

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
SANITARIA**

**“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”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA SANITARIA**

PRESENTADO POR:

BACH. GINA ROCIO JAMANCA ROSALES

ASESOR:

ING. MARTÍN HUAMÁN CARRANZA

HUARAZ – ANCASH – PERÚ

DICIEMBRE - 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

Los Miembros del Jurado Evaluador que suscriben, reunidos para la Ceremonia de Sustentación de la Tesis, que presenta la Señorita Bachiller: **GINA ROCIO JAMANCA ROSALES**,

Tesis Titulada: **"EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES N, P Y SOLIDOS SUSPENDIDOS EMPLEANDO LA ESPECIE ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO) APLICADO EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL PILOTO; EN EL CENTRO POBLADO TUYU RURI - MARCARA"**

Y atendida a la exposición oral y oída las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

EN EL MENSAJE
CONSEJO FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
..... Aprobado

Con el calificativo de:

..... Dieciséis (16)

En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

INGENIERO SANITARIO

De conformidad con el Art. 113° numeral 113.9 del reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 554-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 432-2016-UNASAM del 28-12-2016).

Huaraz, 06 de Diciembre del 2017.


Bga. ROSARIO ADRIANA POLO SALAZAR
Presidenta


Ing. MARIO FÉLIX BEPAZ CELI
Secretario


Ing. JUDITH ISABEL FLORES AMBORNÓZ
Vocal


Ing. MARTÍN MIGUEL HUAMAN BARRANZA
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, a mis queridos padres y hermanos por su constante apoyo y especial comprensión.

A mi esposo y a mis amados hijos, les dedico con mucho amor y cariño, todo el esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis.

Gina Rocío Jamanca Rosales.

AGRADECIMIENTO

Expreso los más sinceros agradecimientos a las personas que de una u otra forma contribuyeron a que este trabajo de grado se culmine con éxito.

Al Ing. Kiko Depaz Celi, Director de escuela y a la Biol. Rosario Polo por su orientación en el desarrollo de la tesis.

Al Ing. Martin Huamán Carranza, asesor de la tesis por su orientación y supervisión durante el proceso de ejecución de la tesis.

A mi padre y a mi esposo, por el apoyo en la construcción e implementación del humedal y demás unidades necesarias para su funcionamiento.

A mis pequeños y amados hijos, por su aliento, entendimiento y paciencia que me tuvieron en la realización de esta meta profesional.

A la Ing. Eleuterio Zenobio Ospina Oré, por su orientación y guía en las etapas de implementación del humedal en el fundo y el cuidado que se requiere en su operatividad para fines de nuestra investigación.

Al personal que labora en el Fundo Experimental Tuyu-Ruri, por contribuir en el mantenimiento a la unidad que capta el efluente a tratar en esta investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE	iii
RELACIÓN DE CUADROS	viii
RELACIÓN DE FIGURAS	ix
RELACIÓN DE TABLAS	x
RELACIÓN DE GRÁFICOS	xii
RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT	xviii
<i>CAPITULO I</i>	xx
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVO	2
1.1.1. Objetivo general:	2
1.1.2. Objetivo específico:	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Formulación del Problema:	4
1.3. HIPÓTESIS	4
1.3.1. Operacionalización de las Variables:	5
<i>CAPITULO II</i>	7
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES	8
2.2. FUNDAMENTACIÓN DE LA TESIS	13
2.2.1. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.	13
2.2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	14
A. HUMEDALES ARTIFICIALES CONSTRUIDOS	14
B. CLASIFICACIÓN DE HUMEDAL ARTIFICIAL CONSTRUIDO	15

C.	COMPONENTES DEL HUMEDAL ARTIFICIAL CONSTRUIDO	17
1.	Agua residual:	18
2.	Medio granular:	19
3.	Estructuras de entrada y salida.	20
4.	Vegetación:	20
5.	Microorganismos (Biopelícula).	21
D.	MECANISMOS DE DEPURACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	22
1.	Remoción de Materia en Suspensión.....	23
2.	Remoción de Nitrógeno Total	24
3.	Remoción de Fósforo.	27
E.	PARÁMETROS FÍSICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.	28
1.	pH.....	28
2.	Temperatura	29
3.	Turbidez.	29
F.	IMPORTANCIA DE LA VEGETACIÓN PARA EL TRATAMIENTO EN AGUAS RESIDUALES EN HUMEDALES DE FLUJO HORIZONTAL.	30
1.	La Fito remediación:	30
2.	Mecanismos y fases de la fito remediación.	31
3.	Propagación de especies macrófitas en los Humedales.....	33
G.	ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO).....	36
2.2.3.	ÁMBITO DE ESTUDIO	38
2.2.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	41
CAPITULO III.....		44
III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		45
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN:.....		45
3.1.1.	SEGÚN EL PROPÓSITO Y APLICACIÓN:.....	45
3.1.2.	SEGÚN LA NATURALEZA, PROFUNDIDAD Y/O ALCANCE:	45

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA TESIS.	45
3.2.1. MÉTODOS:	45
1. Reconocimiento y evaluación visual de la zona de estudio.	47
2. Recolección de información: primaria, local y secundaria.	47
3. Selección y levantamiento topográfico de la zona donde se ubicará la planta de tratamiento piloto.	48
4. Caracterización del efluente a tratar.	49
5. Diseño hidráulico y estructural del humedal subsuperficial de flujo horizontal...	50
6. Construcción del humedal de flujo horizontal y de algunas unidades de la Planta Piloto.	53
7. Recolección, selección y pre adaptación de <i>Zantedeschia Aethiopica</i> (cartucho).	57
8. Habilitación e Instalación de los sustratos seleccionados al humedal.	57
9. Trasplante de la planta <i>Zantedeschia Aethiopica</i> -cartucho al humedal de flujo horizontal.	58
10. Puesta en Marcha de la Planta Piloto y Evaluación preliminar del Sistema.	59
11. Evaluación de la adaptación de la especie.	59
12. Toma de muestra del agua residual en la entrada y salida del humedal para su análisis en el laboratorio.	60
3.2.2. PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	61
3.2.3. DISEÑO ESTADÍSTICO: POBLACIÓN Y MUESTRA.	62
3.2.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN:	62
3.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN.	64
CAPITULO IV	67
4. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.	68
4.1. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL.	68
4.2. RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL SU SUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL Y ALGUNAS UNIDADES DE LA PLANTA PILOTO.	70
4.3. RESULTADOS DE PRE-ADAPTACIÓN Y TRASPLANTE DE LA ESPECIE <i>ZANTEDESCHIA AETHIOPICA</i> (CARTUCHO) A HUMEDAL.	70

4.4. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS:	72
4.4.1. PARÁMETROS FÍSICOS: pH, TEMPERATURA (°C) Y CAUDAL (l/s)	72
A. ETAPA DE PRE TRATAMIENTO:	72
B. ETAPA TRATAMIENTO.	75
4.4.2. PARÁMETROS QUÍMICOS (Po_4^{3-} -P, NH_4 -N, NO_3 y STS ⁻) ANALIZADOS EN EL LABORATORIO POR FECHA DE ANÁLISIS.	79
A. PRIMER ANÁLISIS (15 de Marzo del 2017).	79
B. SEGUNDO ANÁLISIS (30 de Marzo del 2017).....	81
C. TERCER ANÁLISIS (7 de Abril del 2017)	84
D. CUARTO ANÁLISIS (24 de Abril del 2017).	87
E. QUINTO ANÁLISIS (05 de Mayo del 2017)	89
4.4.3. RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE LOS NUTRIENTES (P Y N), STS Y SU EFICIENCIA DE REMOCIÓN.	92
A. RESULTADO DE CONCENTRACIÓN DE FOSFORO (P).....	92
B. RESULTADO DE CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO ([N])	94
C. RESULTADO DE CONCENTRACIÓN DE SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN (STS)	98
D. RESUMEN DE REMOCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES (NITRÓGENO Y FOSFORO) Y SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN (STS)	99
4.4.4. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS CON RESPECTO A LAS ECA (CATEGORÍA 4) DEL DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM	100
A. FOSFORO TOTAL ([P])(mg/l) COMPARATIVO CON ECA. CAT. 4.	100
B. NITRATOS ([NO ₃]) (mg/l) COMPARATIVO CON ECA CAT. 4.....	101
C. N-AMONICAL ([NH ₄ ⁺])(mg/l) COMPARATIVO CON ECA CAT. 4.....	102
D. SOLIDOS TOTALES DE SUSPENSIÓN (STS) SEGÚN ECA. CAT. 4	103
4.4.5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	104
A. CONCENTRACIÓN DE FOSFORO ([P]):	104
B. CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO ([N]):.....	106

C.	CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS ([STS]):	109
4.4.6.	RESULTADO DE LA ADAPTACIÓN DE LA ESPECIE <i>ZANTEDESCHIA AETHIOPICA</i> (<i>CARTUCHO</i>) A LAS CARACTERÍSTICAS DL PROCESO EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL.	111
CAPITULO V		114
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	115
5.1.	CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS HUMEDALES.	115
5.1.1.	TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA Y COMPORTAMIENTO DE CAUDAL	115
5.1.2.	TEMPERATURA	116
5.1.3.	pH.....	116
5.2.	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS NUTRIENTES POR PARTE DE LA ESPECIE <i>ZANTEDESCHIA AETHIOPICA</i> (<i>CARTUCHO</i>) EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL:	117
A.	REMOCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE FOSFORO (MG/L):	117
B.	REMOCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL(MG/L):	119
C.	REMOCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN (mg/l):.....	120
5.1	DISCUSIÓN DE RESULTADOS SOBRE EVALUACIÓN DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS:	122
A.	CONCENTRACIÓN DE FOSFORO ([P]):	122
B.	CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO ([N]):	122
C.	CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN ([STS]):	123
CAPITULO VI.....		124
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	125
6.1.	CONCLUSIONES:	125
6.2.	RECOMENDACIONES:	127
CAPITULO VII		128
7.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	129

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación de variable.....	5
Cuadro 2: Operacionalización de Variables	6
Cuadro 3: Carga de humedales construidos con flujo sub superficial horizontal según Vyzamal 2005	10
<i>Cuadro 4: Eficiencia de remoción de fósforo total en diferentes tipos de humedales ...</i>	<i>28</i>
Cuadro 5: Taxonomía de <i>Zantedeschia aethiopica</i> (cartucho).	38
Cuadro 6: Características de los medios para humedales.....	52
Cuadro 7: Parámetro analizado en el laboratorio y su método.....	63
Cuadro 8: Datos recolectados en campo y su instrumento de medición.	63
Cuadro 99 : Resumen de Cálculo Hidráulicos para el diseño del Humedal de flujo Horizontal.....	68
Cuadro 10: Pre adaptación de la especie <i>Zantedeschia Aethiopica</i>	70
Cuadro 11: Siembra de la especie <i>Zantedeschia Aethiopica</i> en el Humedal de Flujo Horizontal.....	71

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1: Humedal con flujo superficial.....	15
Figura 2: Humedal de flujo Sub superficial vertical.....	16
Figura 3: Humedal de flujo Sub superficial Horizontal.	17
Figura 4: Componentes del Humedal sub superficial de flujo horizontal,	18
Figura 5: Distribución de Material Granular en el Humedal de Flujo Horizontal.	19
Figura 6: Sistema típico de salida para un humedal construido.	20
Figura 7: Microorganismo presentes en el humedal de flujo Horizontal.	21
Figura 8: Proceso de Depuración de Humedales Artificiales.....	22
Figura 9: Evaluación de la concentración de materia en suspensión	23
Figura 10: Mecanismos de Remoción de Nitrógeno.	24
Figura 11: Ciclo del Fosforo.....	27
Figura 12: Fases de Fitoremediación de la planta.	33
Figura 13: Zantedeschia Aethiopica (Cartucho).....	36
Figura 14: Partes de la especie Zantedeschia Aethiopica (Cartucho)	37
Figura 15: Mapa de Ubicación Geográfica.....	40
Figura 16: Mapa de la ubicación de la Tesis, Centro Experimental Ecológico TUYU RURI - Provincia de Carhuaz.	40
Figura 17: Distribución de orificios en tubería de ingreso y salida del humedal.	52
Figura 18: Diagrama de Distribución normal para la aceptación de hipótesis	65
Figura 19: Plano diseñado en planta del Humedal de Flujo Horizontal.	69

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de Distribución t-student. Probabilidades acumuladas a diferentes grados de libertad.....	66
Tabla 2: Temperaturas durante la etapa de Pre Tratamiento.	72
Tabla 3: pH durante la etapa de adaptación.....	73
Tabla 4 : Aforo del Caudal durante la etapa de pre Tratamiento.	74
Tabla 5: Temperatura durante la etapa de Tratamiento.	75
Tabla 6: pH durante la etapa de Tratamiento.	76
Tabla 7: Turbiedad durante la etapa de tratamiento.	77
Tabla 8: Aforo del Caudal durante la etapa de tratamiento.....	78
Tabla 9: Concentración del Fosfato ($[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$) en el Primer Análisis:.....	79
Tabla 10: Concentración de STS ($[\text{STS}]$) en Primer Análisis.....	79
Tabla 11: Concentración de N-Amoniacal ($[\text{NH}_4\text{-N}]$) en el Primer Análisis.....	80
Tabla 12: Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Primer Análisis.....	81
Tabla 13: Concentración de Fosfato ($[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$) en el Segundo Análisis	81
Tabla 14: Concentración de STS ($[\text{STS}]$) en el segundo Análisis.....	82
Tabla 15: Comportamiento de N-Amoniacal ($[\text{NH}_4\text{-N}]$) en el Segundo Análisis.	83
Tabla 16: Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Segundo Análisis	83
Tabla 17: Concentración de Fosfato ($[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$) en el Tercer Análisis.....	84
Tabla 18: Concentración de STS ($[\text{STS}]$) en el Tercer Análisis.....	85
Tabla 19: Concentración de Nitrito ($[\text{NO}_2^-]$) en el Tercer Análisis.....	85
Tabla 20: Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Tercer Análisis.....	86
Tabla 21: Concentración de Fosfato ($[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$) en el Cuarto Análisis.....	87
Tabla 22: Concentración de STS ($[\text{STS}]$) en el Cuarto Análisis.....	87
Tabla 23: Concentración de N-Amoniacal ($[\text{NH}_4\text{-N}]$) en el Cuarto Análisis.....	88
Tabla 24:Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Cuarto Análisis.	89
Tabla 25: Concentración de Fosfato ($[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$) en el Quinto Análisis.....	89
Tabla 26: Concentración de STS ($[\text{STS}]$) en el Quinto Análisis.....	90
Tabla 27: Concentración de N-Amoniacal ($[\text{NH}_4\text{-N}]$) en el Cuarto Análisis.....	91
Tabla 28: Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Quinto Análisis	91
Tabla 29: [P] en $[\text{PO}_4\text{-P}]$ (mg/l)	92
Tabla 30: [N] en $[\text{NH}_4\text{-N}]$ vs Tiempo.....	94

Tabla 31: [N] en [NO ₃ -] vs Tiempo.....	95
Tabla 32: [N] en [NO ₂ -] vs Tiempo.....	96
Tabla 33: Concentración de Nitrógeno Total y su Porcentaje de Remoción.....	97
Tabla 34: Concentración de Sólidos Totales en suspensión vs tiempo	98
Tabla 35: Resumen de Porcentajes de Remoción de Fosforo, Nitrógeno y STS.	99
Tabla 36: Comparación de [P] con los LMP de la ECA– Cat. 4.....	100
Tabla 37: Comparación de [NO ₃ -] con los LMP de la ECA– Cat. 4.....	101
Tabla 38 : Comparación de [NH ₄ +]- con los LMP de la ECA– Cat. 4.....	102
Tabla 39: Comparación de [STS] con los LMP de la ECA – Cat. 4.	103
Tabla 40: Resultados de Remoción de Concentración de Fosforo.	104
Tabla 41: Resultados de Remoción de Concentración de Nitrógeno.	106
Tabla 42: Resultados de Remoción de Concentración de sólidos Totales en Suspensión.	109
Tabla 43: Resultados del incremento de la biomasa de la especie <i>Zantedeschia</i> <i>Aethiopica</i> (cartucho) y Comportamiento durante la etapa de tratamiento	112
Tabla 44: Tiempo de Retención Real en campo.....	115
Tabla 45: Resultados del comportamiento de la temperatura en la etapa de tratamiento.	116
Tabla 46: Resultados del comportamiento del pH en la etapa de tratamiento.	116
Tabla 47: Resultados de Remoción de Concentración de Fosforo.	117
Tabla 48: Resultados de Remoción de concentración de Nitrógeno	119
Tabla 49: Resultados de Remoción de concentración de Sólidos Totales en Suspensión.	121
Tabla 50: Caudal en lps, cada dos horas del afluente y efluente del Humedal.	149
Tabla 51: pH medido cada dos horas en el afluente y efluente del Humedal.....	151
Tabla 52: temperatura medido cada dos horas en el afluente y efluente del Humedal.	152

