy similar al presente efluente.

En cuanto al cumplimiento de la normativa nacional, el efluente cumple con lo estipulado por el sector saneamiento que establece los límites máximos permisibles para este parámetro, aunque al comparar el afluente aparentemente no se requiere tratamiento pues ya cumplía con el límite establecido. Así mismo el efluente cumple con el estándar de calidad ambiental estipulado en el ECA riego, por lo que el sistema es apto en este parámetro.

4.3.2 Color (b).

El color se puede percibir de forma organoléptica, en este caso es científicamente medible y mediante la fitorremediación se ha reducido de 56.4 Pt/Co en el afluente (entrada) a 37.5 Pt/Co en el efluente de descarga (salida), su eficiencia según la tabla 19 alcanza un nivel medio igual a 34%. Luna & Aburto (2013) ha registrado un promedio de 37 mg/l en el efluente usando este mismo esquema de humedales y el valor es muy semejante.

Estos resultados se deben a los componentes que conforman las sustancias húmicas, cuyo componente principal es el ácido fulvico, tiene una proporción de 50 – 80% en el agua cuya composición es de C, H, N es 59.2%, 6.4%, 2.4% respectivamente (Arboleda, 1992). Así mismo la reducción está relacionada con el pH como lo señala el autor antes mencionado, en este caso la disminución de pH. En cambio con la turbiedad el pH no varía, pues el color tiene características distintas, el tamaño de las sustancias coloidales del color es de 10 veces a más pequeñas que las arcillas coloidales (turbiedad), el origen del color es orgánico y el de turbiedad es mineral, así como químicamente el color tiene ácidos orgánicos y la turbiedad cristales de silicatos. Las muestras de afluente y efluente son de color verdadero y no aparente porque se removió la turbiedad mediante un filtro para su medición (Rodríguez L. D., 2018).

La razón por la que no se alcanzó una alta remoción de color se debe a que los ácidos fulvicos se generan con mayor proporción en tratamientos de remoción de materia orgánica que incluyen plantas acuáticas para la fitorremediación (Arboleda, 1992).

En cuanto al cumplimiento legal el sector saneamiento no tiene límites establecidos en cuanto al color medible para la descarga de un tratamiento de efluentes domésticos, así mismo para reutilizar en el riego es necesario cumplir con el estándar de calidad ambiental-ECA riego, que en este caso esta si cumplió, como se resume en la figura 21.

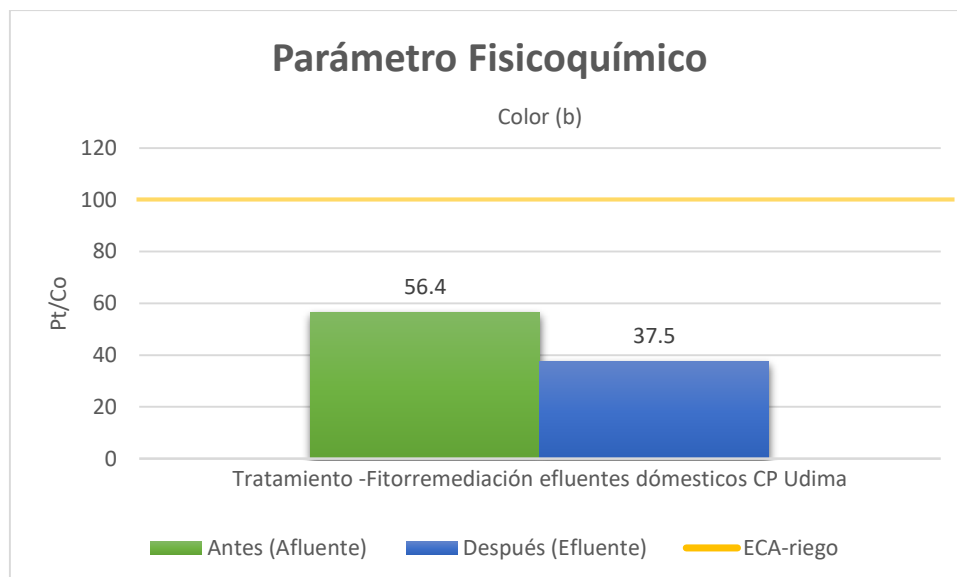


Figura 21. Resultados de Color comparado con el ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

En la figura 22, organolépticamente se puede denotar un mayor intensidad de color en la muestra del lado derecho (afluente), indica por intuición junto con el olor un cierto grado intuitivo de contaminación, algo diferente sucede con el efluente (lado izquierdo) luego de haber pasado por el sistema de fitorremediación, el color del efluente tiene menos intensidad con una tendencia a ser transparente. Así mismo no se detecta presencia de olor, sin embargo los resultados de laboratorio permitieron un mejor análisis cuantitativo y no solo cualitativo.



Figura 22. Análisis organoléptico del color en el afluente y en el efluente.

4.3.3 Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

La cantidad de sales disueltas en el agua residual del afluente en el muestreo se obtuvieron $1186.5\mu\text{s}/\text{cm}$ siendo reducido por el sistema de fitorremediación a $491.5\mu\text{s}/\text{cm}$ alcanzando una remoción medianamente significativa del 59%. Esto quiere decir que los componentes vegetales han tolerado y absorbido los iones de sales solubles adhiriéndolos a sus tejidos sin afectar el crecimiento a pesar de la gran cantidad, más aun reduciéndolos para su descarga. Sin embargo el efluente sigue siendo un conductor de electricidad indicados un contenido importante de impurezas y sales disueltas.

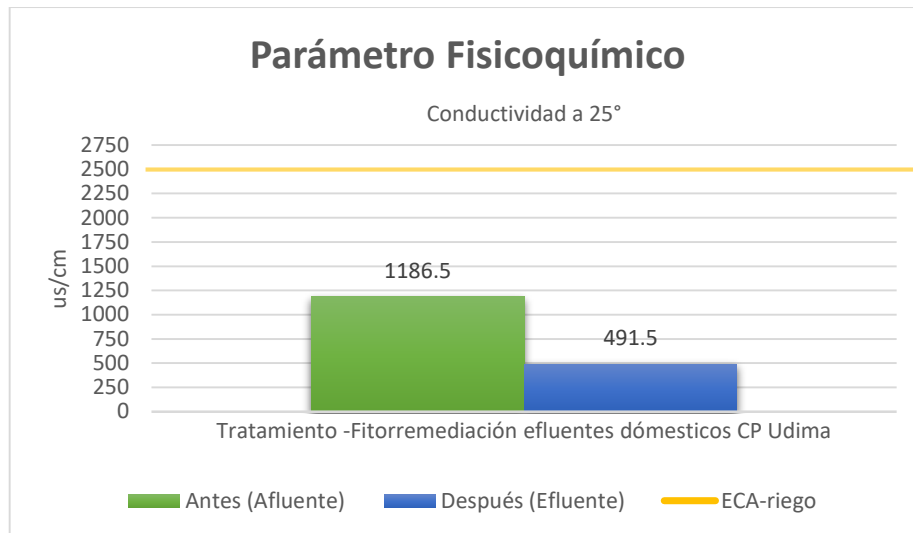


Figura 23. Resultados de Conductividad comparado con el ECA-riego después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

La conductividad es afectada la presencia de sólidos disueltos y otras impurezas. Por lo que los sólidos disueltos están en cierta forma representados por la conductividad eléctrica (Corrales & Rodríguez, 2014)

La normativa colombiana exige un límite de 1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en aguas para riego (Martinez, Murcia, & Suarez, 2015). En el Perú no existen límites permisibles en este parámetro para su descarga de efluentes domésticos, no obstante si es importante para el ECA riego (categoría 3) que aplicándolo en el presente proyecto cumple con los estándares de calidad ambiental (Lahora, 2014).

4.3.4 DBO₅.

La cantidad de materia orgánica biodegradable es medible gracias a los valores de DBO₅, el ingreso al sistema de fitorremediación del afluente doméstico indica alta contaminación pues el valor es de 437 mg/l según la figura 24, Metcalf & Eddy (1995) lo considera una concentración por ser > 400 mg/l. Para remover esta cantidad de materia orgánica se requiere de gran cantidad de bacterias, es decir las unidades posteriores de los humedales artificiales mediante las plantas

palustres y acuáticas flotantes a proveído del suficiente oxígeno a las bacterias de tal forma que el efluente a reducido su concentración significativamente a 24 mg/l.

El resultado en términos de eficiencia de remoción del sistema de tratamiento mediante fitorremediación con un tiempo de retención aproximado de 6 días alcanza un porcentaje muy alto igual al 95%, según Rincón & Millán (2013) se debe el 50% aproximadamente al sustrato que actúa como medio filtrante, los espacios de la grava y las raíces medios para sedimentación, el resto es removido por el mecanismo de las bacterias de forma aerobia en los microespacios de las raíces de las especies vegetales y complementado de forma anaerobia en el lecho sumergido por fermentación metánica y sulfato reducción (Lahora, 2014). Estos mecanismos están relacionados con la temperatura, en este caso la temperatura ha sido constante según los resultados lo que contribuye a los mecanismos en la remoción de la DBO₅ (Martínez, Murcia, & Suárez, 2015).

Al comparar con otros tratamientos como el de Guio & Toscano (2018) que también utilizó *Eichhornia crassipes* es un sistema de fitorremediación con la misma estructura, logró una remoción para DBO₅ superiores al 70% con un nivel de eficiencia un poco menor a lo obtenido en esta investigación.

Comparando con la normativa del sector saneamiento, cumple en este parámetro para hacer la descarga del efluente tratado pues el valor obtenido es cinco veces menor que el límite máximo permitido, a este nivel de concentración del efluente con descargas a aguas superficiales es aceptable, pues es posible su autodepuración (Guio & Toscano, 2018). No obstante en caso se requiera usar el efluente para riego agrícola o para bebidas de animales no es apta debido a que condicionalmente no cumple con el estándar de calidad ambiental de 15mg/l.

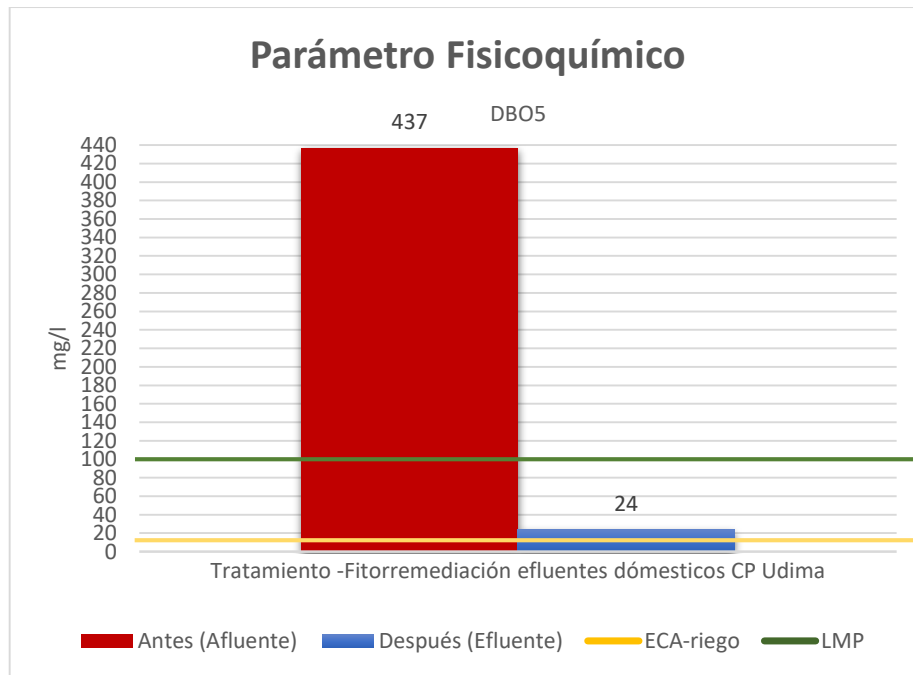


Figura 24. Resultados de DBO₅ comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

4.3.5 DQO.

La DQO en el afluente tiene una concentración de media a fuerte de acuerdo a Metcalf & Eddy (1995) pues su valor es de 687.8 mg/l, sin embargo en el efluente el valor es muy distinto, esto se debe a que en los humedales artificiales hay reacciones químicas por la interacción de las bacterias y la secreción de la raíces mediante la fitoestimulación permitieron reducir la DQO a un nivel bajo igual a 54.3 mg/l en el efluente. Además según Palta & Morales (2013) la materia orgánica mediante el agente el oxígeno y las reacciones químicas como el intercambio de gases debido a los tejidos aerenquimáticos de las especies *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* sumado a las bacterias que actúan como catalizadores alimentan a las plantas con el CO₂ y este reciprocamente vuelve el O₂ mediante la fotosíntesis por las raíces. El material filtrante, la grava y el tiempo de retención también fueron importantes para alcanzar una remoción de 92%, muy similar al comportamiento de DBO₅ (Lahora, 2014), así mismo la relación DQO/DBO en el efluente es igual a 2.26.