RELACIÓN DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperaturas durante la etapa de Pre Tratamiento.	72
Gráfico 2: pH con respecto al tiempo (etapa de pre tratamiento).....	73
Gráfico 3: Caudal vs Fecha de Aforo.	74
Gráfico 4 : Temperaturas promedias con respecto al tiempo.	75
Gráfico 5: pH promedio con respecto al tiempo.....	76
Gráfico 6: Turbiedad vs Tiempo.	77
Gráfico 7: Caudal vs Fecha de Aforo	78
Gráfico 8: Concentración de Fosfato en el Primer Análisis.	79
Gráfico 9: Concentración de STS en el Primer Análisis.	80
Gráfico 10: Concentración de N-Amoniacal en el Primer Análisis.	80
Gráfico 11: Concentración de Nitrato en el Primer Análisis.....	81
Gráfico 12: Concentración de Fosfato en el Segundo Análisis.	82
Gráfico 13: Concentración de STS en el Segundo Análisis.	82
Gráfico 14: Concentración de N-Amoniacal en el Segundo Análisis	83
Gráfico 15: Concentración de Nitrato en el Segundo Análisis.....	84
Gráfico 16: Concentración de Fosfato en el Tercer Análisis.....	84
Gráfico 17: Concentración de STS en el Tercer Análisis.....	85
Gráfico 18: Concentración de Nitrito en el Tercer Análisis.....	86
Gráfico 19: Concentración de Nitrato en el Tercer Análisis.	86
Gráfico 20: Concentración de Fosfato en el Cuarto Análisis.	87
Gráfico 21: Concentración de STS en el Cuarto Análisis.	88
Gráfico 22: Concentración de N-Amoniacal en el Cuarto Análisis.	88
Gráfico 23: Concentración de Nitrato en el Cuarto Análisis.....	89
Gráfico 24: Concentración de Fosfato en el Quinto Análisis.	90
Gráfico 25: Concentración de STS en el Quinto Análisis.	90
Gráfico 26: Concentración de N-Amoniacal en el Quinto Análisis.	91
Gráfico 27: Concentración de Nitrato en el Quinto Análisis.....	92
Gráfico 28: [P] en [PO ₄ -]vs Tiempo.....	93
Gráfico 29: Remoción de [P] en el humedal de flujo horizontal versus tiempo.	93
Gráfico 30: [N] en [NH ₄ -N] vs Tiempo.....	95
Gráfico 31: [N] en [NO ₃ -] vs Tiempo.	96

Gráfico 32: Concentración de Nitrógeno Total vs Tiempo	Gráfico 33: Remoción de Concentración de Nitrógeno Total vs Tiempo.....	97
Gráfico 34: Concentración de Sólidos Totales en Suspensión (mg/l) vs Tiempo.		98
Gráfico 35: Remoción Sólidos Totales en Suspensión (mg/l) vs Tiempo.....		98
Gráfico 36: Resumen de Porcentajes de Remoción de Fósforo, Nitrógeno y STS.		99
Gráfico 37. Comparación de la $[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$ con los LMP de la ECA– Cat. 4.....		100
Gráfico 38: Comparación de la $[\text{NO}_3^-]$ con los LMP de la ECA– Cat. 4.....		101
Gráfico 39: Comparación de la $[\text{NH}_4^+]$ con los LMP de la ECA– Cat. 4.....		102
Gráfico 40 : Comparación de los $[\text{STS}]$ con los LMP de la ECA – Cat. 4.		103

RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Evaluación visual del estado actual del agua residual a tratar.	47
Fotografía 2: Prueba de infiltración con calicata y datos de posición del humedal.	48
Fotografía 3: Aforo de caudal para el diseño del humedal de flujo horizontal.	48
Fotografía 4: Levantamiento topográfico de todo el sistema a escala piloto.	49
Fotografía 5: Recolección de la muestra de agua residual a tratar y medición de la temperatura del mismo.	49
Fotografía 6: Buzón rectangular de Captación del Caudal.	53
Fotografía 7: Biodigestor.	54
Fotografía 8: Caja de Distribución de Caudal.	54
Fotografía 9 : Excavación y perfilado manual del humedal.	55
Fotografía 10: Habilidad e Instalación de acero de refuerzo y tuberías de evacuación.	55
Fotografía 11: Vaciado de concreto en piso y pared del humedal con la instalación de tuberías de ingreso y salida.	56
Fotografía 12: Construcción de la caja de recolección del efluente del humedal.	56
Fotografía 13: Recolección, selección y Pre adaptación de <i>Zantedeschia Aethiopica</i>	57
Fotografía 14: Habilidad y colocación del material granular en el humedal.	58
Fotografía 15: Trasplante y siembra del cartucho en el sustrato del humedal.	58
Fotografía 16: Medición de parámetros físicos en el ingreso y salida del humedal.	59
Fotografía 17: Medición del incremento de biomasa de la planta.	60
Fotografía 18: Toma de muestra del agua residual para su respectivo análisis en el laboratorio.	60
Fotografía 19: Resultado de la pre adaptación de la especie <i>Zantedeschia Aethiopica</i>	71
Fotografía 20: Siembra de la especie <i>Zantedeschia Aethiopica</i> (cartucho) en los sustratos del humedal.	71
Fotografía 21: Resultado visual del incremento de biomasa.	112
Fotografía 22: Medición del Incremento de la biomasa de la especie en el humedal.	113
Fotografía 23: Levantamiento Topográfico y Prueba de Impermeabilidad.	136
Fotografía 24: Aforo de Caudal del Agua Residual de la Red mediante el método de las esferas de corcho y toma de muestras del agua residual a tratar.	136
Fotografía 25: Muestra de agua residual para ser analizada.	136
Fotografía 26: Excavación y vaciado de piso del humedal.	137

Fotografía 27: Habilitación y armado de la malla de hierro de ¼ “	137
Fotografía 28: Colocación de la malla fijando los niveles con tacos de concreto.	137
Fotografía 29: Habilitación e instalación de la tubería de 4” para la evacuación del efluente del humedal	138
Fotografía 30: Excavación de la caja recolectora del caudal del efluente del humedal.	138
Fotografía 31: Preparación de la mezcla f’c=175 Kg/cm ² +sika para el piso y las paredes del humedal.....	138
Fotografía 32. Vaciado de concreto en el piso del humedal.....	139
Fotografía 33 : Encofrado externo para la pared del humedal	139
Fotografía 34: Instalación de la tubería recolectora del efluente tratado del humedal..	139
Fotografía 35: Verificación de la pendiente 1% para la evacuación del efluente.	140
Fotografía 36: Vaciado de concreto por capas a las paredes del humedal y chuseada.	140
Fotografía 37: Tarrajeo de las paredes del humedal.....	140
Fotografía 38: Frotachado de las paredes del humedal.	141
Fotografía 39 : Instalación de la tubería de ingreso de caudal al humedal.....	141
Fotografía 40; Vaciado de concreto en el piso y encofrado de la caja recolectora del efluente del humedal de flujo horizontal.....	141
Fotografía 41 ;Excavación, nivelación y compactación y vaciado de concreto en el piso de la CDQ (caja distribuidora de caudal).....	142
Fotografía 42:Habilitación y encofrado interior de la Caja Distribuidora de caudal. .	142
Fotografía 43: Vaciado de concreto en las paredes de la CDQ.....	143
Fotografía 44; Armado de malla de hierro y encofrado de las tapas de la CDQ y la caja recolectora del efluente del humedal.	143
Fotografía 45: Habilitación de los sustratos para el humedal.....	144
Fotografía 46: Llenado de la grava de 32 mm en la base del humedal y grava de 8 mm	144
Fotografía 47: Verificando y nivelando las capas de los sustratos.....	144
Fotografía 48: Pre adaptación en tinas con turba y arena durante 15 días.	145
Fotografía 49: Siembra de la planta en el sustrato del humedal.....	145
Fotografía 50: Imágenes del incremento de la biomasa del cartucho.....	146
Fotografía 51: Medición del incremento de masa de la planta.....	146
Fotografía 52: Aforo de caudal y medición del pH y temperatura.....	147
Fotografía 53: Toma de muestra para los análisis de laboratorio.....	147
Fotografía 54: Determinación del tiempo de retención real.....	147

RESUMEN EJECUTIVO.

El tratamiento de agua residual es de los problemas más comunes de saneamiento en nuestra región al no tratarlas y verterlas al río Santa. Los humedales artificiales representan una alternativa ecológica pues simula los procesos de estabilización de materia orgánica y requerir poco mantenimiento, es amigable con su entorno a utilizar plantas diversas como agente importante. Los sistemas de tratamiento de aguas con plantas acuáticas son una alternativa eficiente y económica para el tratamiento de aguas residuales, la remoción de microorganismos y contaminantes físico químico, esto debido a sus bajos costos de construcción, operación y mantenimiento frente a los sistemas convencionales actuales. La remoción en sistemas con macrófitas se atribuye a procesos de sedimentación.

La presente tesis tiene como objetivo demostrar la eficiencia en remoción de nutrientes (N y P) y sólidos suspendidos empleando la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) en el tratamiento del agua residual con humedal de flujo horizontal piloto en el Centro Ecológico de Investigación Forestal y Agroforestal Tuyu – Ruri, UNASAM.

Para el desarrollo del estudio se implementaron un vertedero (para captar el caudal del sistema de desagüe), un biodigestor (tratamiento primario) y una caja Distribuidora de caudales (reparte el caudal equitativamente para el humedal de flujo horizontal y vertical). Luego se realizaron los cálculos, diseños y elaboración de planos del Humedal de Flujo Horizontal, (con los datos básicos de campo; Caudal $Q=$ de 0.3 m³/día, DBO entrada=38.1 mg/l. Dando como resultado de diseños un $A_s=$ 3.03 m² y un $T_r=$ 1.21 días). Seguido la construcción del mismo respetando las dimensiones del plano y finalmente una caja de evacuación del Humedal.

Luego se recolecto, pre adapto y trasplanto la especie **Zantedeschia Aethiopica** (cartucho) para luego esperar un mes de adaptación de las plantas al sistema de

tratamiento monitoreando en este periodo los parámetros físicos del humedal. Después de esta etapa vino la etapa de tratamiento en el cual se monitoreo de calidad de agua a la entrada y salida del humedal. Los parámetros analizados fueron Fosfato, Solidos totales en suspensión, N-Amoniacal y Nitratos; además de pH, temperatura y turbiedad.

Según los resultados obtenidos en laboratorio se concluyó que la eficiencia de remoción de los nutrientes (Nitrógeno = 42.38% y Fosforo = 43.79%) y STS fue de 49.58%. Esto significa que la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) tuvo estos valores de remoción aplicada en el humedal de Flujo Horizontal.

El análisis comparativo de los resultados obtenidos con referencia a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en la categoría 4, para el vertimiento a cuerpos de agua receptores como Ríos de la Costa y Sierra indica que la concentración de Nitrógeno y los Solidos Totales en suspensión están por debajo del LMP dado por la ECA y del fosforo solo un valor está por debajo del LMP dado por la ECA categoría 4.

La adaptación de la especie a este sistema es buena y de refleja en el incremento de masa y demás caracteres que requiere una planta fito remediadora.

Palabras claves: Humedal de flujo horizontal, *Zantedeschia Aethiopica*, Solidos totales en suspensión, y Nutrientes (N Y P).

ABSTRACT

Wastewater treatment is one of the most common sanitation problems in our region because it is not treated and discharged into the Santa River. The artificial wetlands represent an ecological alternative because it simulates the processes of stabilization of organic matter and require little maintenance; it is friendly with its environment to use diverse plants as an important agent. Water treatment systems with aquatic plants are an efficient and economical alternative for the treatment of wastewater, the removal of microorganisms and physical chemical contaminants, this due to its low construction, operation and maintenance costs compared to current conventional systems. The removal in systems with macrophytes is attributed to sedimentation processes.

This thesis aims to demonstrate the efficiency in removal of nutrients (N and P) and suspended solids using the *Zantedeschia Aethiopica* species (cartridge) in the treatment of wastewater with pilot horizontal flow wetland in the Ecological Center for Forestry and Agroforestry Research Tuyu - Ruri, UNASAM.

For the development of the study, a landfill was implemented (to capture the flow of the drainage system), a biodigester (primary treatment) and a distribution box of flows (it distributes the flow equally for the horizontal and vertical flow wetland). Then the calculations, designs and elaboration of Horizontal Flow Wetland plans were made, (with the basic field data, Flow $Q = 0.3 \text{ m}^3 / \text{day}$, BOD input = $38.1 \text{ mg} / \text{l}$, resulting in designs an $A_s = 3.03 \text{ m}^2$ and a $T_r = 1.21 \text{ days}$). Followed the construction of the same respecting the dimensions of the plan and finally a box evacuation Wetland.

Then the species *Zantedeschia Aethiopica* (cartridge) was collected, pre-adapted and transplanted and then wait a month for the plants to adapt to the treatment system, monitoring the physical parameters of the wetland during this period. After this stage came the treatment stage in which water quality was monitored at the entrance and

exit of the wetland. The parameters analyzed were Phosphate, Total Solids in suspension, N-Amomiacal and Nitrates; besides pH, temperature and turbidity.

According to the results obtained in the laboratory, it was concluded that the efficiency of nutrient removal (Nitrogen = 42.38% and Phosphorus = 43.79%) and STS was %. This means that the species *Zantedeschia Aethiopica* (cartridge) had these removal values applied in the Horizontal Flow wetland.

The comparative analysis of the results obtained with reference to the Environmental Quality Standards (ECA) in category 4, for the discharge to receiving bodies of water such as Rivers of the Coast and Sierra indicates that the concentration of Nitrogen and the Total Solids in suspension are below the LMP given by the ECA and phosphorus, only one value is below the LMP given by the category 4 RCT.

The adaptation of the species to this system is good and reflects in the increase of mass and other characters that a remediating plant requires.

Keywords: Horizontal flow wetland, *Zantedeschia Aethiopica*, Total suspended solids, and Nutrients (N Y P).

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más comunes de saneamiento en nuestra región es no tratar las aguas residuales domésticas producidas por la población las cuales son vertidas al río Santa. Los sistemas de tratamiento de aguas con plantas acuáticas son una alternativa eficiente y económica para el tratamiento de aguas residuales, la remoción de microorganismos y contaminantes físico químico, esto debido a sus bajos costos de construcción, operación y mantenimiento frente a los sistemas convencionales actuales.

La remoción en sistemas con macrófitas se atribuye a procesos de sedimentación, absorción y remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica. El humedal de flujo horizontal son sistemas de tratamiento secundario construido con paredes y pisos impermeabilizados que contienen un sustrato (grava o arena) y una vegetación acuática adecuada para tratar efluentes residuales; esta tecnología a bajo costo, busca obtener una aceptable calidad de agua del efluente del humedal, para su vertimiento a los cuerpos de agua receptores según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) dentro la categoría 4 de la normativa peruana vigente DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.

En los últimos años la Fito remediación ha sido un tratamiento donde se aprovechan los procesos biológicos como las plantas acuáticas ya que tienen cierta capacidad de absorber o descomponer contaminantes. En esta tesis se analizará el rendimiento de remoción de nutrientes y Sólidos totales en Suspensión de esta planta acuática purificadora *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) en el humedal de flujo horizontal piloto donde ingresa agua residual. Con el fin de poder considerar a esta planta como depuradora e implementarla en los sistemas de una PTAR en el Perú bajo ciertos criterios para su correcto funcionamiento.

En este sistema, la remoción de nutrientes y contaminantes se efectúa a través de reacciones químicas, físicas y procesos biológicos, los mismos que se desarrollan tanto en las plantas acuáticas, como en la columna de agua y el sustrato (J. Marin, 2010).

El desarrollo de plantas en un medio soluble, permite la absorción directa de nutrientes con menor esfuerzo para el desarrollo radicular y mayor crecimiento de la planta, aumentando la producción de biomasa; comportamiento observado en la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho). El trabajo de poda y raleo permite conservar la eficiencia depuradora de este sistema orgánico (A. Bohórquez, 2009).

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Objetivo general:

Demostrar la eficiencia de la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) en el tratamiento del agua residual del Centro Poblado Tuyururi con humedal de flujo Horizontal a escala Piloto (remoción de sólidos suspendidos y Nutrientes).

1.1.2. Objetivo específico:

1. Recopilar información ambiental y sanitaria de la zona de estudio y la caracterización del agua residual a tratar.
2. Realizar el diseño hidráulico y constructivo del Humedal de flujo horizontal a escala piloto en el fundo Tuyururi.- Marcará.

3. Evaluar la adaptación e incremento de masa de la planta *Zantedeschia Aethiopica* (*cartucho*) en el humedal.
4. Construir el humedal de acuerdo al diseño calculado teóricamente y poner en funcionamiento el sistema de tratamiento de aguas Residuales en el fundo Tuyururi.- Marcará.
5. Determinar el Porcentaje de Remoción de STS, Nitrógeno y Fosforo por el sistema instalado.
6. Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos con referencia a los Estándares de Calidad Ambiental ECA, categoría 4 para vertimientos a cuerpos receptores como los Ríos de la Costa y Sierra. Según el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Se propone el presente proyecto de investigación para evaluar una alternativa para el mejoramiento de calidad del agua residual a verter en el Rio Marcará del sistema de desagüe del lugar denominado Tuyururi, los cuales no tienen ningún tipo de tratamiento representando un problema potencial que afecta a la flora y fauna del rio, así como la salud pública del entorno ya que conlleva la proliferación de vectores contaminantes.

Se plantea usar especie *Zantedeschia Aethiopica* (*cartucho*) en el humedal de flujo horizontal a escala piloto instalada en el fundo de la UNASAM – Tuyururi, para reducir la concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua

residual mediante procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, degradación y estabilización de los diversos tipos de contaminantes.

Se desarrollaran Durante los meses de Marzo a Mayo de 2017, actividades experimentales, teóricas y aplicativas.

1.2.1. Formulación del Problema:

¿Será eficiente la especie *Zantedeschia Aethiopica* (*cartucho*) para la remoción y reducción de nutrientes N, P y solidos suspendidos aplicado al humedal de flujo horizontal piloto?

1.3. HIPÓTESIS

Hi : Si es eficiente la especie *Zantedeschia Aethiopica* (*cartucho*) en un 40% de remoción de nutrientes N, P, Solidos Suspendidos aplicado en el humedal del Flujo Horizontal a escala piloto.

Hipótesis Específica:

He1 : Si es eficiente la especie *Zantedeschia Aethiopica* (*cartucho*) en un 40% de remoción de concentración de Nitrógeno aplicado en el humedal del Flujo Horizontal a escala piloto.

He2 : Si es eficiente la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) en un 40% de remoción de concentración de Fósforo aplicado en el humedal del Flujo Horizontal a escala piloto.

He3 : Si es eficiente la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) en un 40% de remoción de concentración de solidos totales en suspensión aplicado en el humedal del Flujo Horizontal a escala piloto.

1.3.1. Operacionalización de las Variables:

- VARIABLE INDEPENDIENTE: Humedal de Flujo Horizontal con especie *Zantedeschia Aethiopica*-cartucho.

- VARIABLE DEPENDIENTE: Remoción y disminución de nutrientes Nitrógeno, Fosforo y Solidos Suspendidos.

Cuadro 1: Clasificación de variable

Variable	Naturaleza	Escala de medición	Relación entre variables
Independiente:	Explicativa Descriptiva	Magnitud	Es Directa: A mayor eficiencia de la especie <i>Zantedeschia Aethiopica</i> (cartucho) en el humedal de flujo horizontal se disminuye la concentración de nutrientes (N, P) y Solidos suspendidos.
Humedal de Flujo Horizontal con especie <i>Zantedeschia Aethiopica</i> (cartucho)			
Dependiente:	Cuantitativa Discreta	Magnitud	
Remoción y disminución de nutrientes Nitrógeno, Fosforo y Solidos Suspendidos			

Fuente: Elaborado por la tesista.

Cuadro 2: Operacionalización de Variables

Variable	Definición	Indicador	Escala	Medición
Independiente:	Eficiencia del humedal con la especie <i>Zantedeschia Aethiopica</i> (cartucho) en el proceso de depuración para la remoción y disminución de agente contaminante.	Volumen Caudal THR	M3 L/s Horas	Método instrumental de campo.
Dependiente:	Capacidad por la cual se reduce la concentración de nutrientes presentes en el agua residual.	Nitrógeno Fosforo Solidos Totales Suspendidos	mg/l mg/l mg/l	Método establecido por el laboratorio.
Humedal de Flujo Horizontal con especie <i>Zantedeschia Aethiopica</i> (cartucho)				
Concentración de nutrientes (Nitrógeno, fosforo y solidos Suspendidos) en agua residual				

Fuente: Elaborado por la tesista.

CAPITULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Los sistemas de humedales construidos son tecnologías de tratamiento de aguas residuales simples de operar, con baja producción de lodos residuales y sin consumo energético. No requieren de la adición de reactivos químicos y de energía para airear el agua o recircularla. La infraestructura necesaria para su construcción es muy simple y asequible, su mantenimiento es relativamente fácil y económico. (J. García y A. Corzo; 2008).

La depuración de aguas residuales a través de humedales artificiales, es una alternativa eficaz para tratar las altas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, patógenos y nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), los cuales están presentes en los efluentes domésticos y agrícolas. La importancia de estos sistemas de humedales artificiales está dada básicamente, en prevenir la eutrofización de los cuerpos de agua receptores del efluente tratado. La eutrofización de estos cuerpos de agua receptores, está relacionada al aumento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que lleva a un rápido crecimiento de productores primarios como las algas (C. Steinmann, et al. 2003).

El Agua Residual del Colegio familiar Siglo XXI, sede campestre ubicado en el Corregimiento de San Fernando Municipio de Pasto, luego de ser tratada por el sistema de tratamiento con humedales artificiales de flujo su superficial horizontal (HASSFH), genera una calidad de agua óptima para realizar una descarga a un cuerpo receptor Los valores de eficiencia de remoción obtenidos para DBO5, DQO, nitrógeno total, fósforo total, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, coliformes totales y Escherichia Coli, indican que de acuerdo a los límites exigidos

por la norma para el control de los vertimientos en Colombia cumplen con lo estipulado, Los resultados de la evaluación de la eficiencia del Humedal artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSSH) fueron los siguientes; Remoción de la DBO5 del 93.89% y de la DQO del 84.98%; la eficiencia de remoción de los STS fue del 40%. (M. Cabrera y P. Alexander; 2014).

En El Salvador, Honduras y Nicaragua, el programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial, Región América Latina y El Caribe (WSP-LAC), han implementado HASH para el tratamiento de las aguas residuales en pequeñas localidades. En el caso específico de Nicaragua se obtuvieron eficiencias de remoción de STS, DBO5, DQO, N total, P total, E. Coli y Helmintos de 97,2%, 97,4%, 94,5%, 34,5%, 26,6%, 99,52% y 100 % respectivamente, permitiendo el re uso del agua para el riego de cultivos agrícolas (WSP-LAC, 2006).

Los humedales de ambos tipos (horizontal y vertical) son efectivos en la remoción de nitrógeno. Este puede ser asimilado por las plantas acuáticas que lo toman como nutriente, aunque la remoción es mínima, de un 10 a un 15 % (J. Lara, 1999), puede eliminarse también por procesos de nitrificación y desnitrificación a través del proceso de nitrificación, mediante el cual se realiza una eficiente remoción de amoníaco. La desnitrificación en cambio, puede darse en condiciones anaerobias. La remoción del nitrógeno mediante este sistemas de humedales esta entre el 25% al 80% (J. Lara, 1999). En los humedales horizontales puesto que la transferencia de oxígeno es baja y hay pocas zonas aeróbicas, la nitrificación no es destacable y el rendimiento de eliminación del amonio no supera generalmente el 30%; En general en aguas urbanas de tipo medio las plantas eliminan entre un 10 y un 20% del nitrógeno. (J. García, y A. Corzo 2008).

Un Estudio realizado por La Universidad Agraria de la Molina de Lima sobre los humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales; donde se analiza la remoción de contaminantes en el sistema completo de tratamiento a agua residual en cual consta de cámara de rejas, desarenador, sedimentador, tanque séptimo para eliminar solidos grasas, arenas y gravas y como tratamiento terciario el humedal sub superficial de flujo horizontal sembrado en ella la planta achira. La de remoción en el humedal fue DQO en un 80-90%, DBO₅ en un 90.95%, Solidos suspendidos en un 80 %, Nitrógeno total en un 35%, Fosforo total en un 10-20%. (Msc. Rosa Miglio T, 2007).

Según el libro “Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment” Del año 2005 se muestra las eficiencias de remoción de los parámetros estudiados en la presente tesis.

Cuadro 3: Carga de humedales construidos con flujo sub superficial horizontal según Vyzamal 2005

Loading of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow					
Parameter	Inflow	Outflow	Removed	Efficiency (%)	N
BOD ₅	39.3 ^a	7.6 ^a	31.6 ^a	81	131
COD	120 ^a	34.9 ^a	85.4 ^a	71	110
TSS	53.6 ^a	11.6 ^a	42.0 ^a	78	130
TP	141 ^a	96 ^b	45 ^b	32	104
TN	644 ^b	644 ^b	250 ^b	39	113
NH ₄ ⁺ -N	388 ^b	255 ^b	133 ^b	34	90
NO ₃ ⁻ -N	98 ^b	67 ^b	31 ^b	32	66
For details see Table 1. (Modofied from -Vymazal (2001 a,b)).					
^a Values in Kg ha ⁻¹ day ⁻¹ .					
^b Values in Kg ha ⁻² day ⁻¹ .					

Fuente: Vyzamal 2005

Según Vymazal, la eficiencia de remoción de fosforo en un humedal Sub superficial de flujo horizontal es de 41.1%.

Un estudio realizado con humedales artificiales en la sede Usme de la Universidad Antonio Nariño, se adaptaron tres especies de plantas macrófitas (*Rumex conglomeratus*, *Bidens laevis* y *Typha latifolia*) y una especie ornamental (*Zantedeschia Aethiopica*), enraizadas en sustratos inertes o medios de soporte plástico (MSP). Se verificó la adaptación del material vegetal a un sistema acuático de humedal artificial, donde se hizo evidente el incremento de su producción radicular y foliar, así como el poder depurador sobre las aguas residuales domésticas. La adaptación de la especie *Zantedeschia Aethiopica* al medio acuático fue eficiente. Se obtuvieron plantas vigorosas con presencia permanente de flores. La emisión de raíces penetrando el sustrato inerte (A. Bohórquez, 2009).

En las instalaciones de la planta de tratamiento de la Universidad Tecnológica de Pereira, donde se encuentran construidos dos humedales artificiales, uno con medio de grava y otro con medio de arena y ambos sembrados con *Guadua angustifolia* Kunth. Se logró evaluar la remoción de contaminantes de tipo orgánico y nitrógeno de las aguas residuales, por medio de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HSSFH). Con respecto a la remoción de nitrógeno total en aguas residuales, es posible apreciar que el humedal artificial 1 presentó un porcentaje de remoción de 62.60% con respecto al humedal 2 con un porcentaje de 32.35%, lo que permitió evaluar y corroborar que el humedal 1 (con lecho de arena) remueve más cantidad de nitrógeno total que el humedal 2 (con lecho de grava) (J. Marín, J. Correo, 2010).

La remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva en los sistemas de humedales, además de ser rápida, se estima que gran parte de la retención ocurre entre el 12 y el 20% de la zona inicial del área total del humedal (J. Lara, 1999)- Los sólidos suspendidos suelen estar formados por materia orgánica, algas o microorganismos que pueden ser degradados hasta productos gaseosos, ocasionando que el tiempo de colmatación de un humedal sea extenso. Igualmente

los sólidos suspendidos se encuentran formados por compuestos inorgánicos, tales como óxidos, arcillas, carbohidratos, entre otros. (A. Lahora, 2000).

Existe un tipo de sistemas que utiliza arena en lugar de grava para aumentar el tiempo de retención del agua, pero este sistema requiere áreas mucho más grandes para la conducción del agua residual para su tratamiento, debido a que la arena posee una conductividad hidráulica muy baja, la remoción de fósforo está entre el 30% al 50%. (J. Lara, 1999). En general no se suele eliminar más del 10-20%. (J. García, 2008).

El tiempo de retención Hidráulica es determinante en la eficiencia de los sistemas de humedales artificiales (J. Lara, 1999); por ende es importante realizar la medición en campo del tiempo de retención hidráulica experimental. Según el repositorio académico “Determinación del tiempo retención hidráulico en humedales construidos de flujo horizontal usando un trazador químico” de la Universidad Zulia. Se determinó que los TRH experimentales fueron menores que los TRT teóricos para todas las etapas variando apenas de 1 a 5h (0,05 y 0,20 días), la eficiencia hidráulica calculada varió entre 63 y 98% respectivamente, resultando mejores los humedales de flujo horizontal y sumergido sin plantar. (J. Lara, 1999).

El número de dispersión resulto similar para los humedales sin plantar 0,42 indicando un comportamiento hidráulico de flujo disperso y de 0,20 para los humedales plantados con tendencia a flujo pistón. (G. Ferrer, C. Morán, G. Aldana y J. Pérez, 2013).

2.2. FUNDAMENTACIÓN DE LA TESIS.

2.2.1. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

En el aspecto ambiental está basada en que el agua residual no sea vertida por sus colectores a un cuerpo receptor natural sin el tratamiento adecuado. Esta situación requiere la implementación de un sistema de tratamiento de Aguas Residuales y como tratamiento secundario mediante humedales con la finalidad de garantizar la calidad del efluente tratado para ser vertidas al sistema natural, de esta manera cuidaremos la flora y fauna del de este.

En el aspecto económico Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas como el cartucho que abundan en el medio, es una alternativa eficiente y económica, debido a sus bajos costos de construcción, operación y mantenimiento frente a los sistemas convencionales actuales. La remoción en sistemas con macrófitas se atribuye a procesos de sedimentación, absorción y remoción de sólidos suspendidos y nutrientes (N y P).

En el aspecto social, la realización de esta investigación se origina por la que el sistema de alcantarillado sanitario del centro poblado de Tuyu Ruri, carece de tratamiento. El Centro Ecológico de Investigación Forestal y agroforestal Tuyu Ruri – UNASAM, desea hacer un aporte de bienestar social de una manera de plasmar los conocimientos para la implementación e instalación de un piloto de un Sistema de Tratamiento Secundario mediante Humedales de flujo horizontal (usando *Zantedeschia Aethiopica* que permita lograr la disminución de nutrientes en los efluentes tratados.

Este trabajo es importante ya que se desea promover tratamientos de aguas residuales, con sistemas de fito depuración de bajo costo y su aplicación eficiente. El humedal de flujo horizontal a escala piloto nos permitirá desarrollar

la eficiencia de *Zantedeschia Aethiopica*-cartucho en el tratamiento biológico para la remoción de nutrientes (N y P) y sólidos suspendidos.

2.2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

A. HUMEDALES ARTIFICIALES CONSTRUIDOS

Los humedales artificiales son sistemas de Fito depuración que consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente (O. Delgadillo, 2010). Son sistemas de depuración constituidos por lagunas poco profundas (< de 1 m) (J. Gracia y A. Corzo; 2010).

La importancia de estos sistemas de humedales artificiales está dada básicamente, en prevenir la eutrofización de los cuerpos de agua receptores del efluente tratado (P. Mena., 2014). La eutrofización de estos cuerpos de agua receptores, está relacionada al aumento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que lleva a un rápido crecimiento de productores primarios como las algas. (C. Steinmann, et al. 2003), También se evita que el agua subterránea potencialmente utilizada para consumo humano, sea contaminada por altas concentraciones de estos nutrientes. (P. Mena., 2014).

La capacidad depuradora de los humedales se basa, a grandes rasgos, en dos mecanismos: la utilización de los nutrientes disueltos en el agua por los productores Primarios (macrófitas y microorganismos) y la sedimentación de las partículas que lleva el agua, al atravesar lentamente amplias superficies (M. Pérez y C. Rojo; 2000).