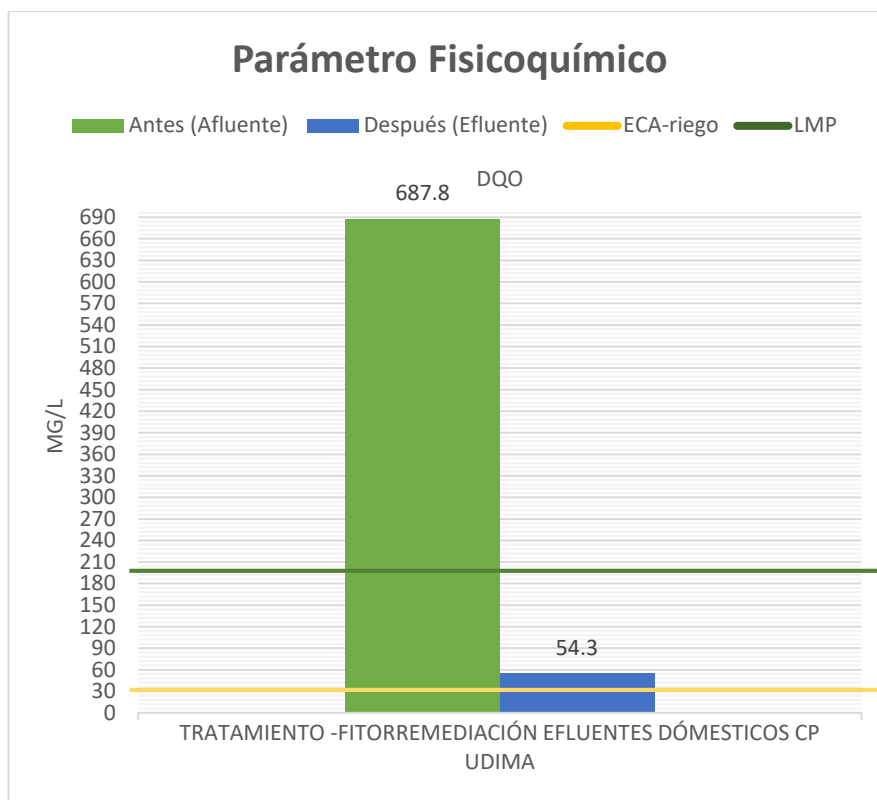


Figura 25. Resultados de DQO comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

En cuanto a la comparación con la normativa ambiental, la DQO está muy relacionada con la DBO₅ tanto en la eficiencia de remoción como al comparar con los límites máximos permisibles son similares, en esta caso el efluente es cuatro veces menor que limite por lo que no hay problema para realizar la descarga y usar el tratamiento planteado. Sin embargo si se requiere reutilizar para riego agrícola no es posible pues no cumple con los estándares de calidad ambiental (40 mg/l) estipulados por el sector ambiental nacional.

4.3.6 Nitrógeno Amoniacal.

Los resultados muestran en el afluente una fuerte concentración de nitrógeno en forma de nitrógeno amoniacal con un valor igual a 56.9 mg/l-NH₃, dicho valor de acuerdo a Metcalf & Eddy (1995) lo caracteriza como una concentración más que fuerte, eso significa que ingresa al tratamiento una concentración elevada de orina (procedentes de proteínas y aminoácidos)

que a la vez es fuente de fertilizante para las especies vegetales, y un gran reductor de oxígeno disuelto, debido a la oxidación de la materia orgánica nitrogenada.

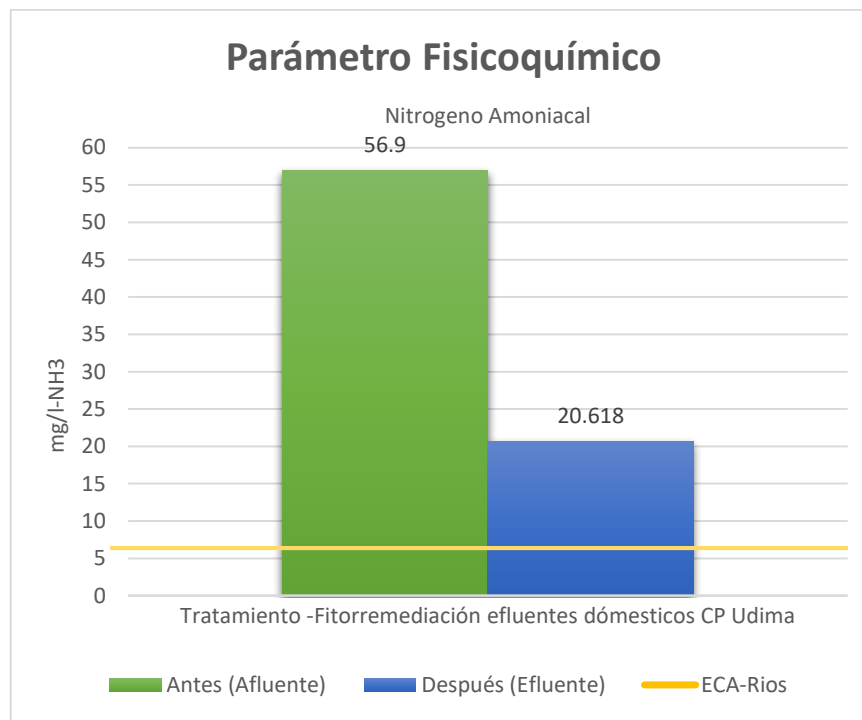


Figura 26. Resultados de Nitrógeno Amoniacal comparado con el ECA-categoría 4 después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

Según los resultados de la figura 26 post (efluente) se puede ver que los humedales artificial mediante fitorremediación que a través de intercambio iónico reducen el nitrógeno amoniacal a 20.6 mg/l-NH₃ de dos formas, mediante la nitrificación que usa a las bacterias *Nitrobacter* para descomponerlo en nitrato (NO₃) que seguidamente es tomado por las raíces como un nutriente esencial o Nitrato, y mediante la desnitrificación a través de bacilus, pseudomonas presentes en agua residual vuelve a la atmósfera en forma de N₂, y tomado nuevamente por las plantas, sin embargo como el medio acuático se mostró en su fase inicial aerobio y mayormente anaerobio, este último de acuerdo a Londoño & Marín (2009) no permitió que se logre reducir el total de nitrógeno amoniacal, pues se ha alcanzado una remoción mediamente alta de un 64%, Silva V. J. (2002) señala que solo un 10% se remueve de forma directa con las especies vegetales y siempre se necesita cosecharlas. El sustrato

también influye en la adsorción débil del ion amonio, que depende mucho del pH y la concentración del mismo en el agua (Peña & Infante, 2012). Existe un estudio de humedales verticales, demuestra que el nitrógeno amoniacal representa el 87% del nitrógeno total en agua residual doméstica (Rodríguez, Reyes, Jácome, Molina, & Suárez, 2013).

En cuanto corresponde al análisis del cumplimiento normativo, el sector ambiental exige el cumplimiento del nitrógeno amoniacal a 6.8 mg/l-NH₃ para cuerpos de aguas como ríos, que en este caso no cumpliría, sin embargo es discutible pues el muestreo es para LMP y no para ECA pues la muestra no ha sido tomada a la distancia que recomienda el protocolo después de la mezcla. En consecuencia se necesita conocer el caudal de la quebrada para estimar el ECA real.

4.3.7 Temperatura.

El monitoreo del afluente se hizo in situ mediante un termómetro de alcohol vertical, llegando a medir 18°C con una diferencia de 7°C más que la temperatura ambiental. Esto debido a la actividad microbiana en el agua residual doméstica (Gómez, 2017), así mismo dicha temperatura es tolerable para las especies vegetales, *Zantedeschia aethiopica* que crece óptimamente entre 12° y 23° (Gualli & Orlandomena, 2017) y *Eichhornia crassipes* de 15° a 18° (Cruz, y otros, 2016), cuando la temperatura está por debajo de los 10° C puede detener o afectar el crecimiento vegetativo (Gómez, 2017).

El resultado del efluente (después del tratamiento) según la figura 25 muestra que la temperatura del agua residual ha disminuido a 16°C, 2° menos que el afluente. La disminución de la temperatura en el agua ha sido influenciada por el factor climático, pues la región natural Quechua suele tener sensación fría por las noches como un cambio brusco con respecto a la temperatura del día (MINEDU, 2015), el muestreo in situ se realizó a horas 6:30 am cuando la

noche recién terminaba, los 11°C de temperatura ambiental explica el porqué de la disminución.

La temperatura está en un rango aceptable científicamente para la descarga del efluente a cuerpos de agua, garantizando la vida acuática en los cuerpos receptores. En cuanto a los resultados de remoción de DBO₅, N-NH₃ y SST en la fitorremediación se puede ver que la temperatura ha influenciado significativamente en la remoción, así mismo como en el crecimiento de las macrofitas, además de acuerdo a Martínez, Murcia, & Suarez (2015) cuando la temperatura tiene cambios descendientes los rizomas y estolones permiten la supervivencia de la planta.

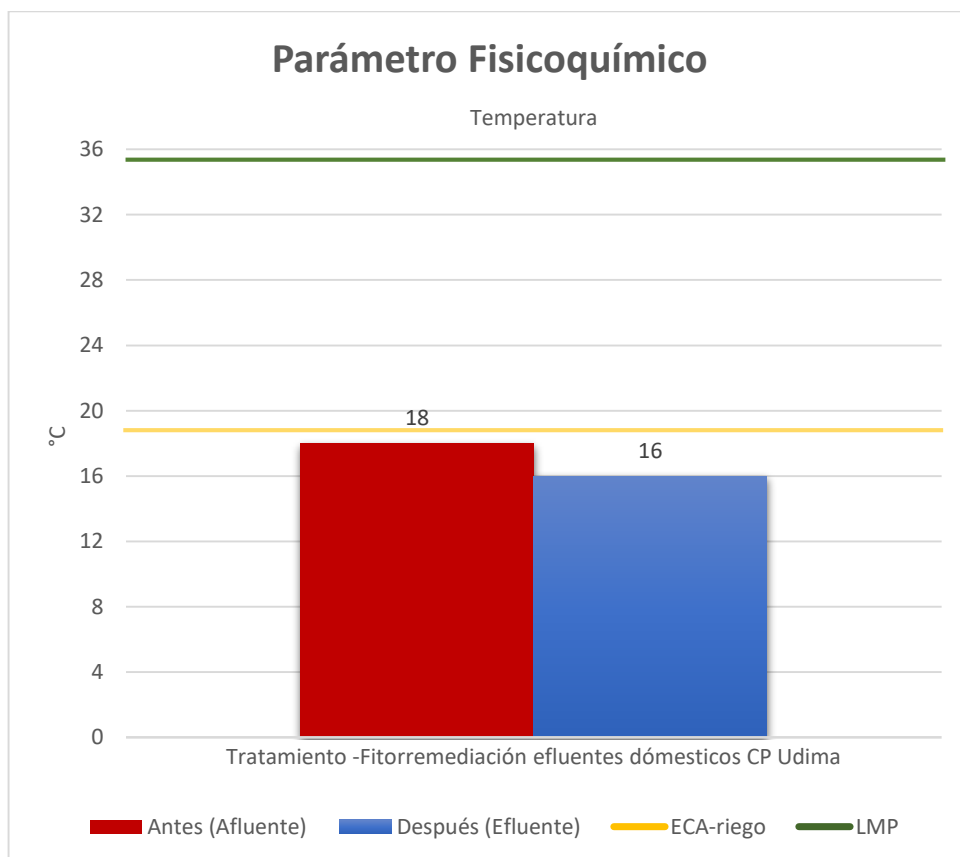


Figura 27. Resultados de Temperatura comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

La normativa peruana en el sector saneamiento indica que es permisible la descarga hasta los 35°C, por lo que el cumplimiento es positivo. En el caso de que se requiera reaprovechar el efluente para regadío en la agricultura el sector ambiental mediante el ECA, aclara que no debería sobrepasar una variación mayor o menor de 3° grados con referencia a la temperatura promedio anual, que según lo registrado por el SENAMHI es igual a 15.46°C y comparado con lo antes mencionado se encuentra que está dentro del rango, por lo que con respecto a este parámetro para el ECA riego también se cumple.

4.3.8 Potencial de hidrogeno.

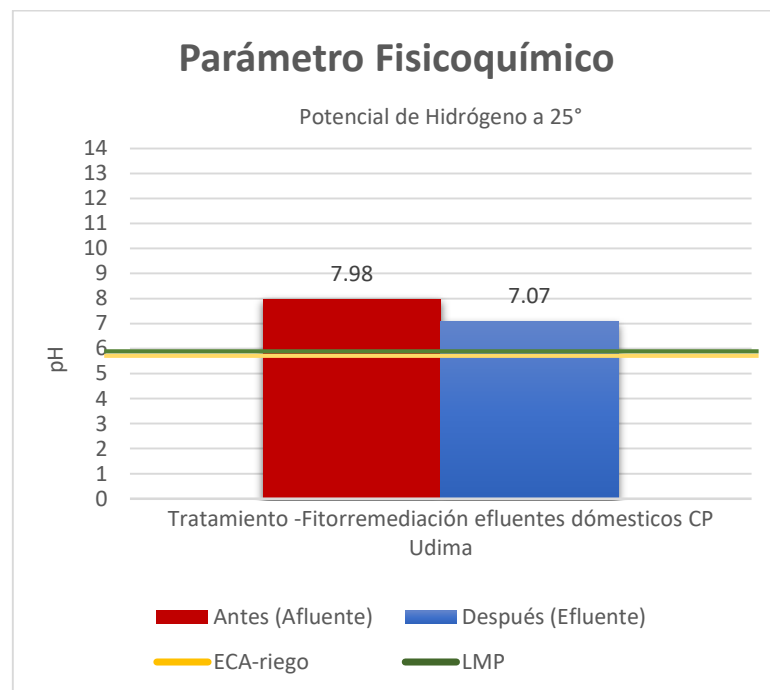


Figura 28. Resultados de pH comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

El pH (potencial de hidrógeno) cuyo resultado del afluente (antes) es igual a 7.98 pH, es ligeramente de un medio básico o alcalino (8-14). Así mismo el efluente (después) muestra una optimización gracias al tratamiento de fitorremediación, ya que su valor es neutral igual a 7.07 pH, este resultado muestra que el pH ha sido favorable para la disponibilidad de nutrientes a los microorganismos que permiten controlar los procesos biológicos como la fotosíntesis y

respiración vegetal de las macrofitas en los humedales artificiales, la reducción se explica por la muerte mínima de vegetales desprendidos presentes en la fitorremediación, ya que tienden acidificar el pH por lo que han reducido el pH básico en mínima parte del afluente, acercando a la neutralidad.

La normativa ambiental del sector ambiental y del sector saneamiento indican un rango de pH a favor entre 6.5 a 8.5. Es decir tanto para el LMP y ECA riego cumplen significativamente con el parámetro de potencial de hidrogeno (pH), por lo que en cuanto a este parámetro es posible reutilizar el efluente para regadío y para hacer la descarga aun cuerpo de agua, además de ser un buen indicador del desempeño del tratamiento de las aguas residuales domésticas.

4.3.9 Sólidos Suspendidos Totales.

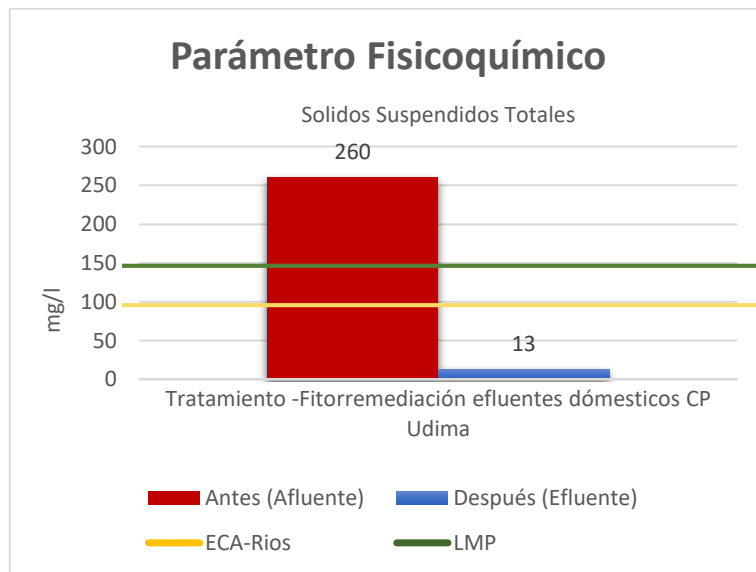


Figura 29. Resultados de Sólidos suspendidos totales comparado con el LMP y ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

Al comparar el afluente con el efluente en cuantos a los sólidos suspendidos totales se encuentra cambios notorios de valores iguales a 260 mg/l y 13 mg/l respectivamente, esto significa que gracias a la fitorremediación de los humedales en serie mediante el medio filtrante

(la grava) y la rizósfera de la *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* que han alcanzado alta densidad han retenido los sólidos suspendidos totales para que actúen como soporte para las bacterias degradadoras, evitando incluso el taponamiento de los conductos, la eutrofización, el aumento de turbidez y color.

Mediante la fitoextracción y rizofiltración se logró absorber y filtrar alto porcentaje de sólidos suspendidos de la columna de agua usando la especie *Eichhornia crassipes* en el humedal de flujo superficial.

El total el nivel de eficiencia alcanzado por el tratamiento de fitorremediación para SST resulto muy alta llegando a remover el 95% del total después de haber ingresado al tratamiento.

En cuanto al cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) el efluente arroja un valor muy por debajo de los 150 mg/l, 11.5 veces menor que lo permitido; así mismo en los cuerpos de agua para ríos solo se permite 100mg/l, lo cual el presente tratamiento permite que el efluente cumple eficientemente, siendo aunque el punto de monitoreo no es el correcto, sin embargo garantiza su cumplimiento desde su descarga.

4.3.10 Oxígeno Disuelto.

Los resultados de 1.02 en el afluente y 0.4 en el efluente nos indican que existe un muy bajo nivel de oxígeno disuelto en el agua residual doméstica. El agotamiento del oxígeno de acuerdo a Alarcón, Ricardo, Zurita, & Garcia (2018) se debe a la baja difusión y a la velocidad con la que el oxígeno es consumido por los microorganismos y las raíces para remover DQO, DBO₅, Nitrógeno Amoniacal, además está afectado por la cantidad de conductividad y los grados de temperatura, la difusión en el agua del O₂ es 10'000 veces mas lento que un suelo bien drenado y el suministro de oxígeno se reduce instantaneamente cuando las raíces son inundadas. Apesar del poco nivel de oxígeno, este permite la tolerancia aparente de las especies. Pues la vegetación y las bacterias dependen del oxígeno disuelto para su crecimiento

y su reproducción. Los resultados muestran que el sistema de fitorremediación fue prioritariamente anaerobio, la tabla 13 muestra que de acuerdo a la condición de los valores como del afluente nos muestra que el sistema de fitorremediación trabajó a una condición Hipoxia donde organismos aerobios y especies sensibles desaparecen (Rodríguez L. D., 2018).

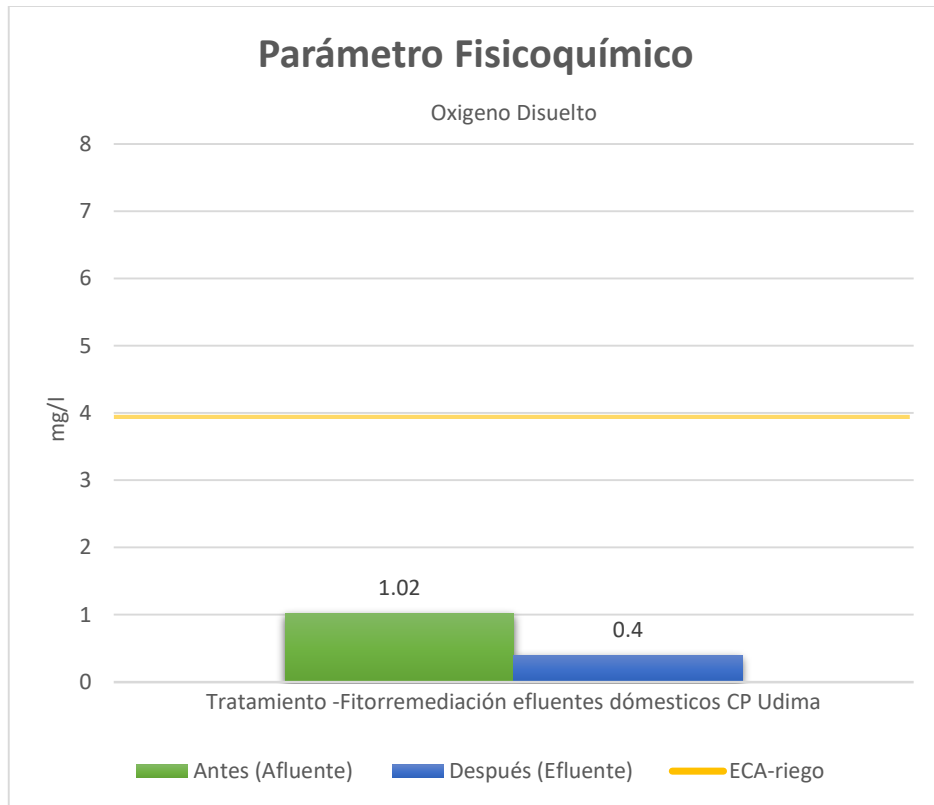


Figura 30. Resultados de Oxígeno Disuelto comparado con el ECA-riego (categoría 3) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

Aunque los resultados muestran ausencia de oxígeno se registró normal crecimiento de las macrofitas, probablemente se deba a lo señalado por Martínez, Murcia, & Suárez (2015) que hace alusión a las plantas flotantes pues estas hacen un intercambio gaseoso en forma directa con la atmósfera. Así mismo debido a la densidad elevada de la *Eichhornia crassipes* no se aportó oxigenación a las aguas por la escasa superficie de contacto, facilitando la degradación anaerobia.

El efluente de descarga es netamente anóxica aunque la normativa del sector saneamiento no contempla un límite es posible realizar su descarga a un cuerpo de agua, sin embargo para la reutilización del efluente para riego el sector ambiental exige que la concentración de mayor o igual a 4 mg/l, por lo tanto en este parámetro se restringe el uso por no cumplir el ECA riego.

4.3.11 Turbidez.

La turbidez es un buen indicador del proceso de tratamiento de agua residual domestica mediante la fitorremediación, el afluente presenta un alto valor de turbiedad igual 314.4, sin embargo el efluente ha sido reducido a 11.93 mg/l. Es decir el material en suspensión, las partículas coloidales e incluso el color ha sido removido fuertemente gracias al tiempo de retención que influye altamente en los procesos físicos y la acción del medio filtrante y los mecanismos de fitorremediación de las macrofitas *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes*. El resultado del efluente permite tener una buena percepción óptica el tratamiento planteado así como agregar una unidad de tratamiento convencional para desinfectar el agua residual doméstica (< 100 UNT- ECA) en caso se requiera, con la garantía de evitar la generación compuestos trihalometanos y tricloroaminas, sub productos cancerígenos para la salud. Martinez, Murcia, & Suarez (2015) aclaran, cuando se requiere menor o igual a 1 UNT es necesario aplicar los procesos de tratamiento, coagulación, sedimentación y filtración.