Los humedales tienen 3 funciones básicas (J. LARA):

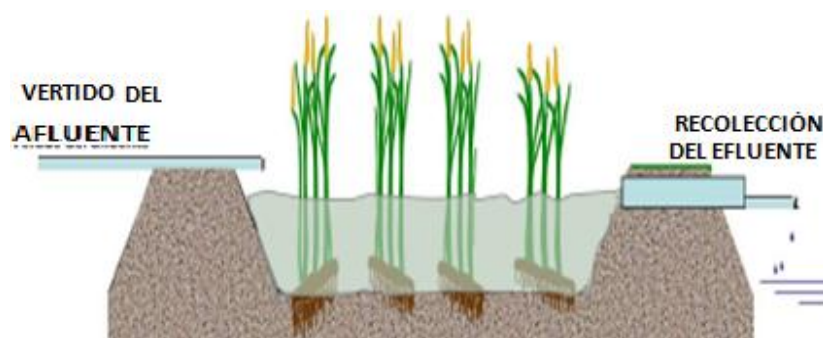
- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por medio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistente con un bajo consumo de energía.

B. CLASIFICACIÓN DE HUMEDAL ARTIFICIAL CONSTRUIDO

Los humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales se clasifican según el régimen hídrico, en dos tipos:

a. Humedal Artificial de flujo superficial:

El agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas, con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas. (J. García, 2008). Además el efluente requiere un tratamiento primario o físico previo, antes de ingresar al sistema (J. Lara, 1999).



*Figura 1: Humedal con flujo superficial
Fuente: García, J, 2008.*

b. Humedal artificial de flujo subsuperficial :

La circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. (J. García, 2008). El objetivo del sistema es de proporcionar tratamiento secundario o avanzado.

b.1. Tipos de humedales de flujo subsuperficial

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua a través del sustrato los humedales artificiales en horizontales o verticales.

1. Humedales de flujo vertical

En este sistema el nivel del agua debe estar bajo para mantener las condiciones insaturadas en el medio poroso y conseguir un mayor contacto entre el agua residual y el aire dentro de los poros. La profundidad del medio granular es de entre 0,5 y 0,8 m. Operan con cargas de alrededor de 20 g DBO/m²×día. Requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica. (J. García, 2008).

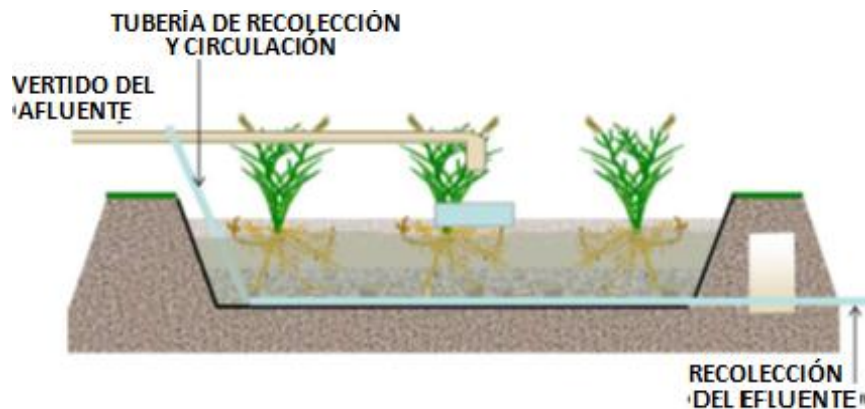


Figura 2: Humedal de flujo Sub superficial vertical.
Fuente: García, J, 2008.

2. Humedales de flujo horizontal.

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados. En este tipo de humedales, el proceso de tratamiento ocurre en la zona de la raíz y en la superficie de la arena, grava o gravilla utilizada como sustrato en el lecho. (J. García, 2004).

Este tipo de humedales se caracteriza por tener un tiempo de retención hidráulica (TRH) bastante amplio lo cual genera una eficiencias superiores a 80-90% en retención de DBO5, DQO y STS (Yalcuka y Ugurlu, 2009).

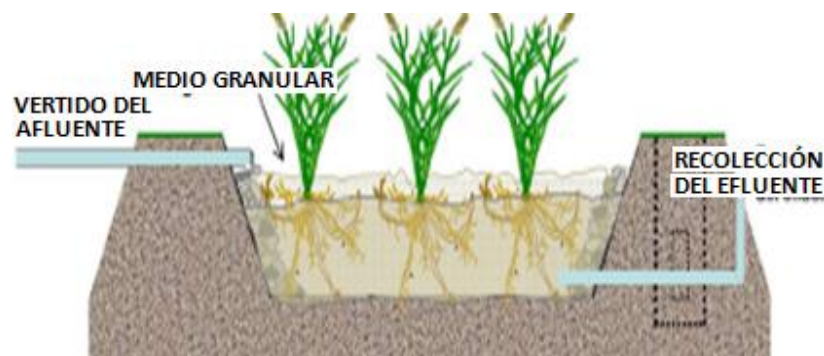


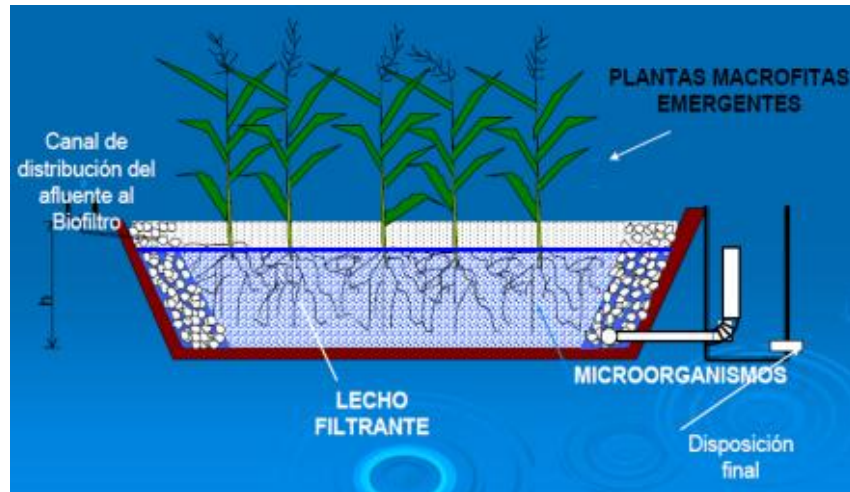
Figura 3: Humedal de flujo Sub superficial Horizontal.
Fuente García, J. 2008

C. COMPONENTES DEL HUMEDAL ARTIFICIAL CONSTRUIDO

Para nuestro Interés de estudio loa principales Constituyentes de los Humedales de Flujo horizontal.

Un humedal artificial es una réplica de un humedal natural. Para que el funcionamiento de este sistema artificial sea óptimo es esencial simular y usar los componentes necesarios para albergar y generar todas las actividades

biológicas que a su vez crean una sucesión ecológica para un buen rendimiento y eficiencia. (P. Mena., 2014).



*Figura 4: Componentes del Humedal sub superficial de flujo horizontal,
Fuente: tomado de <http://depuranaturaleza.blogspot.com.es/2011/05/humedal-de-flujo-subsuperficial.html> - 1/11/2017.*

Los principales componentes funcionales de un humedal son los siguientes:

1. Agua residual:

Es fundamental en toda la dinámica del humedal la hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario decisivo en su éxito o fracaso, por los siguientes motivos. (Lara 1999), en esta fase se realiza todas las reacciones fisicoquímicas y junto con los otros componentes sirve como medio de cultivo para la proliferación de organismos, que contribuyen a la depuración del agua residual. (P. Mena., 2014). Esta agua es de origen domestico que contiene productos orgánicos (residuos de origen animal, vegetal y deyecciones humanas, grasas, etc.) e inorgánicos (tierra, arena, etc.) (Hernández 1997).

2. Medio granular:

Este medio granular actúa como una estructura de soporte de las plantas y como superficie para el crecimiento y desarrollo de la masa microbiana. Aquí ocurren múltiples procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos (P. Mena., 2014). En los humedales, el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. (J. Lara, 1999).

En las zonas de entrada y salida se colocan el medio granular principal que debe ser limpio (exento de finos), homogéneo, duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo. Diámetros medios de alrededor de 5-8 mm ofrecen muy buenos resultados. Finos. (O. Delgadillo, A. Camacho2010). La grava es un material que proviene generalmente del lecho de los ríos y es también llamada canto rodado. De acuerdo con su origen, pueden variar las características fisicoquímicas de la grava y, por tanto, el comportamiento en la remoción de contaminantes (E. Bedoya, 2015).

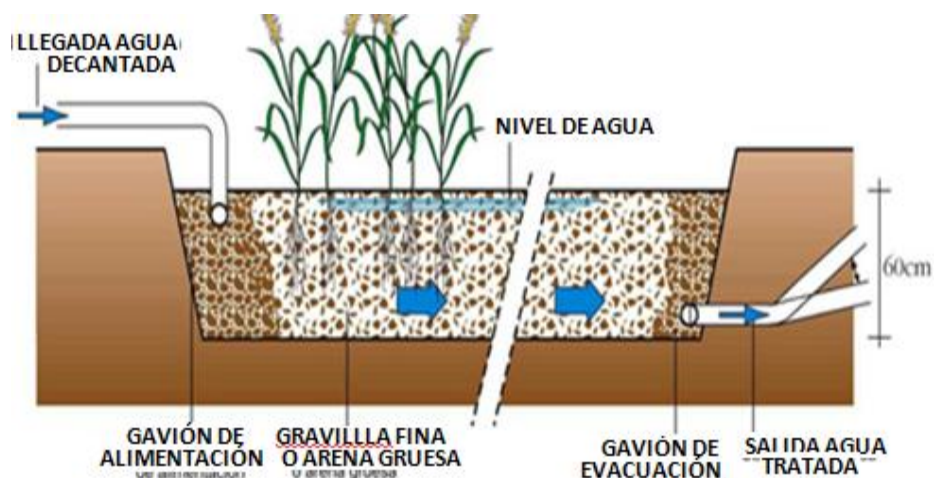


Figura 5: Distribución de Material Granular en el Humedal de Flujo Horizontal.

Fuente: <http://weschile.com/tecnologias/aguas-residuales>.

3. Estructuras de entrada y salida.

El agua residual procedente del tratamiento previo se hace llegar hasta una caja de distribución donde el caudal se divide equitativamente y mediante diversas tuberías se vierte al lecho. El ingreso del afluente al humedal se hace a través de una tubería de 2" perforada, nivelada y asentada en la grava presente al ingreso del humedal. La recogida del agua efluente se realiza con una tubería perforada asentada sobre el fondo del humedal. Esta tubería conecta con otra en forma de "L" invertida y cuya altura es regulable y permite modificar el nivel de agua y a su vez drenar el humedal durante operaciones de mantenimiento. (J. Lara, 1999).

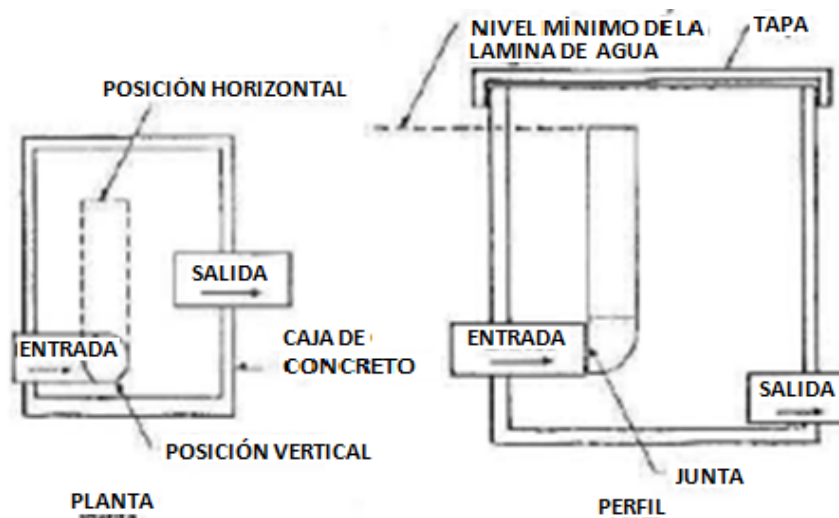


Figura 6: Sistema típico de salida para un humedal construido.
 Fuente J. Lara, 1999.

4. Vegetación:

Las especies utilizadas son macrófitos típicos de las zonas húmedas. Sus tejidos internos disponen de un sistema eficaz de transporte de oxígeno hasta las partes subterráneas (J. Lara 1999.). Los efectos de la vegetación sobre el funcionamiento de los humedales son: Las raíces y rizomas proporcionan una superficie adecuada para el crecimiento de la biopelícula.

La biopelícula crece adherida a las partes subterráneas de las plantas y sobre el medio granular.

Alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde hay procesos microbianos que usan el oxígeno, como la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación. Las plantas asimilan nutrientes; eliminan entre un 10% del N y un 20% del P. (J. García, 2008).

5. Microorganismos (Biopelícula).

Muchas transformaciones de los nutrientes y del carbono orgánico en los humedales son debidas al metabolismo microbiano y relacionadas con el crecimiento de los microorganismos. Éstos incluyen, principalmente, bacterias, hongos y protozoarios. Esta biomasa se encuentra formando una biopelícula alrededor de las partículas del lecho (J. Lara, 1999).

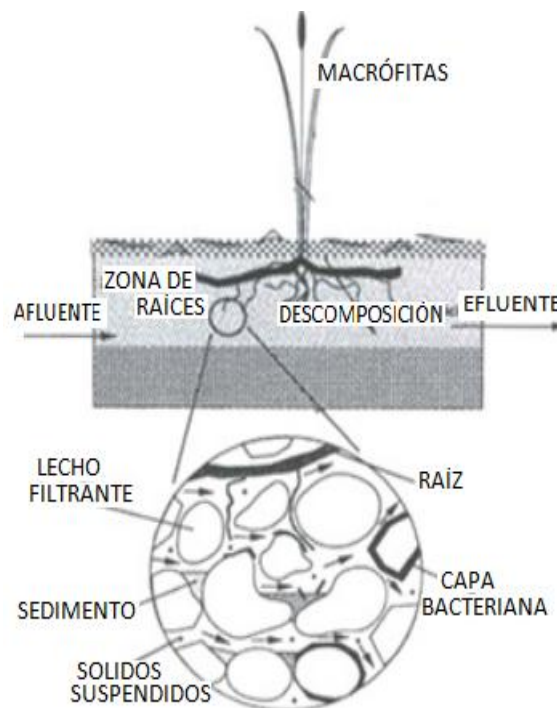
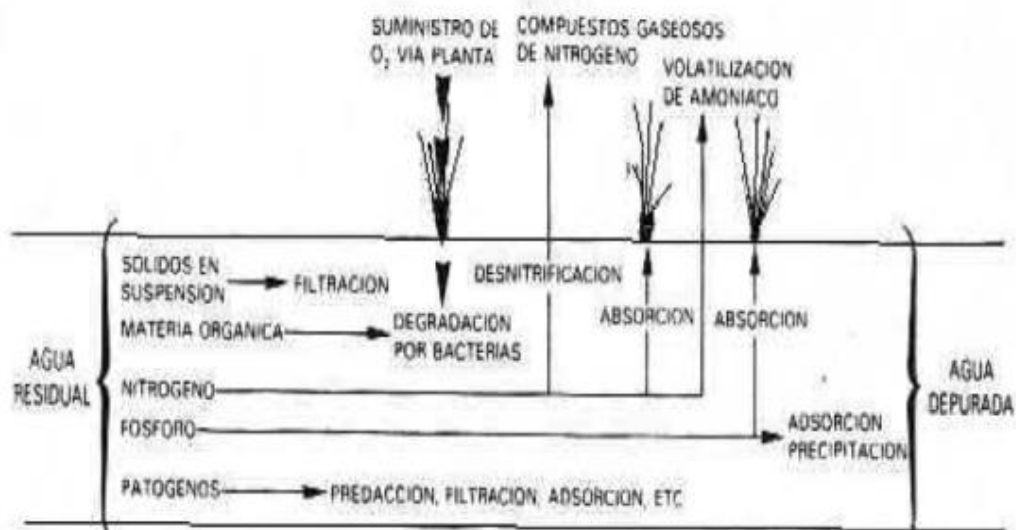


Figura 7: Microorganismo presentes en el humedal de flujo Horizontal.

Fuente: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1540/1839>.

D. MECANISMOS DE DEPURACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas se han diseñado corrientemente para eliminar materia en suspensión, materia orgánica y nutriente (nitrógeno y fósforo). A continuación se describen los mecanismos de eliminación de estos contaminantes en los humedales de flujo sub superficial.