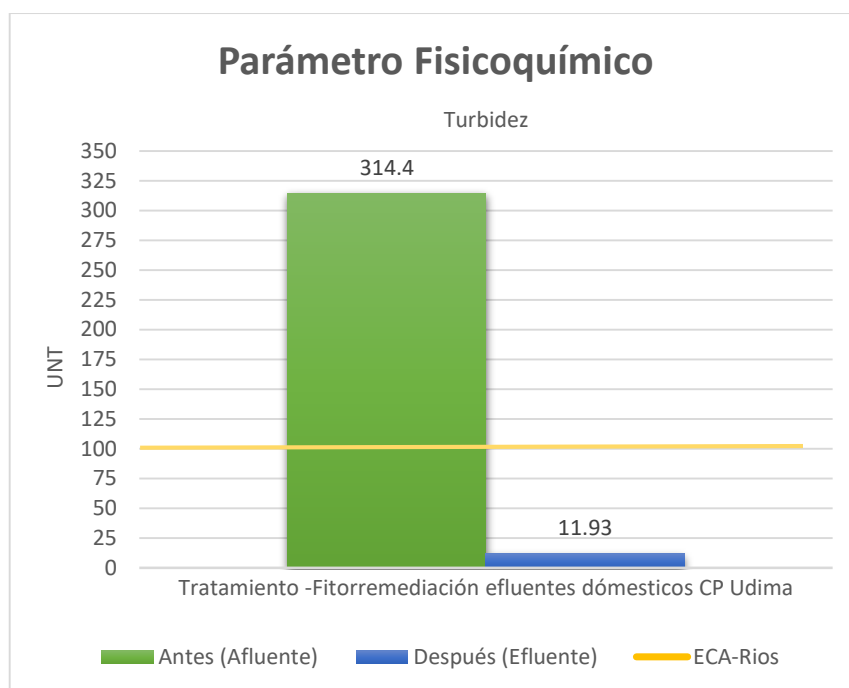


Figura 31. Resultados de Turbidez comparado con el ECA-rios (categoría 1-B) después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

De acuerdo a Hurtado (2016) cuando el rango de turbiedad obtenida es de 10 a 15 UNT la eficiencia se considera buena, en la presente investigación el resultado del efluente está en dicho rango, así mismo de acuerdo al cálculo el resultado de eficiencia de remoción es muy buena para la Turbiedad igual a 96%, mejor a lo conseguido por Guio & Toscano (2018) que mediante *Eichhornia crassipes* logró un 70% de remoción. Así mismo la remoción de turbiedad tiene una alta correlación con la DBO₅, en la universidad de ingeniería de Lima se encontró altos niveles de remoción en turbidez y una diferencia significativa en cuanto a la remoción de DBO₅ en presencia de las macrofitas con respecto a un tratamiento sin macrofitas (Martinez, Murcia, & Suarez, 2015), es decir es un indicador de calidad.

La normativa en el sector saneamiento no restringe en este parámetro para la descarga en cuerpos de agua de las PTAR domésticas, sin embargo el sector ambiental recomienda no sobrepasar los 100 UNT para aguas superficiales destinadas para recreación, es decir es posible verter el efluente tratado a dichos cuerpos de agua.

4.3.12 Coliformes Termotolerantes.

La presencia de Coliformes Termotolerantes siempre han significado un problema fuerte de resolver, en esta investigación el afluente tiene una concentración de $9.2 \times 10^7/100\text{ml}$, representa un indicador alto de contaminación fecal, sin embargo mediante el uso de las macrofitas *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en los humedales artificiales se ha logrado reducir a $1.7 \times 10^6/100\text{ml}$, es decir se ha reducido una (1) unidad de logarítmica para Coliformes Termotolerantes mediante el proceso de rizo filtración de las plantas ya mencionadas, lo que significa una baja remoción.

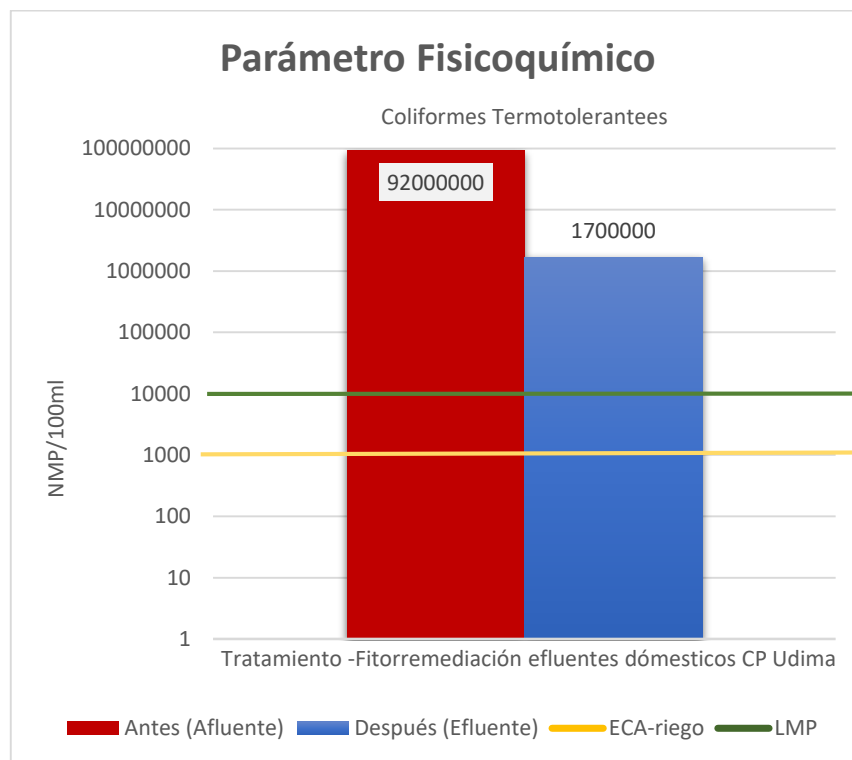


Figura 32. Resultados de Coliformes Termotolerantes comparado con el LMP y ECA-riego después de aplicado el tratamiento de fitorremediación usando las especies vegetales palustres y acuáticas flotantes.

Las plantas mediante sus raíces adsorben metales y aumentan el pH del agua, eso crea un ambiente de destrucción de algunos microorganismos patógenos, sin embargo de acuerdo a Corpas & Herrera (2012) los Coliformes Termotolerantes soportan hasta 45° de temperatura y

solo se alcanzó de 18° a 16° en el sistema de fitorremediación, por tal las remociones no pueden ser altas, además se recomienda que la grava sea muy fina para hacer la función de biofiltración.

El porcentaje de eficiencia de remoción en términos de números naturales es del 98% (aparentemente alto), sin embargo el cálculo correcto debería ser en forma logarítmica por la extensión de la cifra, en estos términos la remoción alcanza un 22% (es baja), esto significa que la grava mediante la biofiltración, el tiempo de retención y los antibióticos de la rizósfera han propiciado esta cantidad de muerte natural de los Coliformes Termotolerantes.

Para cumplir los LMP de descarga se requiere que el efluente reduzca dos (2) unidades logarítmicas más de lo que se ha reducido y tres (3) unidades logarítmicas más en caso se requiera reaprovechar el efluente para riego agrícola o bebida de animales (ECA), en este sentido el tratamiento mediante fitorremediación no es óptima pues no cumple con los estándares microbiológicos.

4.4 Análisis de eficiencia de remoción del sistema de fitorremediación con especies vegetales en el tratamiento de aguas residuales domesticas de la región natural Quechua

Para el análisis de eficiencia de remoción de los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos se considerará los rangos de la tabla 18, de 0 a 25% bajo nivel de eficiencia, de 25% a 50% nivel medio de eficiencia, buen nivel de eficiencia de 50% a 75% y muy buen nivel de eficiencia de 75% a 100%.

Tabla 18. *Tabla de análisis de eficiencia de remoción*

Rango	Unidad	Nivel de Eficiencia
0-25	%	Bajo
25-50	%	Medio
50-75	%	Bueno
75-100	%	Muy Bueno

Por lo tanto se puede inducir que el sistema de tratamiento mediante la fitorremediación ha alcanzado un nivel en eficiencia de remoción bajo para el parámetro microbiológico en Coliformes Termotolerantes (20%) en la zona región natural Quechua de Cajamarca.

El color es el único parámetro físico que alcanzó un nivel medio de acuerdo al rango de eficiencia de remoción con un valor de 34%.

En el rango de buen nivel de eficiencia de remoción se encuentran los contaminantes fisicoquímicos de Conductividad, Nitrógeno Amoniacal, dichos parámetros alcanzaron remociones de 59% y 64%.

Finalmente se tiene a los indicadores de contaminación de Aceites y Grasas, DBO5, DQO, Solidos Suspendidos Totales y Turbidez cuyos valores según la tabla 19 alcanzaron el rango de muy buen nivel de eficiencia de remoción, pues el sistema de tratamiento implementado mediante la fitorremediación utilizando las macrofitas *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* alcanzaron remociones de 76%, 95%, 92%, 95% y 96% respectivamente, en un tiempo de retención total de 6.3 días, para un caudal de 5ml/s.

Tabla 19. *Resultados de eficiencia de remoción mediante el sistema de fitorremediación*

Parámetro	Afluente	Efluente	Remoción (%)
Fisicoquímicos			
Aceites y Grasas (mg/l)	19.8	4.8	76
Color (b) (pt/Co)	56.4	37.5	34
Conductividad a 25°(us/cm)	1186.5	491.5	59
DBO5 (mg/l)	437	24	95
DQO (mg/l)	687.8	54.3	92
Nitrógeno Amoniacal (mg/l-NH3)	56.9	20.618	64
Solidos Suspendidos Totales (mg/l)	260	13	95
Turbidez (UNT)	314.4	11.93	96
Microbiológicos			
Coliformes Termotolerantes(NMP/100ml)	92000000	1700000	22

El porcentaje de remoción general al hacer una comparación entre todos los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos removidos por el sistema de fitorremediación en serie a través del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y humedal artificial de flujo superficial en el rango de niveles alcanza una buena eficiencia de remoción con un promedio igual al 70%.

4.5 Resultados estadísticos del estudio

4.5.1 Contraste de prueba de normalidad

Dado que el estudio presenta un tamaño de muestras considerable para realizar el análisis de normalidad entonces se procede a desarrollarlo a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, siendo los resultados como se muestra en la tabla 20. Como el sig = 0.000 < 0.05 entonces se demuestra que los datos no son normales.

Tabla 20. Pruebas de normalidad de datos

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	S ig.	Estadísti co	gl	Si g.
Afluente (Antes)	0,530	12	0 ,000	0,327	12	0, 000
Efluente (Despues)	0,530	12	0 ,000	0,327	12	0, 000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Se concluye que los datos deben ser analizados a través de una prueba estadística no paramétrica; siendo esta la Prueba de wilcoxon ya que se desea realizar la comparación de dos muestras relacionadas.

4.5.2 Análisis estadístico a través de Prueba de wilcoxon.

4.5.2.1 Estadística de prueba:

A la luz de las suposiciones, la estadística de prueba aprobada de wilcoxon es:

$$T = \text{Min}[T(+), T(-)]$$

Donde determina que T se ajusta a una distribución NORMAL por esto permite utilizar la siguiente formula:

$$Z = \frac{T - n(n + 1)/4}{\sqrt{n(n + 1)(2n + 1)/24}}$$

4.5.2.2 Distribución de la estadística de prueba:

La estadística de prueba es la prueba de Wilcoxon, considerando a Z el valor condicionante para determinar si se acepta o rechaza Ho1, bajo las siguientes condiciones detalla a continuación en la tabla 21:

4.5.2.3 Estadística utilizando SPSS 25.0

Los resultados de la tabla 22, muestra que los rango promedio para ambos grupos, tanto en el afluente (antes) y efluente (después), analizados fueron los positivos, corroborando con la suma de los rangos; de esta manera seleccionando el valor mínimo se obtiene el valor 5.00 en los grupo de estudio, afirmando por consiguiente que existe diferencia significativa entre los valores analizado “antes” de la aplicación del sistema de fitorremediación sobre el “después” en ambos grupos para eficiencia de remoción.

Tabla 21. *Análisis de rangos de la prueba wilcoxon de la eficiencia de remoción*

		Rangos		
		N	Rango promedio	Suma de rangos
Después - antes	Rangos negativos	10 ^a	7,3	73,00
	Rangos positivos	2 ^b	2,50	5,00
	Empates	0 ^c		
	Total	12		

a. Despues < antes

b. Despues > antes

c. Despues = antes

Consecuentemente los resultados de la prueba de Wilcoxon mostrados en la tabla 23 demuestra que los resultados del diseño fueron favorables respecto al antes sobre el después de la aplicación del sistema de fitorremediación, de manera que el estudio fue eficiente, gracias que el sistema de fitorremediación mejoró las parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con p<0.05 el caso.

Tabla 22. Prueba estadística de Wilcoxon para el sistema de fitorremediación^a

Prueba Wilcoxon	Sistema de fitorremediación
Z	-2,667 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	0,008

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

4.5.2.4 Regla de decisión

Como el valor del sig = 0,008 < α = 0,05 para el nivel de diseño, se decide rechazar la hipótesis nula a favor de la alternativa.

4.5.2.5 Conclusión

El sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* son eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- En base al caudal máximo horario del afluente igual a 5 ml/s en cada nivel de tratamiento mediante la ecuación de Kickuth se logró diseñar el sistema de fitorremediación piloto mediante las especies *Zantedeschia Aethiopica* y *Eichhornia Crassipes*, encontrando el área superficial y altura adecuada para cada humedal artificial que mantuvieron a las especies palustre y acuática en la región natural Quechua-Cajamarca, con tiempos de retención alcanzados igual a 3.1 días para el humedal de flujo subsuperficial horizontal y 3.2 días para el humedal de flujo superficial durante 3 meses de ejecución.
- Los parámetros de los LMP, siete en total, fueron evaluados, además por las características del afluente otros parámetros fueron evaluados para el análisis de ECA (Categoría 3 y 4). Los parámetros fisicoquímicos elegidos para ser evaluados antes y después de aplicar el sistema de fitorremediación fueron Aceites y Grasas, DBO₅, DQO, SST, Color, Turbidez, pH, N-NH₃, T°, Conductividad, OD y Coliformes Termotolerantes como parámetro microbiológico, puesto que los LMP y el ECA exigen su cumplimiento. En todos los parámetros a excepción del pH, OD y T°, se removi6 los valores del efluente con respecto al afluente.
- Al comparar y analizar los siete parámetros exigidos por el sector saneamiento para el cumplimiento de los LMP, se encontró que el único parámetro que no cumple es Coliformes Termotolerantes. Entre tanto para el sector ambiental que exige los ECA (categoría 3 y 4) cumplen en Aceites y Grasas, Color, Conductividad, temperatura, pH, SST, turbidez, y aquellos que no cumplen son N-NH₃, DBO₅, DQO, OD y Coliformes termotolerantes, no cumplen con los ECA. Por ser la DBO₅, DQO y Coliformes termotolerantes los parámetros básicos referenciales del cumplimiento de los LMP y

ECA (categoría 3 y 4), su autorización para descarga del efluente a otros cuerpos debería restringirse así como limitar su reuso para fines agrícolas y bebidas de animales.

- El sistema de fitorremediación en general alcanzó una eficiencia de remoción alta para Aceites y grasas 76%, DBO₅ 95%, DQO 92%, SST 95% y turbidez 96%. Seguidamente alcanzaron remociones de 64% y 59% para Nitrógeno amoniacal y Conductividad. Finalmente los valores más bajos de remoción fueron color con 34% y Coliformes Termotolerantes con 22%.
- Mediante la prueba de Wilcoxon, se encontró que el sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* son eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca, con un 70%, lo que significa un nivel bueno de remoción. Sin embargo los parámetros que no lograron con la remoción para el cumplimiento del LMP y ECA, nos determina que hace falta la implementación de un tratamiento primario para obtener mayores resultados y una eficiencia esperada para lograr que la autorización de la instalación de este sistema de tal forma que permita su normal descarga del efluente o reuso del mismo para el riego agrícola.

5.2 Recomendaciones

- El tratamiento de fitorremediación ha alcanzado altas remociones para DBO y DQO, no sucede lo mismo para OD y Coliformes termotolerantes, la DBO y DQO solo necesitan una remoción de 3% más para alcanzar el cumplimiento de los ECAs, en cambio para Coliformes termotolerantes se requiere remover 50% más de lo que ya se removi6. En el caso de OD no se requiere disminuir si no aumentar a unidades de mayor o igual a 4 mgO₂/l pues sus valores son inversamente proporcionales y relacionados a los valores de DBO y DQO. Se recomienda realizar investigaciones que permitan optimizar la remoci6n de dichos parámetros, como la evaluaci6n del medio filtrante, pues seg6n Cubillos, Garc6a, Giraldo, & Paredes (2014) la arena tiene mejores resultados de eficiencia que el uso de grava, as6 mismo Pe6a & Infante (2012) mostro que una grava de menor tama6o present6 mejor eficiencia de remoci6n por que presenta mayor 6rea de contacto 6til para los microorganismos.
- As6 mismo, debido a que los humedales solamente se aplican a tratamiento secundario y terciarios, se recomienda aplicar un tratamiento primario (lagunas anaerobias, reactor UASB, o tanques Imhoff) para alcanzar la remoci6n faltante de DBO y DQO que permita el cumplimiento del ECA riego, e incluso permitir6 reducir un 20% m6s de Coliformes termotolerantes.
- Para asegurar el cumplimiento de Coliformes termotolerantes en el ECA riego, se recomienda a6adir una anidad de desinfecci6n como tratamiento avanzado, con un dise6o que permita suficiente aireaci6n para el cumplimiento del ECA en OD.
- Esta investiguen sobre el sistema de fitorremediaci6n para el tratamiento de aguas residuales dom6sticas es un precedente para centros poblados de la regi6n natural quechua en el Per6, por lo que se recomienda evaluar e investigar en centros poblados como Cusco, Ayacucho, Abancay, Huancayo, Huaraz, cuyas caracter6sticas ambientales y culturales son similares,

donde no existe saneamiento básico o están funcionando incorrectamente los sistemas de tratamiento.

- Se recomienda que las especies *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* se utilicen en tratamientos de aguas residuales mediante fitorremediación en centro poblados del Perú que tengan las mismas características de la región natural Quechua.
- Finalmente se recomienda monitorear en épocas de estiaje y lluvia para la implementación de un sistema completo por parte de la municipalidad.

Referencias

- Agudelo, L. M., Macias, K. I., & Suárez, A. J. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 2, núm. 1, 57-60.
- Águila, R. (2011). *Diagnóstico del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas residuales "El Calvillo"*. Bogotá: Insituto del Agua (INAGUA).
- Alarcón, H. M., Ricardo, H. H., Zurita, F., & Garcia, P. A. (2018). Humedales de tratamiento: alternativa de tratamiento de aguas residuales aplicable en América Latina. *Pontificia Universidad Javeriana*, 33-44.
- APHA, A. P., AWWA, A. W., & WPCF, W. P. (1992). *Métodos normalizados para el analisis de aguas potables y residuales*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos,S.A.
- Arboleda, V. J. (1992). *Teoría y práctica de la Purificación del agua*. Colombia: Ed. Acodal.
- Arias, S., Betancur, F. y., Gomez, G., Salazar, J. P., & Hernández, M. L. (2010). Phytoremediation with artificial wetlands for the treatment of swine wastewater. *Dialnet*, 14-24.
- Borrero L, A. J. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Trabajo final (Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental)*. Barcelona: Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Brack, A., & Mendiola, C. (2004). *Ecología del Perú*. Lima: Editorial Bruño.
- Caceda, S. M. (2016). Coliformes termotolerantes y Escherichia Coli en relación a la temperatura, pH y demanda bioquímica de oxígeno en la playa de Puerto Malabigo. Noviembre 2015-Abril 2016. *Universidad Nacional de Trujillo*, 1-40.
- Castañeda, S. L. (2016). Revisión de principales investigaciones realizadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Latinoamérica. *Ecosistemas*, 83-89.

- Corrales, D. A., & Rodríguez, M. L. (2014). Remoción de patógenos con humedales construidos para aprovechamiento de aguas lluvias en la Pontificia Universidad Javeriana. *Pontificia Universidad Javeriana*, 8-53.
- Corpas, J. E., & Herrera, O. F. (2012). Reducción de Coliformes y Escherichia coli en un sistema residual lácteo mediante microorganismos benéficos. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 67-76.
- Cruz, M., Carbo, N., Gonzales, J. L., Tito, G. M., Depaz, K., Torres, S., . . . Quispe, W. (2016). Tratamiento De Las Aguas De La Laguna “Mansión” Mediante La Especie Eichhorniacrassipes, Para El Riego De Áreas Verdes En La Universidad Peruana Unión . *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 53-65.
- Cubillos, J., García, J. D., Giraldo, M. F., & Paredes, D. (2014). Efecto de la carga hidráulica y medio filtrante sobre la eficiencia de remoción de contaminantes en humedales construidos sembrados con Guadua angustifolia kunth. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 48-51.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- Díaz, P. H., & Caballero, S. J. (2015). Simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales y su análisis Técnico - económico. *Universidad Nacional de La Amazonía Peruana*, 1-106.
- ENDES, E. D. (2018). *Cajamarca: Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2017*. Lima: INEI.
- FAO, F. a. (02 de Febrero de 2007). *GUÍA DE CAMPO DE LOS CULTIVOS ANDINOS*. Lima, Lima, Perú: Millenium Digital srl.

- Figuroa, G. J. (2002). Evaluación de *Zantedeschia aethiopica* como planta emergente en pantanos de flujo horizontal de subsuperficie para el tratamiento de aguas residuales. *Universidad Autónoma de Chiapas*, 1-6.
- Fronza, M. (24 de Diciembre de 2018). *Plantas Palustres*. Obtenido de <https://www.fronza.com/plantas-palustres>
- Gallegos, J. (1999). Evaluación Alcatraz (*Zantedeschia Aethiopica*) como Planta Emergente en un Pantano Tipo Flujo Horizontal de Subssuperficie para el Tratamiento de Aguas Residuales de una Granja Porcícola. *Universidad Virtual del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*, 1-50.
- Giraldo, G. G. (1995). *Manual de Análisis de Aguas* . Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Goicochea, D. (2014). Influencia de los materiales filtrantes, PVC corrugado y grava, en la remoción de materia orgánica, en humedales artificiales. *Universidad Nacional de Ingeniería*, 1-138.
- Gómez, L. Y. (2017). *Evaluación de la eficiencia de Humedales artificiales verticales empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas residuales servidas*. Lima: Universidad Agraria la Molina.
- Gonzales, A. M. (12 de Diciembre de 2018). *Morfología de plantas vasculares*. Obtenido de Adaptaciones del cromo: http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema3/tema3_4hidrofita.htm
- Gualli, C. A., & Orlandomena, M. A. (2017). Evaluación de los efectos ecotoxicológicos del cromo hexavalente, mediante bioensayos en *Zantedeschia aethiopica* y *Helianthus annuus*. *Escuela Superior Politécnica del CHIMBORAZO*, 1-131.