*Figura 8: Proceso de Depuración de Humedales Artificiales.
Fuente Lara, J, 1999.*

Los procesos y mecanismos que intervienen en el tratamiento del efluente, de un humedal artificial incluyen: sedimentación, filtración, adsorción, degradación microbiológica, se produce un contacto con zonas aerobias y anaerobias. La zona aerobia se encuentra cercana a la superficie, alrededor de las raíces y rizomas de las plantas y la anaerobia en el fondo del lecho. Los microorganismos que degradan la materia orgánica forman una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema (J. Mena. 2008).

1. Remoción de Materia en Suspensión

La materia en suspensión queda retenida en los humedales por filtración del medio granular (por la sedimentación debida a la baja velocidad de circulación del agua y el tamizado que sucede a nivel de los espacios intersticiales del medio granular). En los humedales horizontales la mayor parte de la eliminación de la materia en suspensión sucede cerca de la zona de entrada y su concentración va disminuyendo de forma exponencial a lo largo del lecho. Casi toda la eliminación de la materia en suspensión sucede en 1/4 - 1/3 de la longitud total del sistema (J. García, 2008). La remoción de sólidos suspendidos es muy efectiva en los sistemas de humedales, además de ser rápida, se estima que gran parte de la retención ocurre entre el 12 y el 20% de la zona inicial del área total del humedal (Lara, 1999), o en los cinco primeros metros de distancia, consiguiendo valores de salida inferiores a 20 mg/l (A. Lahora, 2000).

El rendimiento de eliminación de la materia en suspensión en sistemas horizontales normalmente es de más del 90%. Un contenido excesivo de materia en suspensión en el agua residual puede provocar una pronta colmatación de los humedales. La sedimentación es el resultado de la acumulación de sólidos y contaminantes asociados sobre la superficie del suelo del humedal. (D. Peña, R. Infante, 2012).

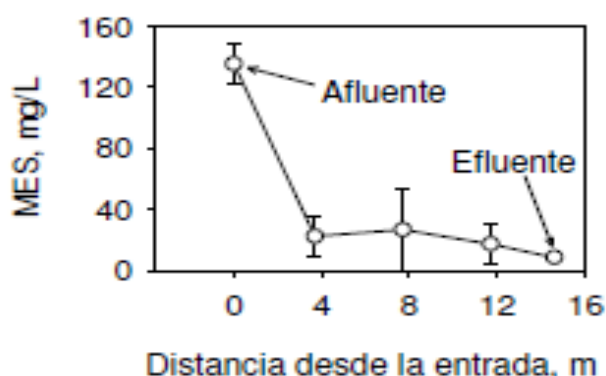


Figura 9: Evaluación de la concentración de materia en suspensión
Fuente García, J, 2008.

2. Remoción de Nitrógeno Total

En las aguas residuales urbanas el nitrógeno se encuentra fundamentalmente en forma de amonio y también como nitrógeno orgánico. Los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales construidos son la nitrificación y la desnitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato. Todo el proceso puede ser dividido en pasos, iniciando con la amonificación, seguido por la nitrificación y desnitrificación. (J. Marín, J. Correa, 2010). Sin embargo, también hay otros procesos que contribuyen a la eliminación como la adsorción del amonio y la asimilación realizada por las plantas (J. García).

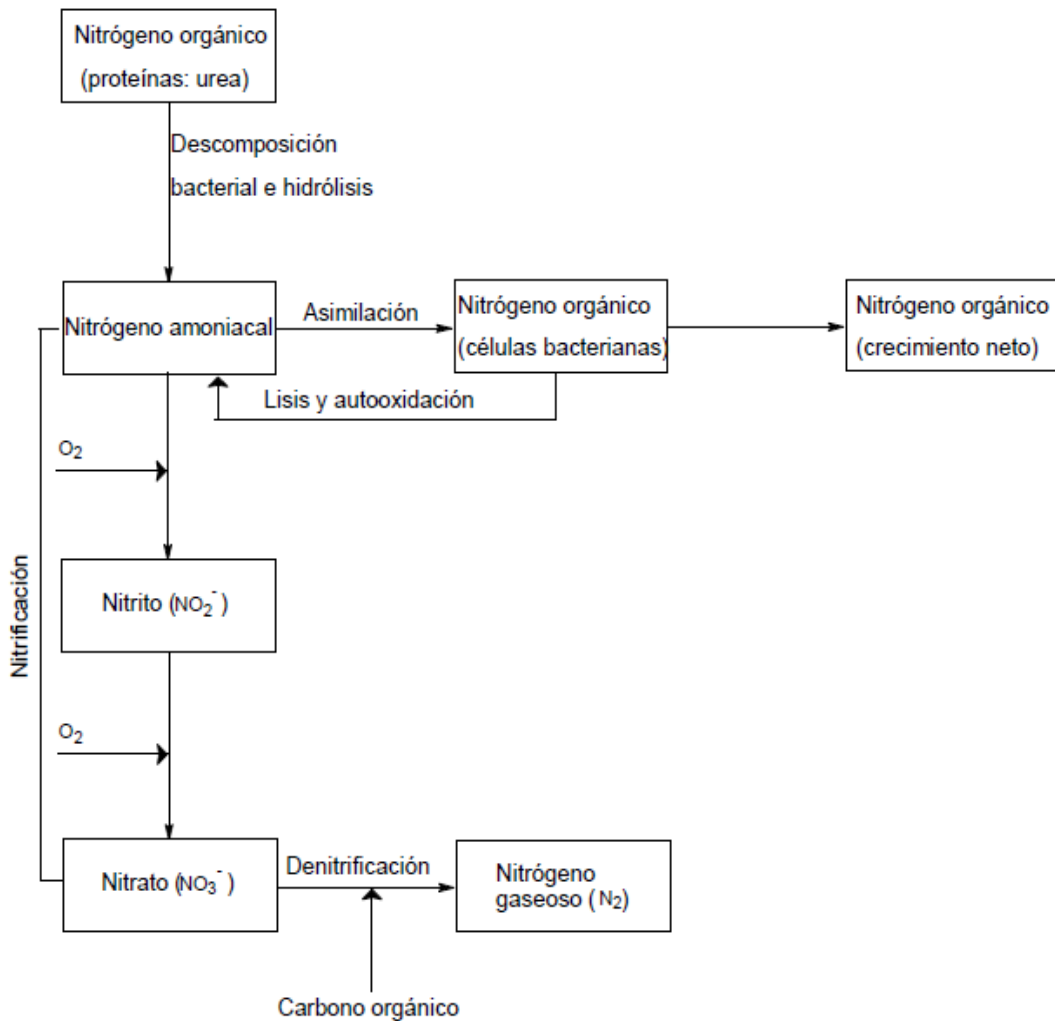
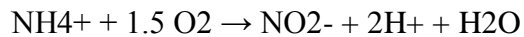


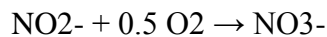
Figura 10: Mecanismos de Remoción de Nitrógeno.
Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000.

Nitrificación: En la nitrificación biológica, el amoníaco se oxida en un proceso de dos pasos: primero a nitritos y luego a nitratos, La conversión a nitrato se describe de la siguiente manera (J. Marín, J. Correa, 2010):

Conversión de amonio a nitrito (representado por las Nitrosomas)



Conversión de Nitrificación biológica o a nitrato por Nitrobacter

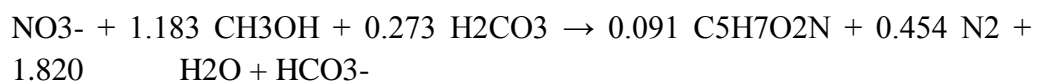


Conversión global de amonio a nitrato

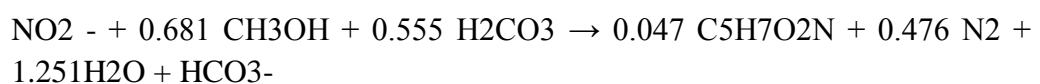


Desnitrificación: la conversión de nitratos a nitrógeno. Las bacterias desnitrificantes: *Pseudomonas* sp., *Achromobacter* sp. Y *Aerobacter* sp (O. Delgadillo) obtienen energía para su crecimiento de la conversión de nitratos en nitrógeno gaseoso, pero requieren una fuente de carbono para la síntesis celular. Dado que los efluentes nitrificados tienen, un bajo contenido de materia carbonácea, se requiere con frecuencia una fuente externa de carbono. En la mayoría de los sistemas biológicos de desnitrificación se utilizan aguas entrantes o de tejido celular como fuentes de carbono necesario. Con el metanol como fuente de carbono, la desnitrificación en etapas separadas se describe (J. Marín, J. Correa, 2010):

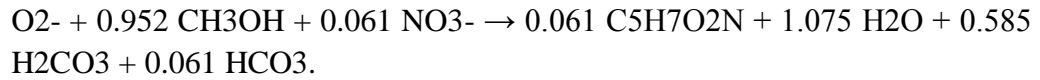
Para la remoción de los nitratos:



Para la remoción de los nitritos:

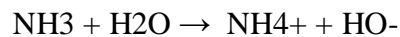


Para la remoción de oxígeno:



Los humedales son efectivos en la remoción de nitrógeno. Este puede ser asimilado por las plantas acuáticas que lo toman como nutriente, aunque la remoción de este tipo es mínima, de un 10 a un 15 % (J. Lara, 1998), la mayor eficiencia de remoción está dado por acción de bacterias nitrosomonas y nitrobacter en medios aeróbicos (Mena P., 2006), En el tratamiento de aguas residuales, cerca del 20% del nitrógeno total se decanta durante la sedimentación primaria.

Se considera nitrógeno amoniacal todo el nitrógeno existente en solución como amoníaco o ion amonio, dependiendo del pH de la solución.



La ecuación anterior indica que el amoníaco produce una solución básica cuando se disuelve en agua: sin embargo, a pH mayor de 9 predomina el ion amonio. La forma tóxica del nitrógeno amoniacal es la no ionizada (NH_3); la forma iónica (NH_4^+) no es tóxica. Por lo tanto, a pH bajo, una concentración relativamente alta de nitrógeno amoniacal total puede ser tóxica, puesto que solo una pequeña porción del total estará presente como NH_3 .

En aguas residuales domésticas la concentración de nitrógeno total puede ser de 30 a 100mg/L; la de nitrógeno amoniacal, de 5 a 20 mg/L; la de nitritos y nitratos menor de 1 mg/L. (Romero, 2004).

3. Remoción de Fósforo.

La eliminación de fósforo en los humedales es complicada. En general no se suele eliminar más del 10-20%. Los mecanismos de eliminación del fósforo pueden ser de tipo biótico y abiótico. Los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas y los microorganismos. Los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción por el medio granular. En muchos estudios se ha observado que después de la puesta en marcha de humedales se obtiene una buena eficiencia de eliminación del fósforo para después reducirse rápidamente en poco tiempo. Esto es debido a que el medio granular limpio tiene capacidad de adsorción, pero esta se va perdiendo rápidamente (J. García, 2008). El fósforo (P) se encuentra en las aguas residuales en formas orgánicas e inorgánicas, principalmente como son el fosfato PO_4^{3-} (Drizo, et al. 1997).



Figura 11: Ciclo del Fosforo

Fuente <http://desarrollobylizette.blogspot.pe/2016/05/ciclo-del-fosforo.html>

Retención hidráulica significativamente largo pueden remover un máximo de 50% de fósforo total (PT) presente en el agua residual doméstica (Drizo, et al. 1997); del 50% de remoción de PT, del 6 al 15% es atribuible a la acción de las plantas emergentes (Brix H, 1997) y del 75 al 90% al sustrato, dependiendo del tipo (Drizo, et al. 1997). Comparado con el 95% de remoción

de PT por el sedimento y las plantas presentes en humedales naturales (Vymazal, 2007), en cuanto a la remoción ocasionada por microorganismos es inferior al 5% (Davies y Cottingham, 1993). Los materiales utilizados para los sistemas de flujo subsuperficial es decir, grava de río o roca triturada, por lo general tienen baja capacidad de proporcionar un medio adecuado para la adsorción y precipitación (Vymazal, 2007).

Cuadro 4:

Eficiencia de remoción de fósforo total en diferentes tipos de humedales

Tipo de humedal	FFP	SWF	HAFSSH	SSFV
Eficiencia (%)	42.1	48.8	41.1	59.5

Fuente: Vyzamal 2007

E. PARÁMETROS FÍSICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.

1. pH

Medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrógeno. Aguas residuales en concentraciones adversas del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. Aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias. A pH bajo el poder bactericida del cloro es mayor, porque predomina el HOCl; a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica (NH₃). El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida generalmente es de 6,5 a 8,5. Para descarga de efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0; para procesos biológicos de nitrificación se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0 y para desnitrificación de 6,5 a 7,5 (Romero, 2004).

2. Temperatura

Este parámetro es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que muchos procesos biológicos dependen de la temperatura. Asimismo, es determinante para el desarrollo de la actividad bacteriana, cuyo rango óptimo se encuentra entre 25 °C a 35 °C. Cuando la temperatura se acerca a los 50 °C los procesos de digestión aerobia y nitrificación bacteriana se detienen; por otro lado, cuando la temperatura es menor a 5 °C la actividad microbiana se inhibe (Crites y Tchobanoglous, 2000). La temperatura se determina en el lugar de muestreo mediante termómetros. (O. Delgadillo y A. Camacho, 2010).

3. Turbidez.

Se define a la turbidez de una muestra de agua, como una medida de la pérdida de su transparencia, ocasionada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua (Cárdenas, 2005). Indica que el material coloidal impide la transmisión de la luz, ya que la absorbe. La turbidez está asociada con el tamaño de partículas: a menor tamaño de partículas se tendrá mayor turbidez del agua, las mediciones se expresan en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT). (O. Delgadillo y A. Camacho, 2010).

Una elevada turbidez puede afectar al proceso de depuración de aguas de la siguiente forma:

- Protegiendo a los microorganismos patógenos de los efectos de la desinfección por acción de la luz solar.

- Estimulando la proliferación de bacterias.

- Disminuyendo la capacidad de fotosíntesis de plantas acuáticas y zooplancton (Leandro et al, 2004).

F. IMPORTANCIA DE LA VEGETACIÓN PARA EL TRATAMIENTO EN AGUAS RESIDUALES EN HUMEDALES DE FLUJO HORIZONTAL.

En el tratamiento de aguas residuales en humedales artificiales de flujo subsuperficial la mayoría de reacciones bioquímicas se producen en las interfaces sólido- líquido. La fase sólida o medio granular, es el medio de soporte que junto con las raíces de las plantas, albergan la biopelícula donde ocurre un conjunto de procesos abióticos (físicos/químicos) y bióticos (microbianos/fitológicos) que tienen lugar en un humedal artificial. Estos procesos provocan una reducción del número de microorganismos patógenos, constituyendo dicho humedal como un sistema eficiente para eliminar microorganismos perjudiciales para el ambiente y por lo tanto para la salud humana, además de mejorar la calidad sanitaria de los efluentes tratados (Vymazal, 2009).

1. La Fito remediación:

Este es un sistema donde las plantas toman parte de los componentes del efluente residual, principalmente nitrógeno y fósforo para su crecimiento, de la misma manera, son capaces de retener y por lo tanto, disminuir las concentraciones de metales pesados, hidrocarburos, entre otros tipos de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua (Vymazal, 2008).

Las plantas absorben abundante cantidad de nutrientes, minerales y agua; y se generan grandes cantidades de biomasa, la tasa de crecimiento y desarrollo tiende a ser mayor debido a que ingresan abundantes nutrientes presentes en el afluente (Vymazal, 1993). Los problemas que pueden surgir como resultado de abundante vegetación senil en el tratamiento de aguas residuales en humedales, son las bajas concentraciones de oxígeno disuelto

(OD) generando valores inferiores a 1,0 mg/L (Kadlec y Knight, 1996; Stottmeister, et al. 2003), que puede restringir la nitrificación, así como disminuir la actividad microbiana y de los macro invertebrados que pueden descomponer la materia orgánica (Vymazal, 1993).

2. Mecanismos y fases de la fito remediación.

Los mecanismos por el cual las plantas disminuyen la concentración de contaminantes presentes en el medio son los siguientes:

- a. **La fitoextracción o fitoacumulación;** consiste en la absorción de los contaminantes presente en un medio a través de las raíces de las plantas, capaces de acumular contaminantes en los tejidos que forman las raíces, también en la parte del tallo o follaje. (Dushenkov, et al. 1994).
- b. **La rizofiltración;** se basa en la utilización de plantas cultivadas en medios hidropónicos; dichas plantas poseen características como: alta tasa de crecimiento y cobertura de área superficial, para absorber, concentrar y precipitar contaminantes (Leto, et al. 2013).
- c. **La fitoestimulación o rizodegradación.** Estas plantas presentan zonas radiculares que estimulan el crecimiento de los microorganismos capaces de degradar compuestos orgánicos xenobióticos (Borin, et al. 2012).
- d. **La fitoestabilización;** es un mecanismo para desarrollar un sistema denso de raíces que permite reducir la biodisponibilidad y la movilidad de los

contaminantes, evitando el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera (Borin, et al. 2012, Zalem, Z., et al. 2013).