- Guio, A. D., & Toscano, H. J. (2018). Fitoremediación en humedal artificial con *Eichhornia crassipes* para remoción de materia orgánica en muestras de agua del canal albina en Bogotá. 1-30.
- Hernández, M. E. (2012). Los humedales y su papel para limpiar el agua y recuperar su calidad. *Instituto de Ecología*, 1-6.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Journal of Chemical Information and Modeling.
- Huané, J. L., & Rivera, R. R. (2014). Evaluación de la adición de un inóculo para estimular a escala de laboratorio la biodegradación de efluentes grasos. *Universidad Nacional de San Marcos*, 1-59.
- Hurtado, G. G. (2016). Evaluación de los procesos de operación de la planta de tratamiento para potabilización de agua Villasantana ubicada en la ciudad de Pereira, Risaralda. *Universidad Nacional de Colombia*, 1-122.
- INEI, I. N. (01 de Septiembre de 2018). *Directorio Nacional de Centros Poblados 2017*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1541/index.htm
- INEI, I. N. (01 de Octubre de 2018). *Inei*. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1558/
- INEI, I. N. (1 de Mayo de 2018). *Sistema de Información Geográfica* . Obtenido de Sistema de Consulta de Centros Poblados: <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>
- Isan, A. (24 de Noviembre de 2017). Fitorremediación: plantas que limpian el suelo, agua o aire. Madrid, España.
- Jamanca, G. R. (2017). Eficiencia en la remoción de nutrientes (n, p) y sólidos suspendidos empleando la especie *Zantedeschia aethiopica* (cartucho) aplicado en el humedal de

- flujo horizontal piloto; en el centro poblado tuyu ruri-marcará. *UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO*, 1-147.
- Jaramillo, M. d., & Flores, E. D. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemnaminor* (Lentejete de agua) y *Echirnia cassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. *Universidad Politécnica Salesiana*, 1-76.
- Lahora, A. (2014). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de los Gallardos (Almería). *Gestión de Aguas del Levante Almeriense, S.A.*, 99-112.
- Lallana, V. H. (1997). LAS PLANTAS ACUATICAS DEL RIO PARANA Su importancia en el ecosistema. *V.H. Lallana*, 1-3.
- Lara, J. (1999). Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. *Universidad Politécnica de Cataluña*, 1-122.
- Larrea, M. J., Rojas, B. M., Romeu, Á. B., Rojas, H. N., & Heydrich, P. M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC Ciencias biológicas*, 1-25.
- Llagas, W., & Guadalupe, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 85-96.
- Londoño, C. L., & Marín, V. C. (2009). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 1-70.
- López, E. M. (2018). *Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito el alto, talara piura*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

- Luna, P. V., & Aburto, C. S. (2013). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP Rev.Esp.Cienc.Quím.Biol.*, 32-55.
- Martelo, J., & Lara, J. B. (2012). Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado de arte. *Ingeniería y Ciencia, ing. cienc.*, 221-243.
- Martinez, R. M., Murcia, I. D., & Suarez, B. Y. (2015). Evaluación de un sistema de biorremediación de aguas residuales porcícolas en la finca el porvenir, vereda Suncunchoque, sector la laja, Ubate – Cundinamarca, para su reutilización con fines agroambientales. *Cooperación Universitaria Minuto de Dios*, 1-127.
- Mendoza, G. Y. (2013). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). *Memorias III Seminario Internacional de Ciencias Ambientales SUE-Caribe*, 39-41.
- Mentaberry, A. (2011). *Fitorremediación*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Metcalf, & Eddy, I. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Mexico: Mc Graw Hill.
- MINEDU, M. d. (2015). *Orientaciones para el uso de las unidades didácticas y sesiones de aprendizaje Educación Primaria-Dotación 2016*. Lima: Corporación Gráfica Navarrete S.A.
- MOOC Agrotech. (10 de Agosto de 2015). *Laboratorio para Análisis de Agua. Conductividad*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ESGvoWKdwAc>
- Montoya, J., Ceballos, L., Casas, J., & Morató, J. (2010). Estudio comparativo de la remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial usando tres especies de macrófitas. *Revista EIA*, 75-84.

- Moreno, R. H. (19 de Octubre de 2017). *Universitat Politècnica de València - UPV*. Obtenido de Determinación del nitrógeno total en suelos por Kjeldahl | | UPV: <https://www.youtube.com/watch?v=uhnOjvFJDN0>
- MVCS, M. d. (Setiembre de 2013). *Programa Nacional de Saneamiento Rural - PNSR*. Obtenido de http://pnsr.vivienda.gob.pe/portal/wp-content/files_mf/PUBLICACIONES%20INSTITUCIONALES/Folleto.pdf
- MVCS, M. d. (2013). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domesticas o Municipales*. Lima: El Peruano.
- Noyola, A., Morgan, J. M., & Patricia, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: Guia de apoyo para ciudades medianas y pequeñas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- 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). *Universidad Peruana Unión*, 1-150.
- ONU-Habitat, O. d. (2008). *Manual de humedales artificiales*. Nepal: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.
- Palta, G. H., & Morales, S. V. (2013). Fitodepuración de aguas residuales domésticas con Poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 57-65.
- Pérez, G. C., León, R. M., & Delgadillo, G. G. (2013). *Tratamiento de aguas: Manual de laboratorio*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Polo, R., Flores, J., Huamán, M., Gregorio, C., & Poma, C. (2017). Efectividad de UBS (unidad básica de saneamiento) empleando humedales artificiales con especies nativas en la depuración de aguas residuales en el centro experimental Tuyu Ruri – Marcara, para

- reúso de agua en riego año 2016-2017. *Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo*, 1-62.
- Poveda, R. A. (2014). Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industriales de uso agrícola previamente caracterizada en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua. *Universidad Técnica de Ambato*, 1-86.
- Pulgar, V. J. (06 de Febrero de 2018). Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis(Nova serie)*, 1-21. Obtenido de <http://journals.openedition.org/terrabrasilis/1027>
- Quintero, C. J. (2014). Pilot Assessment Flow Wetlands and Type Horizontal Surface ilot Assessment Flow Wetlands and Type Horizontal Surface. *Ingenium*, 85-111.
- Rabat, J., & Trapote, A. (2016). Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración. *Universidad de Alicante*, 1-112.
- Raymundo, J. R. (2017). Modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el centro poblado La Punta- Sapallanga. *Universidad Nacional del Centro del Perú*, 1-193.
- Riccio, Y. L. (2010). Remoción de aceites y grasas de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por electrocoagulación, a nivel de laboratorio. *Universidad Nacional de Trujillo*, 1-45.
- Rincón, J., & Millán, N. (2013). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales de la universidad libre. *Universidad Libre*, 1-68.
- RNE, R. N. (2006). Planta de tratamiento de aguas residuales. *Norma OS.090*.
- Rodríguez, L. D. (17 de Mayo de 2018). *Calidad de Agua*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=1tBbSqYqtPQ&index=1&list=PLZ0UFciczQg7e-dnr8NQ7tFGeYx9TUe8GC>

- Sánchez, Q. J. (2011). El uso de trampas de grasa para disminuir la carga contaminante de grasas y aceites amittida a la red municipal de drenaje . *Instituto Politécnico Nacional*, 1-44.
- Sardiñas, P. O., & Perez, C. A. (2004). Determinación de nitrógeno amoniacoal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato . *Rev Cubana Hig Epidemiol v.42 n.2* , 1-4.
- Schmidt-Mumm, U. (1998). Vegetación acuática y palustre de la sabana de bogotá y plano del río ubaté: ecología y taxonomía de la flora acuática y semiacuática. *Universidad Nacional de Colombia*, 1-180.
- SIAR, S. d. (05 de Mayo de 2018). *Indicadores Nacionales sobre Agua y saneamiento*. Obtenido de siar.regioncajamarca.gob.pe: <http://siar.regioncajamarca.gob.pe/indicador/1483>
- Sifuentes, D. I. (28 de Enero de 2019). LAS REGIONES GEOGRÁFICAS DEL PERÚ: Evolución de criterios para su clasificación. Lima, Lima, Perú. Obtenido de <http://peru.inka.free.fr>.
- Silva, A. S., & Zamora, H. D. (2005). *Humedales Artificiales*. Manizales: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Silván, R., Ocaña, G., Marguilis, R., Barajas, J., & Cerino, M. (2016). Evaluation of free flow and subsurface wetlands in wastewater pollutant removal using different vegetation macrophyte species. *Interciencia*, 40-47.
- Silva, V. J. (2002). *Humedales Construidos*. Universidad del Valle: Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente.
- SUNASS, & GIZ. (2016). *Diagnostico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de operación de las entidades prestadoras de servicios de servicios de saneamiento*. Lima.

- Urrutia, E. J., Sánchez, G. P., Pauchard, C. A., & Hauenstein, B. E. (2017). *Flora acuática y palustre introducida en Chile*. Concepción: Laboratorio de Invasiones Biológicas, Universidad de Concepción.
- Valderrama, L. T. (1996). Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, *limnobium laevigatum* y *eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agro industriales. *VNIVERSITAS SCIENTIARUM*, 84-97.
- Vanegas, C., & Reyes, R. (2017). Carga superficial máxima en lagunas de estabilización facultativas de nicaragua. *Nexo Revista Científica*, 1-18.
- Velásquez, J. (1994). *Plantas acuaticas vasculares de Venezuela*. Caracas: Anauco Ediciones, C.A.
- Velazco, R. J. (2016). Conocimiento geográfico y el desarrollo sostenible de los estudiantes de 5to de secundaria en la institución educativa ricardo palma, ate, 2016. *Uniersidad Peruana Unión* , 1-116.
- Villanueva, L., & Jance, J. (2017). Mejoramiento de la eficiencia de remoción de materia orgánica y coliformes termotolerantes en la PTAR del Distrito de Huachac-Chupaca. *Universidad Nacional del Centro del Perú*, 1-86.
- Zurita, F., Rojas, D., Carreón, A., & Gutiérrez, M. (2015). Desinfección de aguas residuales en tres sistemas de humedales construidos híbridos. *INTERCIENCIA*, 1-8.

Anexos

Anexo 1. Resultados del afluente y efluente con el Sistema de fitorremediación

	LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA	
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084		

INFORME DE ENSAYO N° IE 0119017

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO			
---------------------------	--	--	--

Razon Social/Usuario	ERLIN NUÑEZ MORALES		
Dirección	C.P. Udima/Santa Cruz - Cajamarca.		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	erlinmorales@upcu.edu.pe

DATOS DE LA MUESTRA			
---------------------	--	--	--

Fecha del Muestreo	11.01.19	Hora de Muestreo	06:15 a 06:40
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestras	02	N° Frascos x muestra	06
Ensayos solicitados	Fisicoquímicos y Biológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal usuario		
Procedencia de la Muestra:	UDIMA - SANTA CRUZ.		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
----------------------------------	--	--	--

N° Contrato	SC - 013	Cadena de Custodia	CC - 017-19
Fecha y Hora de Recepción	11.01.19	15:05	Inicio de Ensayo 11.01.19 16:15
Reporte Final de Resultados	18.01.19	15:25	

(*) DATOS DE CAMPO							
--------------------	--	--	--	--	--	--	--

Parámetro de Campo	Unidad	AFLUENT	EFLUENTE	-	-	-	-
(*) Temperatura (T)	°C	18.0	16.0	-	-	-	-

Nota: Parámetro de campo fueron proporcionados por el usuario.

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

 Rónald A. Córdova Cuba
 RESPONSABLE DE LA CALIDAD
 C.R.P. - 4992



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0119017

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			AFLUENTE	EFLUENTE	-	-	-	-
Código Laboratorio			0119017-01	0119017-02	-	-	-	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	Doméstica	-	-	-	-
Localización de la Muestra			S 06°48'30.6" w 079°05'28.6"	S 06°48'30.8" w 079°05'28.7"	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Turbidez	NTU	0.09	314.4	11.93	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	7.98	7.07	-	-	-	-
Conductividad a 25°C	µS/cm	NA	1186.5	491.5	-	-	-	-
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.5	260.0	13.0	-	-	-	-
(*) Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	1.02	<LCM	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	437.0	24.0	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	687.8	54.3	-	-	-	-
(*) Color Verdadero	UC	4.0	56.4	37.5	-	-	-	-
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	0.017	56.9	16.9	-	-	-	-
(*) Aceites y Grasas	mg/L	2.5	19.8	4.8	-	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

ENSAYOS			BIOLÓGICOS					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	92 x 10 ⁶	17 x 10 ⁶	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.8 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra.


 Ing. Geo. Marino de la Cruz Sarmiento
 Analista Responsable de Química
 CIP: 119544



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N°
IE 0119017

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Turbidez	NTU	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130. B. 23rd Ed. 2017. Turbidity. Nephelometric Method
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method
Sólidos Suspended Totales	mg/l	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A.D. 22nd Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C. 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B. 22nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D. 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Color Verdadero	UC	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C. 23rd Ed. 2017. Color. Spectrophotometric Single Wavelength Method (Proposed)
Nitrógeno Amoniacal	mgN-NH ₃ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ D. 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Ammonia). Ammonia-Selective Electrode Method
Aceites y Grasas	mg/l	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

- [*] Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- [*] Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el simbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



Anexo 2. Cámara de rejillas actual como pre tratamiento



Foto 1. Llegada del afluente domestico



Foto 2. Camara de rejillas



Foto 3. Vista panorámica de la cámara de rejillas

Anexo 3. Captación del afluente, ubicación del proyecto

	
<p>Foto 4. Vertedero triangular</p>	<p>Foto 5. Foto panorámica del vertedero y punto de captación.</p>
	
<p>Foto 6. Panorámica del vertedero y área del proyecto</p>	<p>Foto 7. Trazo del área de trabajo</p>
	
<p>Foto 8. Preparación del terreno</p>	<p>Foto 9. Lugar de ejecución</p>



Foto 10. Inicio del llenado de la captación



Foto 11. Llenado de captación



Foto 12. Verificación de pendiente y conducción del afluente

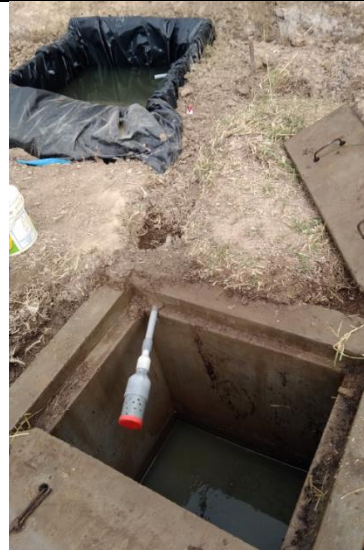


Foto 13. de un filtro de tubo de 2"



Foto 14. Rebose del caudal



Foto 15. Desvio del caudal de rebose



Foto 16. Cantera de sustrato (Grava)



Foto 17. Movidad para acarreo



Foto 18. Herramientas para el cargio y acarreo



Foto 19. Maestro de obra y corte de madera para el soporte del material infiltrante

Anexo 4. Zonas de influencia



Foto 20. Población de diseño



Foto 21. Fuentes de agua para bebidas de animales agua arriba del proyecto.



Foto 22. Pastos mejorados por el uso del efluente domésticos



Foto 23. Captación del efluente en terreno agrícola, ganadero.



Foto 24. Presencia de ganado vacuno en los pastos mejorados por el efluente

Anexo 5. PTAR Actual, lagunas de estabilización y caudal máximo.

Calculo de caudal maximo horario de la PTAR existente

Datos:

- Dotación de agua: 180 l/hab/dia
- Variación maxima anual: 2.5
- Caudal de contribución de la población: 80% dotación.

$$Q_p = \frac{180 \times 1200 \times 0.80}{24 \times 60 \times 60} = 2.00 \text{ l/s}$$

$$Q_{mh} = \frac{180 \times 1200 \times 0.80 \times 2.5}{24 \times 60 \times 60} = 5.00 \text{ l/s}$$



Foto 25. 1ra Laguna de estabilización para tratamiento primario



Foto 26. 2da Laguna de estabilización para tratamiento secundario



Foto 27. Muestreo del Efluente de las lagunas de Estabilización

Anexo 6. Construcción del tanque sedimentador



Foto 28. Excavación del tanque sedimentador



Foto 29. Medición de profundidad de laguna anaerobia igual a 80 cm.



Foto 30. Infraestructura de soporte para la impermeabilización y laguna anaerobia



Foto 31. Perforación para ingreso de tubería que traslada el afluente



Foto 32. Colocación del material impermeable doble capa mediante plástico sintético moldeable



Foto 33. Inicio de prueba hidrostática



Foto 34. Finalización de prueba hidrostática



Foto 35. Ingreso de afluente crudo e inicio de funcionamiento

Anexo 7. Construcción del Humedal Artificial Subsuperficial Horizontal



Foto 36. Excavación del Humedal y colocación de la infraestructura de soporte.



Foto 37. Nivelación de la infraestructura y determinación de la pendiente del agua



Foto 38. Prueba hidrostática del humedal



Foto 39. Instalación de la tubería de recolección.



Foto 40. Llenado del sustrato



Foto 41. Llenado del sustrato



Foto 42. Siembra del Cartucho de Agua



Foto 43. Crecimiento del cartucho de agua



Foto 44. Adaptación del cartucho de agua



Foto 45. Florecimiento del cartucho de agua



Foto 46. Funcionamiento del Humedal



Foto 47. Medición de la altura del Cartucho de agua

Anexo 8. Construcción del Humedales Artificial Superficial



Foto 48. Montaje del humedal superficial

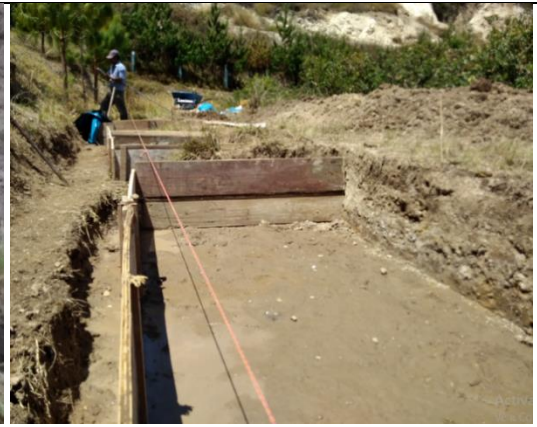


Foto 49. Nivelacion del humedal



Foto 50. Colocación de doble capa de plástico para la infiltración



Foto 51. Prueba hidrostática del humedal de flujo superficial



Foto 51. Prueba hidrostática general



Foto 52. Prueba de funcionamiento



Foto 53. Origen del Jacinto de Agua



Foto 54. Siembra del Jacinto de agua



Foto 55. Siembra del Jacinto de agua y descarga del efluente



Foto 56. Crecimiento del Jacinto de Agua



Foto 57. Medida del crecimiento



Foto 58. Medida del crecimiento

Anexo 9. Muestreo in Situ



Foto 59. Inicio de muestreo



Foto 60. Coordenada GPS en el afluente



Foto 61. Toma de temperatura in situ



Foto 62. Toma de las muestras

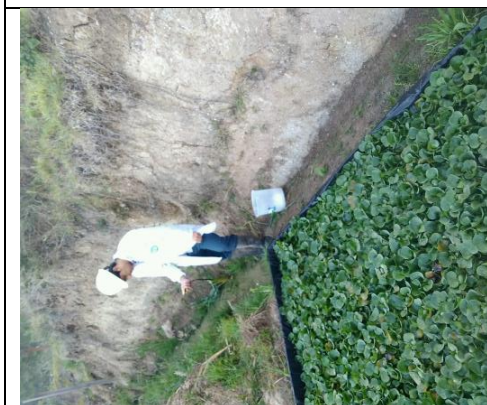


Foto 63. Muestreo en el Efluente



Foto 64. Coordenadas GPS en el Efluente



Foto 65. Toma de temperatura en el efluente



Foto 66. Muestreo de nitrogeno amoniacal



Foto 67. Muestreo parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el efluente



Foto 68. Muestreo de Oxígeno disuelto , el precipitado blanco ya nos indica la ausencia de oxígeno



Foto 69. Culer con todas las muestras



Foto70. Color del efluente y afluente



Foto 71. Llenado de la cadena de custodia

“AÑO DEL DIÁLOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL”

CONSTANCIA DE AUTORIZACIÓN.

Yo, Prof. **ORLANDO REQUEJO PAZ**, identificado con DNI. N° **28108990**, con domicilio real en la Calle 28 de Julio – Barrio San Cristóbal del Centro Poblado de Udimá, distrito de Catache, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en calidad de Autorizante como Presidente del Comité de Usuarios de Agua y Saneamiento Local.

Expresamente **Autorizo** al: Bachiller en Ingeniería Ambiental: **ERLIN NÚÑEZ MORALES**, identificado con Código Universitario **201122738** y DNI. N° **77571325**, para realizar la ejecución del proyecto de tesis “Eficiencia del Sistema de tratamiento en serie BIOHAFSSHAFL en la remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de aguas residuales domésticas en el Centro Poblado Udimá” en las áreas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, ubicadas en la parte baja de la localidad; en el período de los meses de septiembre de 2018 a marzo de 2019.

Para que así conste y surta los efectos oportunos, firmo la presente, en el Centro Poblado de Udimá, a los 15 días del mes de agosto de 2018.



Prof. Orlando Requejo Paz
Presidente del Comité de Usuarios
de Agua y Saneamiento Local – C. P. Udimá