- e. **La fitodegradación;** consiste en la transformación de los contaminantes orgánicos en moléculas más simples, dichos contaminantes y los productos de su degradación pueden ser utilizados por la planta para su metabolismo y en otros casos los contaminantes pueden ser biotransformados. (J. Lara, 1999.).

- f. **La fitovolatilización;** se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmósfera (Borin, et al. 2012).

Una planta **fitorremediadora** realiza cualquiera de los mecanismos anteriores siguiendo tres fases: Absorción, excreción y desintoxicación de contaminantes.

- Esta absorción del contaminante ocurre en la rizodermis de las raíces jóvenes, que absorben los compuestos por ósmosis dependiendo de factores externos como la temperatura y el pH del suelo. Los contaminantes son distribuidos a través de toda la planta (Xion J., et al. 2011, Borin, et al. 2012).

- Los contaminantes que se absorben por las raíces, se eliminan vía hojas (fitovolatilización). (Borin, et al. 2012).

- La desintoxicación de los compuestos orgánicos se lleva a cabo por la vía de la mineralización hasta dióxido de carbono (Borin, et al. 2012).

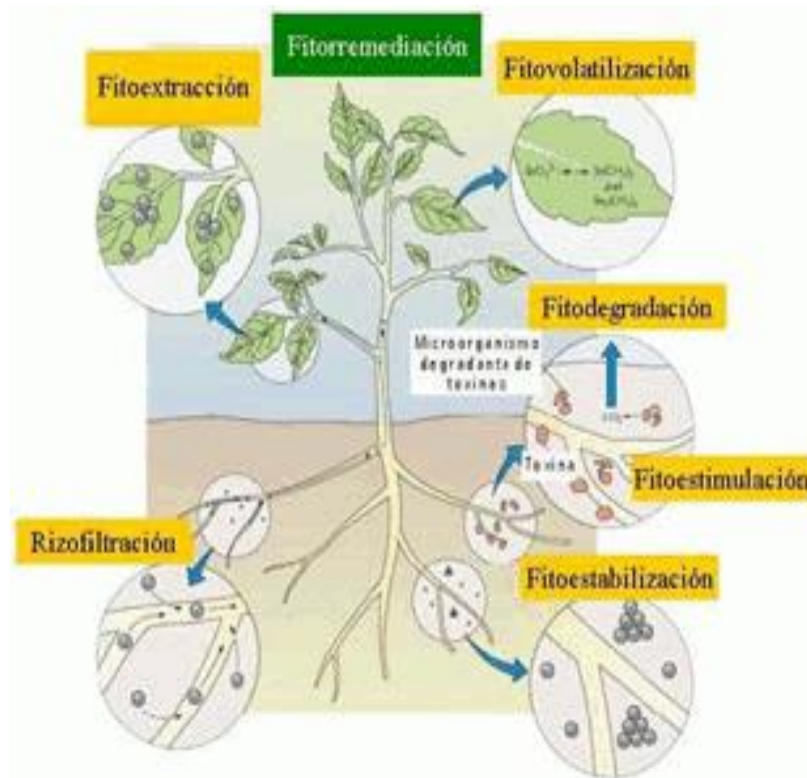


Figura 12: Fases de Fitoremediación de la planta.

Fuente <http://www.mexicoambiental.com/v2/el-uso-de-las-plantas-acuaticas-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales>.

3. Propagación de especies macrófitas en los Humedales.

La técnica más utilizada para la propagación de plantas de humedal es la propagación vegetativa, sin excluir el manejo de semillas para producciones a gran escala, evitando causar alteraciones en los ecosistemas acuáticos. La propagación vegetativa es la obtención de material vegetal a partir de tallos, raíces, hojas o ramas. (A. Bohórquez, 2009).

Propagación vegetativa a partir de tallos, puede lograrse empleando partes de la planta como:

- Estolones:** son secciones de tallos aéreos que generan raíces adventicias.

- **Rizomas:** se generan a partir del crecimiento horizontal de un tallo subterráneo.
- **Tubérculos:** estructuras formadas en el extremo de tallos subterráneos de poco calibre un grosor uniforme en toda su longitud, sobre la cual crecen raíces adventicias, las cuales no existen en los nudos de los tubérculos.
- **Brotos:** son ramas o tallos que desarrollan raíces adventicias no independientes de la planta progenitora. (A. Bohórquez, 2009).

Manejo del material de propagación

La técnica más común de enraizamiento es la inducción de la formación de raíces mediante cortes en una sección del tallo o de la rama, de manera que se origine una planta independiente. La técnica de propagación por medio de cortes de ramas se divide en: de segmentos foliados y de segmentos defoliados.

Enraizamiento de segmentos defoliados

Se deben cortar las ramas y plantarlas en el sustrato húmedo para provocar su enraizamiento al encontrarse en un estado de latencia meristemática, al volver al estado de crecimiento los propios cambios hormonales que ocurren en el segmento desencadena la producción de raíces en la superficie que está en contacto con el sustrato.

Enraizamiento de segmentos foliados

Es necesario mantenerlos en compartimientos sombreados y húmedos hasta que enraícen. Deben emplearse sustancias enraizadoras y mantenerse los segmentos recién plantados bajo agua nebulizada para evitar su deshidratación.

Obtención de estacas:

El área donde se colocan las estacas para el enraizamiento debe ser fresca y sombreada. La temperatura óptima se encuentra entre los 20 y 25° C., cuando las temperaturas superan 30°C. (A. Bohórquez, 2009).

Adaptación de material vegetal en el humedal

La adaptación se dará manteniendo las condiciones de sustrato y de agua residual, con el fin de evaluar su tolerancia y grado de adaptación. El periodo de enraizamiento será de 45 días en la etapa de vivero, llevándoles luego a un sitio definitivo donde se adaptaron en los siguientes 60 días.

Del material vegetal se evaluará:

- a) Crecimiento: raíces, con especial atención a su crecimiento horizontal y profundidad efectiva; cobertura vegetal en relación al número de hojas y tamaño de las mismas; altura.
- b) Estado fitosanitario: color y forma de hojas, presencia de hongos e insectos.
- c) Se analiza el crecimiento de las raíces, con especial atención a su crecimiento horizontal y profundidad efectiva (www.flickr.com).

En el mantenimiento del material vegetal es indispensable controlar parámetros hidráulicos como:

- a) El caudal (flujo promedio de entrada y salida), que debe considerar pérdidas o ganancias por evapotranspiración, filtración y precipitación

- b) El coeficiente de resistencia hidráulica, el cual varía según la densidad del material vegetal, del volumen de residuos y de la vegetación emergente.
- c) Incremento de Biomasa: Es la masa total de materia biológica que vive por unidad de área generada por la absorción de nutrientes que lo incorporan al tejido de la planta (https://es.wikipedia.org/wiki/Material_biol%C3%B3gico).

G. ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO).

Descripción

Especie herbácea perenne de entre 60 a 100 cm de altura. Posee un rizoma oblongo y grueso del que surgen raíces de hasta 15 cm de largo. Produce numerosas hojas de color verde brillante basales, sagitadas y largamente pecioladas.



Figura 13: Zantedeschia Aethiopica (Cartucho)

Fuente: <http://el-espiritu-de-las-plantas.blogspot.pe/2012/09/zantedeschia-aethiopica-cala-blanca.html>

Distribución y hábitat:

Esta planta es originaria de Sudáfrica. Se ha naturalizado y también se cultiva en muchas otras partes del mundo de clima cálido o tropical.

Partes:**Raíz****tallo****inflorescencia****semilla**

Figura 14: Partes de la especie Zantedeschia Aethiopica (Cartucho)
 Fuente: <http://el-espíritu-de-las-plantas.blogspot.pe/2012/09/zantedeschia-aethiopica-cala-blanca.html>

Usos y cultivo:

Según algunos estudios científicos puede ser útil en la limpieza de aguas residuales evitando la proliferación de algas. Se cultiva en sombra o semisombra en terrenos húmedos y fértiles o como planta semiacuática.

Toxicidad:

Toda la planta es tóxica (no debe ser ingerida) contiene cristales de oxalato de calcio. La savia es muy irritante, por contacto directo produce irritación de la piel, labios, mucosa bucal, gastroenteritis y diarrea.

Taxonomía

Cuadro 5: Taxonomía de *Zantedeschia aethiopica* (cartucho).

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Alismatales
Familia:	Araceae
Género:	<i>Zantedeschia</i> K. KOCH
Especie:	<i>Zantedeschia aethiopica</i> (L.) SPRENG.

Fuente: <http://blogspot.pe/2012/09/zantedeschia-aethiopica-cala-blanca.html>

2.2.3. ÁMBITO DE ESTUDIO

Generalidades:

La investigación se realizó en Centro Ecológico de Investigación Forestal y Agroforestal Tuyu – Ruri, UNASAM, ubicado en el Distrito de Marcará, con una población altamente deficitaria, de los servicios básicos como son: el agua potable, alcantarillado y disposición final de aguas servidas, lo que ocasiona la baja calidad de vida de los pobladores y limitaciones en su progreso personal.

Ubicación:

a. Ubicación Política:

- Departamento : Ancash
- Provincia : Carhuaz
- Distrito : Marcara

b. Ubicación Geográfica:

- ✓ Norte (UTM) : 18 S 214630.53
- ✓ Sur (UTM) : 8968396.27
- ✓ Altitud : 2 767 msnm
- ✓ Cuenca : Río Santa

Características:

- **Vías de Acceso:**

La accesibilidad a la zona del proyecto se realiza a través de una carretera asfaltada a una distancia aproximada de 34 Km de la ciudad de Huaraz. Los medios de transportes pueden ser desde Buses hasta carros particulares.

- **Clima:**

La ciudad de Marcará tiene un clima templado soleado y seco, con temperaturas que varían desde los 12 a los 21 grados centígrados casi todo el año, se encuentra en una cuenca húmeda presenta precipitaciones anuales entre 250 mm y 1,200 mm.

Antecedentes:

Actualmente existe un sistema de saneamiento que funciona de manera deficiente, el cual ocasiona muchos problemas de salubridad en su comunidad, dentro del mismo se encuentra el incremento de enfermedades gastrointestinales y del sistema respiratorio en la población.

En la ciudad de Carhuaz, las aguas residuales domesticas funcionan por gravedad (red de colectores), presentando buzones de concreto simple y actualmente no cuentan con sus tapas, existen problemas serios en este sistema.



Figura 15: Mapa de Ubicación Geográfica.

Fuente: http://www.perutoptours.com/index02car_mapa_carhuaz.html.



Figura 16: Mapa de la ubicación de la Tesis, Centro Experimental Ecológico TUYU RURI - Provincia de Carhuaz.

Fuente: http://www.perutoptours.com/index02car_mapa_carhuaz.html

2.2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Términos Básicos.

- ❖ **Agua residual doméstica:** Aguas residuales de origen doméstico, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **Tratamiento primario:** Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **Tratamiento secundario:** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión. (Ministerio de Vivienda, 2006) .
- ❖ **Humedales Artificiales de Flujo Horizontal:** Son sistemas de Fito depuración de aguas residuales que consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a una planta de tratamiento o proceso de tratamiento. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de

tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje. (Ministerio de Vivienda, 2006).

- ❖ **Aerobios.** Son aquellos microorganismos que pueden vivir y desarrollarse con presencia de oxígeno molecular libre. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **Anaerobios.** Son aquellos microorganismos que pueden vivir y desarrollarse en ausencia completa de oxígeno molecular libre. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **DBO5:** Demanda bioquímica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.). (J. Lara, 2010).
- ❖ **Nitrógeno:** Presente en el agua residual en el nitrato es un compuesto inorgánico (NO_3). (J. Lara, 2010).
- ❖ **Nutriente:** Cualquier sustancia que al ser asimilada por microorganismos promueve su crecimiento. En aguas residuales se refieren normalmente al nitrógeno y fósforo. (J. Lara, 2010).
- ❖ **pH:** Logaritmo de signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno expresado en moles por litro. (J. Lara, 2010).
- ❖ **TH:** Tiempo de Retención es un factor importante para la eficiencia en la remoción de los nutrientes en el humedal. (J. Lara, 2010).
- ❖ **SS (Sólidos Suspendidos):** Pueden dar lugar a al desarrollo de depósitos de fangos y de condición anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar a un entorno acuático. (J. Lara, 2010).

- ❖ **Fosforo:** Presente en las aguas residuales domesticas mediante fosfato. (J. Lara, 2010).
- ❖ **ECA:** Estándares de Calidad Ambiental. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **LMP:** Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de agua residual. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **Eutrofización:** Acumulación de residuos orgánicos en el litoral marino o en un lago, laguna, embalse, etc., que causa la proliferación de ciertas algas. (J. Lara, 2010).
- ❖ **Reúso de aguas residuales:** Utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico. (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ❖ **Adsorción** Proceso mediante el cual un sólido poroso a nivel microscópico retiene partículas de un fluido en su superficie tras entrar en contacto con éste. El adsorbente dispone de nano poros, lo que se conoce como centros activos, en los que las fuerzas de enlace entre los átomos no están saturadas. (O. Delgadillo, A. Camacho2010).
- ❖ **Absorción:** Paso de sustancias a través de la membrana celular, o tejidos especializados, del medio externo al medio interno de un organismo vivo para su asimilación. (O. Delgadillo, A. Camacho, 2010).
- ❖ **Detrito:** Residuos, generalmente sólidos, provenientes de fuentes humanas y depositados indiscriminadamente en el suelo y en el agua (internet).

CAPITULO III

III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN:

3.1.1. SEGÚN EL PROPÓSITO Y APLICACIÓN:

Es Aplicada y Tecnológica.

La investigación es de tipo tecnológico por que se ha realizado un estudio y diseño de un humedal de flujo horizontal para la depuración de agua residual con la especie *zantedeschia aethiopica*.

Y de tipo aplicativa porque es orientada a la remoción y disminución de nutrientes (nitrógeno y Fosforo) y solidos suspendidos del efluente humedal de flujo horizontal.

3.1.2. SEGÚN LA NATURALEZA, PROFUNDIDAD Y/O ALCANCE:

Es Experimental y Explicativa.

La investigación es de tipo experimental porque se estudió la variable independiente, y su relación directa con la variable dependiente. Asimismo busca explicar los efectos de la variable independiente.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA TESIS.

3.2.1. MÉTODOS:

Para la ejecución de la presente investigación se realizó las siguientes acciones o procedimientos:

1. Reconocimiento y evaluación visual de la zona de estudio.
2. Recolección de información: primaria, local y secundaria
3. Selección y levantamiento topográfico de la zona donde ira la planta piloto.
4. Caracterización del efluente a tratar
5. Diseño hidráulico y estructurales del de Humedal Subsuperficial de flujo horizontal.
6. Construcción e implementación del Humedal Flujo Horizontal y de algunas unidades de la Planta Piloto.
7. Selección, recolección y pre adaptación de *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho)
8. Habilidad e instalación de sustratos al humedal
9. Trasplante *Zantedeschia Aethiopica*-cartucho al humedal
10. Puesta en Marcha de la Planta Piloto y Evaluación preliminar del Sistema
11. Evaluación de la adaptación y biomasa de la especie *zantedeschia aethiopica* a las características del agua residual del humedal de Flujo horizontal
12. Toma de muestra del agua residual en la entrada y salida del humedal para su análisis en el Laboratorio.

1. Reconocimiento y evaluación visual de la zona de estudio.

Se realizó la observación directa, evaluando el estado actual del agua residual domestica procedente del poblado denominado Tuyururi, el cual no cuenta con tratamiento alguno.



*Fotografía 1: Evaluación visual del estado actual del agua residual a tratar.
Fuente. Trabajo de Campo.*

2. Recolección de información: primaria, local y secundaria.

Se recolectó la información secundaria: bibliográfica obtenida a través de Internet y libros relacionados a la eficiencia de un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH); la cual se utilizó como base de referencia para la elaboración del diseño y adaptado a las condiciones climáticas de la localidad. La información Local; Los datos de temperatura mensual ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa mensual (%) y Precipitación total mensual (mm), se obtuvieron de dos fuentes los primeros dos meses se adquirieron de (AccuWeather, 2017) y últimos 5 meses se obtuvieron del Centro de investigación ambiental para el desarrollo (CIAD) – UNASAM. (Anexo 1).

La información primaria; son parámetros de diseño para el humedal como: el caudal promedio mediante aforo de la red pública de desagüe, del cual se derivará un caudal para tratamiento, análisis de infiltración del suelo mediante

calicatas y demás datos para el diseño de la estructura del humedal. El aforo del caudal de la red a tratar se realizó con el método de la esfera de corcho.



*Fotografía 2: Prueba de infiltración con calicata y datos de posición del humedal.
Fuente: Trabajo de Campo.*



*Fotografía 3: Aforo de caudal para el diseño del humedal de flujo horizontal.
Fuente: Trabajo de Campo.*

3. Selección y levantamiento topográfico de la zona donde se ubicará la planta de tratamiento piloto.

La ubicación y selección del lugar donde se ubica el humedal, se determinó por las características y condiciones físicas que ofrece el terreno del centro ecológico Tuyururi para el propósito de la presente investigación.



*Fotografía 4: Levantamiento topográfico de todo el sistema a escala piloto.
Fuente. Trabajo de Campo.*

4. Caracterización del efluente a tratar.

Se recolecto del buzón rectangular de captación una muestra del agua residual a tratar del mismo modo su temperatura.



*Fotografía 5: Recolección de la muestra de agua residual a tratar y medición de la temperatura del mismo.
Fuente. Trabajo de Campo.*

5. Diseño hidráulico y estructural del humedal subsuperficial de flujo horizontal.

Las concentraciones de mg/l de la DBO necesarias para el diseño del humedal de flujo horizontal, fueron recolectados en muestras de aguas residuales de los buzones de la red pública (el cual abastece en el porcentaje de caudal a la planta piloto), estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de calidad ambiental y se obtuvo un resultado de 127 mg/l en la entrada del tratamiento con la planta piloto. Debido que el tratamiento del humedal es secundario, y contando con un tratamiento primario mediante un biodigestor que teóricamente remueve el 70 % de DBO (D. Mendoza, C. Ramos, 2012). Por lo tanto a la concentración de DBO (mg/l) al ingreso de la planta piloto se le descuenta el 70% de remoción del tratamiento primario, resultando el 30% para tratamiento con valor de 38.10 mg/l. El caudal para el diseño es el 50% del caudal que debe tratar el biodigestor, es decir 0.3 m³/día.

Los procedimientos, formulas y cálculos para la determinación de los parámetros de diseño del humedal de flujo horizontal se realizaron teniendo como guía el modelo de cálculo del libro “Depuración de Aguas Residuales con humedales Artificiales” de Jaime Andrés Lara Borrero. Estos datos de partida son los más accesibles en campo.

Constante de Temperatura (Kt):

$$K_T = K_{20} (1,06)^{(T-20)}$$

Dónde:

K₂₀: Constante cinética, de primer orden 1.104 días⁻¹.

T: Temperatura media del agua residual °C.

Área Superficial (A_s):

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_T (y)(n)}$$

Dónde:

Q: Flujo de agua residual, m³/d.

η: Porosidad.

y: Profundidad, m.

Ce y Co: Concentración efluente y afluente, mg/l.

kt: Constante de temperatura días⁻¹.

Tiempo de Retención Hidráulica (THR):

$$TRH = \frac{As * y * \eta}{Q}$$

Dónde:

As: Área superficial, m².

Q: Caudal, m³/d.

y: Profundidad, m.

η: Porosidad.

Ancho de la celda según el número (W)

$$W = (1/y) * (Q * (As / (\# \text{ de celdas})) / (S * ks))^{0.5}$$

Dónde:

Q: Flujo de agua residual, m³/d.

As: Área superficial, m².

S: Pendiente o gradiente hidráulica, m/m.

y: Profundidad, m.

de celdas: Numero de celdas, unid.

ks: conductividad hidráulica, m³/m²*d.

Material granular y la conductividad hidráulica serán seleccionados del siguiente cuadro

Cuadro 6: Características de los medios para humedales.

Tipo de material	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, k_s ($m^3/m^2/d$)
Arena gruesa	2	28-32	100-1.000
Arena gravosa	8	30-35	500-5.000
Grava fina	16	35-38	1.000-10.000
Grava media	32	36-40	10.000-50.000

Fuente: J. García, 2010.

Largo de la celda:

$$L = A_s / W / (\# \text{ de celdas}).$$

Dónde:

As: Área superficial, m².

W: Ancho de la celda m.

Consideraciones para el diseño: Largo (m), ancho (m) y su relación L:A (3:1). Y

Profundidad del humedal (m), con borde libre de 0.20 m.

Para la distribución y dimensionamiento de los orificios de la tubería de ingreso al humedal, se consideró, el nivel de agua es uniforme sobre cada uno de los orificios, descargando caudales iguales, lo que se consigue realizando los orificios al mismo nivel del eje horizontal de la tubería como se indica la figura, siendo parecido el tratamiento en la tubería agujerada que recolecta el caudal tratado.

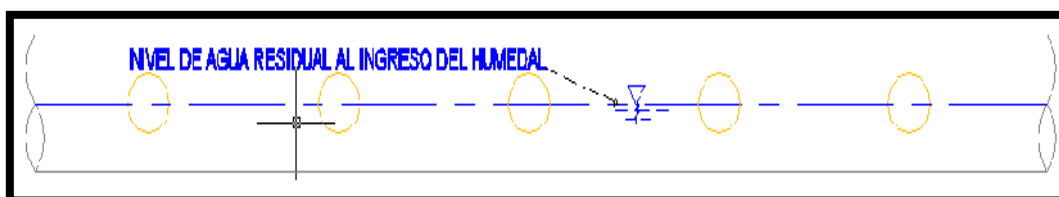


Figura 17: Distribución de orificios en tubería de ingreso y salida del humedal.

Fuente. Trabajo de Gabinete.

6. Construcción del humedal de flujo horizontal y de algunas unidades de la Planta Piloto.

El sistema de tratamiento de aguas residuales a escala piloto que consta de las siguientes estructuras:

- a. **Una unidad de pre tratamiento y captación**, que consiste en un buzón rectangular de concreto armado de $f'c=175 \text{ kg/cm}^3$; en el interior se instalaron cribas laterales hacia la derivación para la retención de sólidos de gran tamaño, seguidamente se encuentra una placa lateral de acero donde se perforó un orificio de diámetro aproximado de 1", por el cual se deriva el caudal necesario para el estudio de 0.00694 lps. También se cuenta con una placa de acero en el lado frontal (hacia la salida), el cual regula un nivel constante de agua y por ende una captación de caudal constante por el orificio.



*Fotografía 6: Buzón rectangular de Captación del Caudal.
Fuente. Trabajo de Campo.*

- b. **Un Biodigestor como tratamiento primario**. De capacidad de 600 litros por día; con dimensiones de altura 1.6m y diámetro 0.86m. El afluente del biodigestor viene de la línea de conducción proveniente del buzón rectangular de captación y el efluente desemboca en una caja distribuidora de caudal para los humedales.



*Fotografía 7: Biodigestor.
Fuente. Trabajo de Campo.*

- c. **Una caja de distribución de caudales**, de concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con tapa móvil de concreto. Cumple la función de dividir el caudal ingresante del biodigestor en dos partes iguales, 50% para cada humedal (humedales de flujo horizontal y vertical) mediante dos vertederos metálicos triangulares ubicados al mismo nivel en el interior de la caja.



*Fotografía 8: Caja de Distribución de Caudal.
Fuente. Trabajo de Campo.*

- d. **Un humedal de flujo horizontal**, de concreto armado $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, cuya construcción se realizó mediante el siguiente procedimiento:

- ✓ Excavación manual de terreno respetando simetría y dimensionamiento.



*Fotografía 9 : Excavación y perfilado manual del humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.*

- ✓ Habilitación e instalación de acero de refuerzo, mediante una canastilla de fierro corrugado de diámetro $\frac{1}{4}$ " en doble sentido a cada 0.20 m., incluidas instalación de tuberías de ingreso (2") y salida (4").



*Fotografía 10: Habilitación e Instalación de acero de refuerzo y tuberías de evacuación del Humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.*

- ✓ Vaciado de concreto $f'c=210$ Kg/cm² con aditivo impermeabilizante para prevenir filtraciones del humedal, en piso (con pendiente longitudinal 1%) y paredes inclinadas (talud 1:0.80) según diseño, con acabado final frotachado, empotrándose en el concreto las tuberías de ingreso y salida.



Fotografía 11: Vaciado de concreto en piso y pared del humedal con la instalación de tuberías de ingreso y salida.

Fuente. Trabajo de Campo.

- ✓ **Una caja de recolección a la salida del humedal**, de concreto $f'c=175$ kg/cm² con tapa de concreto armado y tubería PVC-SAL de diámetro 4" al ingreso de la caja, empotrada en el piso mediante un codo 90° de PVC-SAL y una tramo de tubería del mismo diámetro en posición vertical para el control del nivel de agua en el humedal. En esta caja se hace la recolección para las muestras de agua residual tratada por el humedal.



Fotografía 12: Construcción de la caja de recolección del efluente del humedal.

Fuente. Trabajo de Campo.

7. Recolección, selección y pre adaptación de *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho).

La planta recolectada en campo fue seleccionada teniendo en cuenta que la especie en su hábitat natural alcanza una biomasa considerable por unidad de superficie y así podrá conseguir la máxima asimilación de nutrientes. Su capacidad para crecer fácilmente en distintas condiciones ambientales de su hábitat de origen pudiendo considerar que puede tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.. Una vez seleccionada la planta se procedió al pre adaptación la cual se realizó en recipientes de lavatorios de plásticos con agua de acequia y turba por un periodo de 15 a 20 días. Como indica la imagen.



Fotografía 13: Recolección, selección y Pre adaptación de Zantedeschia Aethiopica.

Fuente. Trabajo de Campo.

8. Habilitación e Instalación de los sustratos seleccionados al humedal.

Según los criterios de diseño para fines operacionales del humedal se adquirió los sustratos requeridos de una cantera cerca.

Se habilito arena gravosa de 8 mm de diámetro como el medio granular filtrante de relleno en el humedal con un espesor de 30 cm. Luego se habilito y coloco grava fina de $\varnothing = 2\text{mm}$ como segunda capa en un espesor 10 cm.

En la parte de ingreso del agua residual al humedal se colocó grava fina de 16 mm. Con un espesor de 40 cm.



Fotografía 14: Habilitación y colocación del material granular en el humedal.

Fuente. Trabajo de Campo.

9. Trasplante de la planta *Zantedeschia Aethiopica*-cartucho al humedal de flujo horizontal.

Una vez transcurrido el periodo de pre adaptación se trasplanto las especies *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) al humedal colocándolas a una distancia de 20 cm de planta a planta considerando una densidad de siembra de 5 plantas/m². Haciendo un de 75 plantas de población.



Fotografía 15: Trasplante y siembra del cartucho en el sustrato del humedal.

Fuente. Trabajo de Campo.

10. Puesta en Marcha de la Planta Piloto y Evaluación preliminar del Sistema.

Después del trasplante de las plantas se puso en marcha el funcionamiento de humedal con el ingreso del caudal que proviene de la caja de distribución que capta el agua residual evacuado del biodigestor. La evaluación preliminar del sistema será realizada durante un mes; es el tiempo de adaptación de la planta, con una frecuencia de 2 veces por semana, aforando y cuidando el caudal, el pH y la temperatura a la entrada y salida del humedal.



Fotografía 16: Medición de parámetros físicos en el ingreso y salida del humedal.

Fuente. Trabajo de Campo.

11. Evaluación de la adaptación de la especie.

Quincenalmente fue evaluada las variables de crecimiento de la planta, altura de tallo, número de hojas y desarrollo radicular y coloración. Se tomaron 3 plantas por cada metro cuadrado para el análisis de incremento de biomasa, estas plantas fueron seleccionadas por ser una la más pequeña, otra la mediana y la última la más grande del grupo.

Se consideraron los datos del incremento de masa de la planta a cada monitoreo del agua residual del humedal, estos datos serán considerados en el discusión de resultados de la presente tesis.

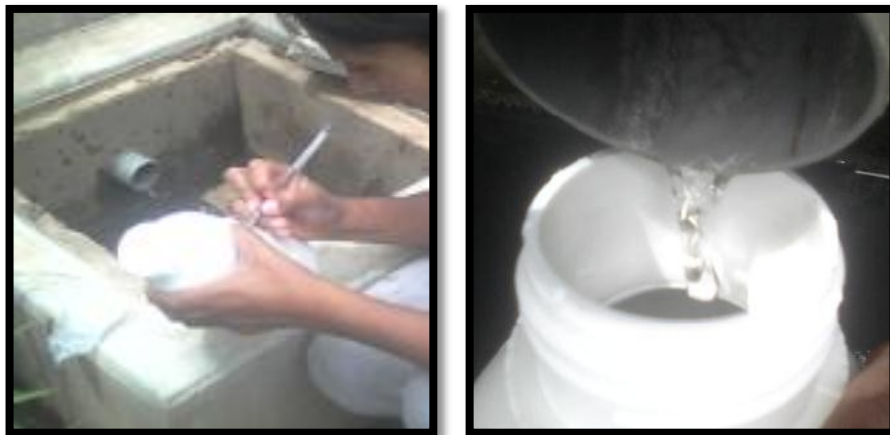


Fotografía 17: Medición del incremento de biomasa de la planta.

Fuente. Trabajo de Campo.

12. Toma de muestra del agua residual en la entrada y salida del humedal para su análisis en el laboratorio.

La toma de muestras a la entrada y salida de la unidad, se realizarán quincenalmente por un periodo de 3 meses. Las variables a considerar serán STS, N total, P total, las cuales serán medidas mediante métodos normalizados (APHA, 1992) y cuyos valores serán verificados con la Estándares de Calidad Ambiental (ECA), sub categoría 4.



Fotografía 18: Toma de muestra del agua residual para su respectivo análisis en el laboratorio.

Fuente: Trabajo de Campo.

3.2.2. PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

La recopilación de datos se realizará de la siguiente manera.

A. Análisis de Bibliografías y Documentos:

La primera fuente de información son las informaciones de bibliografías para recopilar los diferentes estudios realizados sobre Tratamiento de Aguas Residuales con Humedales Artificiales con Flujo Horizontal. La información puede ser materia de primer nivel como de segundo nivel o técnicas de análisis documental propiamente dicha, etc.

B. Trabajo de Campo:

Se realizaron las siguientes acciones:

Toma de parámetros físicos para el diseño de humedal mediante el aforo de agua residual que pasa por los buzones de la red de desagüe de donde se captara el agua residual a tratar.

Levantamiento topográfico del lugar seleccionado y cedido por el fundo ecológico Tuyururi, donde se ubicara la planta piloto de aguas residuales.

Toma de muestra de agua residual del colector ubicado en las afueras del centro ecológico tuyu Ruri; del cual abastecerá a la planta piloto para hallar el parámetro de diseño químico.

Toma de muestra del agua residual a la entrada y salida del humedal de flujo horizontal.

3.2.3. DISEÑO ESTADÍSTICO: POBLACIÓN Y MUESTRA.

Población: Es el caudal resultante de tratamiento primario aforado en la caja de distribución de caudales; ubicado en el centro ecológico - Marcará.

Muestra: Es el caudal a tratar en el humedal de flujo horizontal con presencia de la planta *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho)

Diseño y Caracterización de la muestra: La muestra que se utilizó para la estimación de los tiempos óptimos consta de un caudal de 0.3 m³/s aproximadamente; cumpliendo así con los requerimientos y/o limitaciones del muestreo y las técnicas de análisis.

Característica de Muestreo:

Parámetros hidráulicos: Caudal, Tiempo de Retención Hidráulica, Volumen, temperatura y pH del afluente y efluente.

Parámetros físico-químicos: Turbiedad, PO_4^{3-}P (fosfato), $\text{NH}_4\text{-N}$ (N-Amoniacal), NO_3 (Nitrato) y Solidos Totales en Suspensión a nivel de laboratorio.

3.2.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN:

A. Apuntes y resúmenes de revisión bibliográfica.

La información recopilada de fuentes bibliográficas y fuentes infografías será realizada mediante apuntes y resúmenes para argumentar el sustento teórico de la investigación.