Anexo 11. Sistema de fitorremediación



Foto 72. Vista panorámica del sistema de tratamiento mediante fitorremediación



Foto 73. Vista panorámica del sistema de tratamiento mediante fitorremediación



Foto 74. Vista panorámica del sistema de tratamiento mediante fitorremediación

Anexo 12. Equipos de protección personal



Foto 75. Equipos de monitoreo y de protección personal

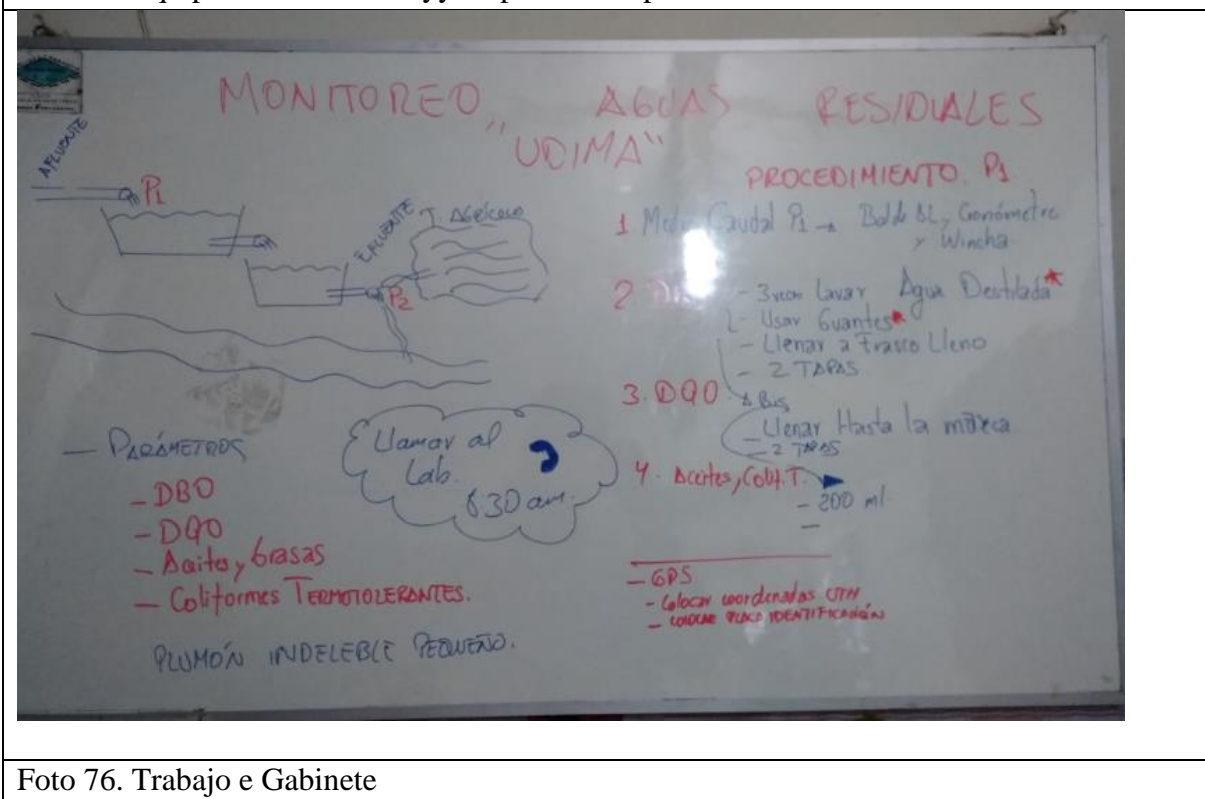
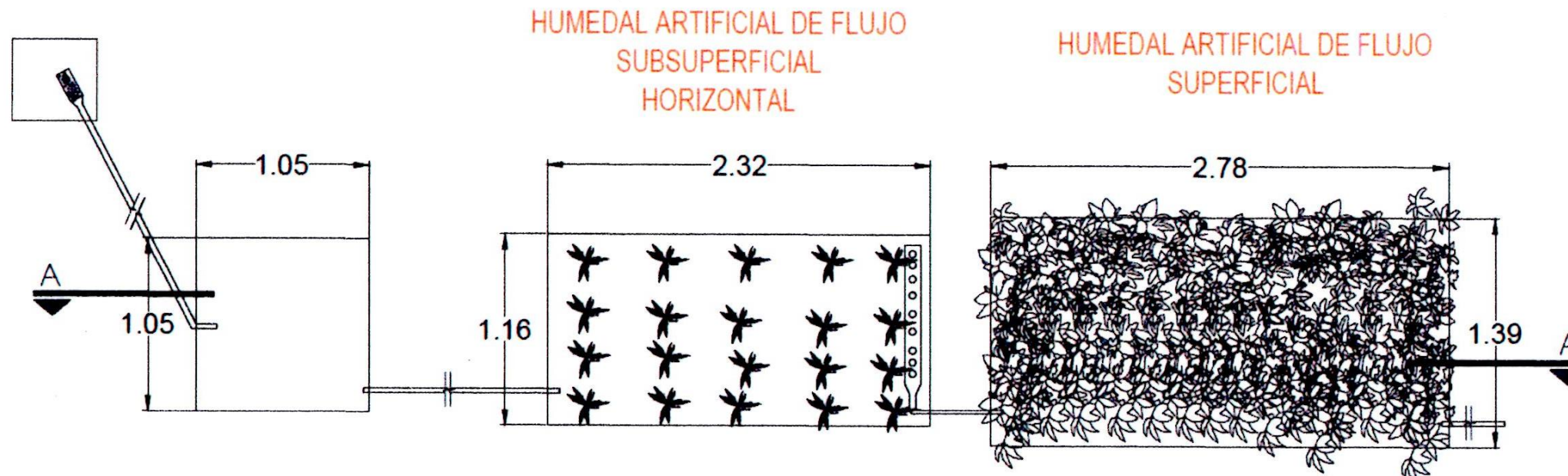
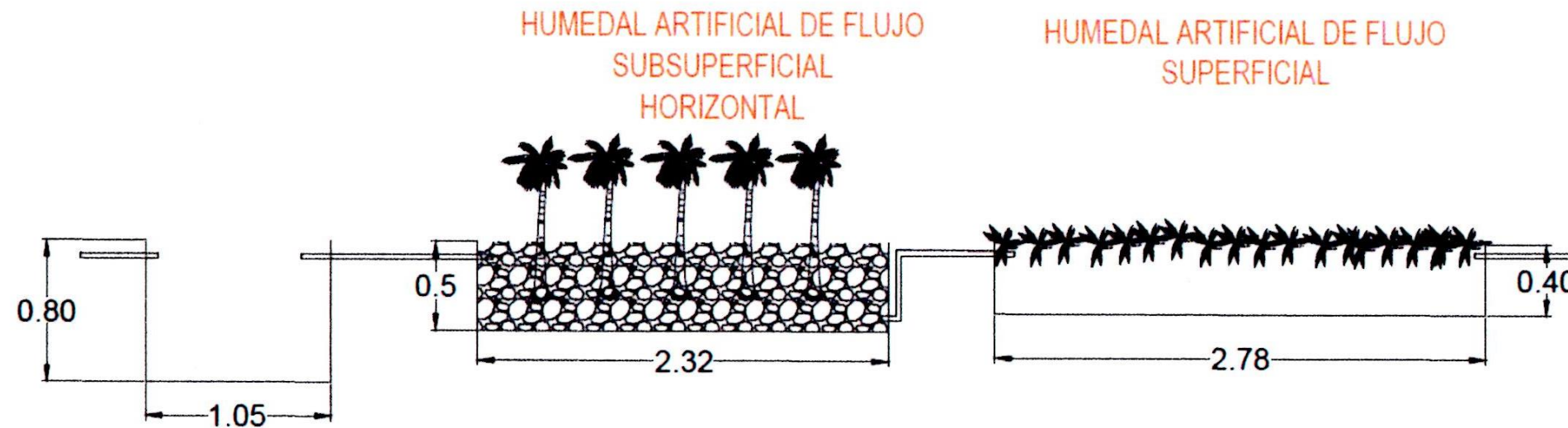


Foto 76. Trabajo e Gabinete



PLANTA - SISTEMA DE FITOREMEDIACIÓN



CORTE A - A



Ubicación
CP. Udima - Cajamarca

PROYECTO
Evaluación de la eficiencia del Sistema de Fitorremediación mediante las especies *Palustre flotante*, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua - Cajamarca

ASESORES
Mg. Nemiya Saboya Ríos
Mg. Milda Cruz Huaranga

laminas
PLANTA GENERAL

Bach.
Erlin Nuñez M.
Escala
Indicada
fecha
Abril 2019

Nº laminas
A-1

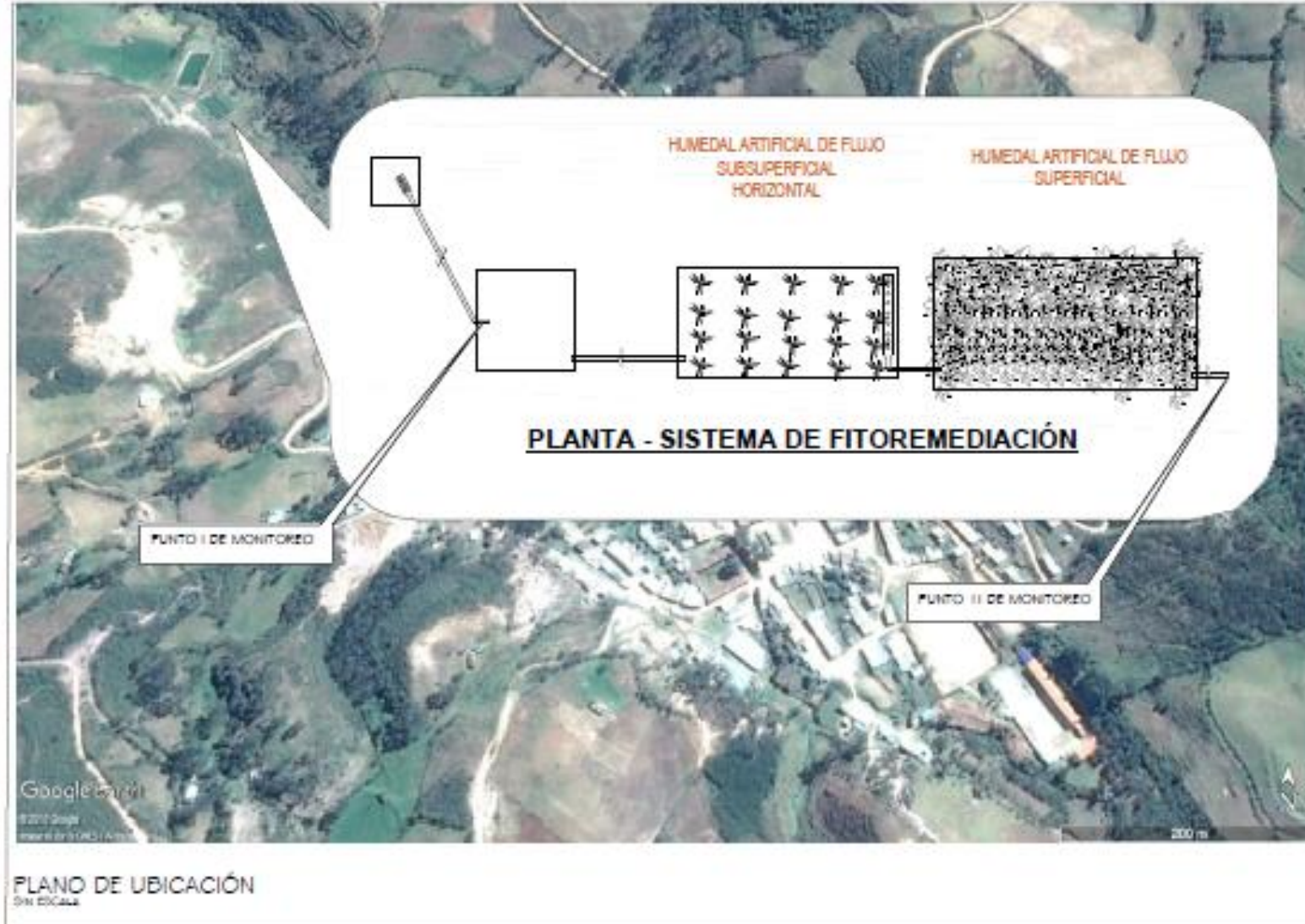
Anexo 15. Datos para el análisis de la prueba de hipótesis - Wilcoxon

	LMP Y/O (ECA)	Artificios		Diferencia (Antes)	Diferencia (Despues)
		Antes	Despues		
1 Aceites y Grasas	20	19.8	4.8	-0.2	-15.2
2 Color (b)	100	56.4	37.5	-43.6	-62.5
3 Conductividad a 25°	2500	1186.5	491.5	-1313.5	-2008.5
4 DBO5	100	437	24	337	-76
5 DQO	200	687.8	54.3	487.8	-145.7
6 Nitrogeno Amoniacal	6.96	56.9	20.618	49.94	13.658
7 Temperatura	35	18	16	-17	-19
8 Potencial de Hidrógeno a 25°	7.5	7.98	7.07	0.48	-0.43
9 Solidos Suspendidos Totales	150	260	13	110	-137
10 Oxigeno Disuelto	5	1.02	0.4	3.98	4.6
11 Coliformes Termotolerantes	10	92000	1700	91990	1690
12 Turbidez	100	314.4	11.93	214.4	-88.07



Los valores positivos es lo que falta remover para alcanzar el LMP o ECA
 Los valores negativos son los que cumplen el LMP o ECA e incluso cumplieron más de lo que se requiere.

Anexo 16. Puntos de monitoreo en la entrada y salida



UBICACION DEL PROYECTO

DIRECCION: CP. UDIMA
 DISTRITO: CATACHE
 PROVINCIA: SANTA CRUZ
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

COORDENADAS UTM PUNTO DE ENTRADA AFLUENTE			
PTO.	S	W	COTA
1	0.6° 40' 30.6"	79° 0.5' 20.6"	2288

COORDENADAS UTM PUNTO DE ENTRADA AFLUENTE			
PTO.	S	W	COTA
2	0.6° 40' 30.6"	79° 0.5' 20.6"	2287

PUNTOS DE MONITOREO DEL SISTEMA DE FITOREMEDIACION		 <p>UNIVERSIDAD PERUANA UNION The Institute of Excellence</p>
TESISISTA : RACH. ERLIN NUÑEZ MORALES		
INSTITUCION INGENIERIA AMBIENTAL - UNIVERSIDAD PERUANA UNION		
LOCALIZACION Y UBICACION		Unidad : U-01
ESCALA : INDICADA	FECHA : ABRIL 2019	