B. Reporte de Análisis de Laboratorio.

Los reportes del análisis de laboratorio sirven para evaluar la eficiencia de la plantas de cartucho en el porcentaje de remoción de los parámetros analizados. En el siguiente cuadro se muestra los parámetros analizados en el laboratorio y su método de medición.

Cuadro 7: Parámetro analizado en el laboratorio y su método.

Parametro analizado	Unidad	Método	Limite de Detección
Fosfato (PO ₄ ³⁻ -P)	mg/l	Vanadatomoli	0.05
STS	mg/l	APHA 2540 D	1
N-Amoniacal NH ₄ -N	mg/l	Azul indofeno	0.01
Nitratos (NO ₃)	mg/l	Nitropectral	1

Fuente. Datos de laboratorio.

C. Cuaderno de campo.

Para registrar datos obtenidos en el trabajo de campo como los parámetros físicos (pH, temperatura y aumento de biomasa) y el aforo del caudal.

Cuadro 8: Datos recolectados en campo y su instrumento de medición.

Dato recolectado	Unidad	Instrumento de Medición
Temperatura y pH	T °C ---	pH F-51.
Turbiedad	UNT	Turbidimetro "HACH"
Caudal	l/s	Balde de 1 lt. y cronometro
Medicion de Biomada	cm	Wincha de 2 y 5 m.
datos topograficos	gnral	Teodolito
Coordenadas	UTM	GPS Gtrex

Fuente. Trabajo de Campo.

D. Tomas fotográficas.

Las muestras fotográficas constituyen evidencias de los trabajos realizados en la presente investigación.

3.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN.

Cuando se emplean métodos estadísticos o cuantitativos, se dispone de dos tipos de pruebas estadísticas: las paramétricas y las no paramétricas. Las pruebas paramétricas sirven para analizar eventos producidos por el azar o la suerte, mientras que las pruebas no paramétricas sirven para analizar eventos producidos por la intención, la voluntad o los propósitos. (E. Mejía M., 2005).

Teoría de la Docimasia de hipótesis.

Consiste en indicar métodos y procedimientos adecuados e investigar, sobre la base de la teoría de probabilidades, con cuáles de ellos pueden realizarse decisiones objetivas sobre la hipótesis

Tareas que se plantea la teoría de la docimasia de hipótesis:

La verificación de una hipótesis estadística se realiza con ayuda de una denominada dócima de hipótesis. Una dócima tiene por objetivo producir una decisión acerca de la aceptación o rechazo de una hipótesis, sobre la base de la muestra. (G.Maibaum, 1976; traducida por M. Álvarez, 1988).

Docima de t Simple.

Supongamos que X es una variable con $N(\gamma_0, \sigma_0^2)$; γ_0 y σ_0^2 sean desconocidos. (G.Maibaum, 1976; traducida por M. Álvarez, 1988).

$$H_0 : \gamma_0 = \gamma^*$$

1. (γ^* número real prefijado).

Esta hipótesis es, tomada rigurosamente, una hipótesis compuesta que se debería caracterizar de forma más exacta por $H_0 : (\gamma_0, \sigma_0^2) \in \{(\gamma^*, \sigma^2) : \sigma^2 > 0\}$. Si σ_0^2 es conocida, entonces se trata de una hipótesis simple.

2. Para la construcción de la variable de la tomemos por la base el estadígrafo $\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, como estimador puntual adecuado para γ_0 . La variable \bar{X}_n posee, en el caso en que H_0 sea verdadera, una

distribución $N\left(\gamma^*, \frac{\sigma_0^2}{n}\right)$. Estimaremos el parámetro desconocido σ_0^2 por medio del estimador puntual $S_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2$ y utilizaremos como variable de la dócima la variable aleatoria $T = \sqrt{n} \frac{\bar{X}_n - \gamma^*}{\sqrt{S_n^2}}$

que, en el caso de H_0 sea verdadera, posee una distribución t con $n-1$ grados de libertad.

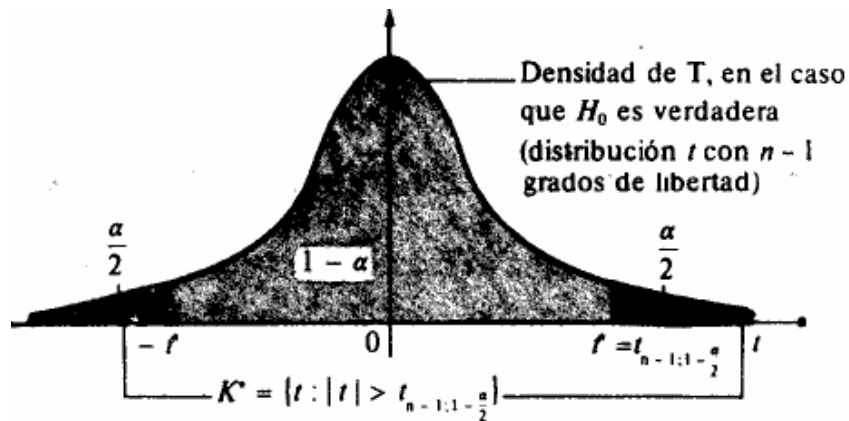


Figura 18: Diagrama de Distribución normal para la aceptación de hipótesis Fuente: Teoría de probabilidades y estadísticas matemática.

3. Establezcamos la región crítica K^* en la forma $K^* = \{t : |t| > t^*\}$ (ver fig. 18) y determinemos t^* de modo que se cumpla:

$$P_{\gamma}(T \in K^*) = P_{\gamma}(|T| > t^*) = 1 - P_{\gamma}(-t^* \leq T \leq t^*) = \alpha.$$

De aquí se obtiene para t^* el percentil de orden $1 - \frac{\alpha}{2}$ de la distribución t con $n-1$ grados de libertad ($t^* = t_{n-1; 1 - \frac{\alpha}{2}}$) y con esto la región

$$K^* = \left\{ t : |t| > t_{n-1; 1 - \frac{\alpha}{2}} \right\}$$

crítica

4. Regla de decisión: Para muestra concentrada (x_1, \dots, x_n) se calcula, \bar{x}_n y s_n^2 de aquí $t = \sqrt{n} \frac{\bar{x}_n - \gamma^*}{\sqrt{s_n^2}}$ y se rechaza $H_0 : \gamma_0 = \gamma^*$ si y solo si se

cumple que $t \in K^*$, es decir $\left| \sqrt{n} \frac{\bar{x}_n - \gamma^*}{\sqrt{s_n^2}} \right| > t_{n-1; 1 - \frac{\alpha}{2}}$.

Tabla 1: Tabla de Distribución t-student. Probabilidades acumuladas a diferentes grados de libertad.

1 cola	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	
2 colas	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
t	0,995	0,99	0,985	0,98	0,975	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	
G r a d o s	1	63,66	31,82	21,20	15,89	12,71	6,31	3,08	1,96	1,38	1,00	0,73	0,51	0,32	0,16	0,00
	2	9,92	6,96	5,64	4,85	4,30	2,92	1,89	1,39	1,06	0,82	0,62	0,44	0,29	0,14	0,00
	3	5,84	4,54	3,90	3,48	3,18	2,35	1,64	1,25	0,98	0,76	0,58	0,42	0,28	0,14	0,00
	4	4,60	3,75	3,30	3,00	2,78	2,13	1,53	1,19	0,94	0,74	0,57	0,41	0,27	0,13	0,00
	5	4,03	3,36	3,00	2,76	2,57	2,02	1,48	1,16	0,92	0,73	0,56	0,41	0,27	0,13	0,00
	6	3,71	3,14	2,83	2,61	2,45	1,94	1,44	1,13	0,91	0,72	0,55	0,40	0,26	0,13	0,00
	7	3,50	3,00	2,71	2,52	2,36	1,89	1,41	1,12	0,90	0,71	0,55	0,40	0,26	0,13	0,00
	8	3,36	2,90	2,63	2,45	2,31	1,86	1,40	1,11	0,89	0,71	0,55	0,40	0,26	0,13	0,00
	9	3,25	2,82	2,57	2,40	2,26	1,83	1,38	1,10	0,88	0,70	0,54	0,40	0,26	0,13	0,00
	10	3,17	2,76	2,53	2,36	2,23	1,81	1,37	1,09	0,88	0,70	0,54	0,40	0,26	0,13	0,00

Fuente: <https://estadistica1udo.weebly.com/teoriacutea-y-practica.html>.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.

4.1. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL.

Cuadro 99 : Resumen de Cálculo Hidráulicos para el diseño del Humedal de flujo Horizontal.

DATOS		
DBO entrada		38.1 mg/L
DBO salida		10 mg/L
Caudal (Q)		0.300002 m ³ /día
Profundidad del Humedal SFS	y=	0.4 m.
Medio:		arena gravosa de 8 mm
Porosidad	n=	0.3
Conductividad Hidraulica	ks=	500 m ³ /m ² *d
Constante de temperatura	K20=	1.104 días -1
Temperatura de diseño del humedal (t)		20 0C
Número de Celdas (#)		1 Unidades
Pendiente o Gradiente hidraulica	S=	0.011 m/m
Borde libre		0.2 m.
Inclinación de taludes	Z=	0.8
CALCULO		
Constante de temperatura	Kt=	1.1040 días -1
Area superficial	As=	3.0291 m ²
Tiempo de retencion hidraulica	TRH=	1.21 días
Calculo del ancho de la celda según el número	W=	1.0 m.
Calculo del Largo de la celda	L=	3.0 m.
Resumen de dimensiones		
Inclinación de taludes (z)		0.8
Profundidad util		0.4 m
Borde Libre		0.2 m
Profundidad total		0.6 m
Dimensiones de planta de la cama de solidos		
Longitud		3.30 m
Ancho		1.34 m
Dimensiones de Coronación		
Longitud		3.62 m
Ancho		1.66 m
Dimensiones de fondo		
Longitud		2.66 m
Ancho		0.70 m

Diseño y elaboración de planos del humedal de flujo horizontal.

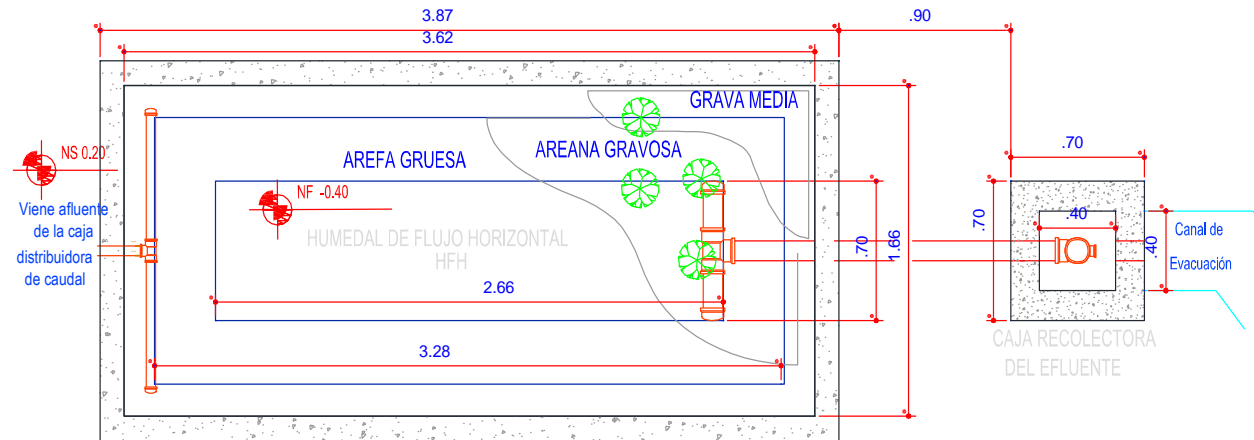


Figura 19: Plano diseñado en planta del Humedal de Flujo Horizontal.

Fuente: Trabajo de Campo.

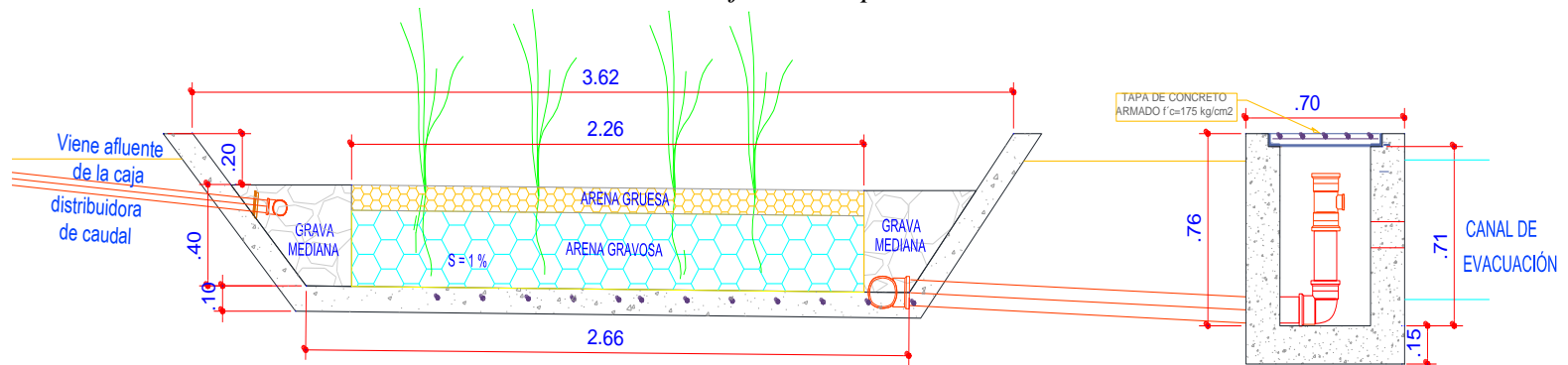


Figura 20: Plano diseñado en perfil del Humedal de Flujo Horizontal.

Fuente: Trabajo de Campo.

4.2. RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL SU SUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL Y ALGUNAS UNIDADES DE LA PLANTA PILOTO.

La construcción del humedal de flujo horizontal fue de concreto armado f'c 175 kg/cm². Se usó del aditivo impermeabilizante SIKA-1 LIQUIDO 4 kg en la mezcla; utilizando La dosis recomendada de 42 cm³ por kilogramo de cemento; encontrado en los detalles de aplicación de la hoja técnica del producto. Asegurando la impermeabilidad del concretos aún bajo presión del agua residual a tratar.

4.3. RESULTADOS DE PRE-ADAPTACIÓN Y TRASPLANTE DE LA ESPECIE *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA* (CARTUCHO) A HUMEDAL.

En el periodo de 15 días de pre adaptación se observó que desde los primeros días las plantas se adaptaba al medio donde se encontraban. Se pre adaptaron 25 plantas en una tina con agua y turba y 22 en otra tina con igual contenido, 30 plantones de cartucho de pre adaptaron en una acequia que pasa por el fundo Tuyururi las cuales 7 se marchitaron por lo que 5 plantones de cartucho fueron plantados directamente al humedal después de recolectarla. Al momento del trasplante de las plantas al humedal se observó que los pres adaptados en las tinas tenían un desarrollo voluptuoso de la raíz u una apariencia erguida del tallo esto debido a la buena absorción de los nutrientes presentes en la turba. Las plantas pre adaptadas en la acequia no tenían este aspecto favorable en su raíz.

Cuadro 10: Pre adaptación de la especie Zantedeschia Aethiopica

Especie	Fecha de Siembra	Metodo de Propagación	Medio de Pre adapatacion	N° de Plantas enraizadas	Altura plantas (cm)	Morbilidad
Zantedeschia aethiopica	12/01/2017	Estacas	tina con area y turba	25	18	0
	13/01/2017		tina con area y turba	22	20	0
	14/01/2017		asequia del fundo	30	18	7
	04/02/2017		afueras del fundo	5	25	0

Fuente: Trabajo de Campo.



*Fotografía 19: Resultado de la pre adaptación de la especie Zantedeschia Aethiopica.
Fuente: Trabajo de Campo.*

Al momento del trasplante de la especie al humedal o sembrío de estas se tomaron los siguientes datos a considerar en su evaluación del incremento de la biomasa y sus observaciones.

Cuadro 11: Siembra de la especie Zantedeschia Aethiopica en el Humedal de Flujo Horizontal.

Especie	Fecha de Siembra	N° plantas por M2	Altura plantas (cm)	Ancho plantas (cm)	Tratamiento	Observaciones
Zantedeschia aethiopica	04/02/2017	25	25	6.5	Poda aérea	fijación y estabilidad media en el humedal



*Fotografía 20: Siembra de la especie Zantedeschia Aethiopica (cartucho) en los sustratos del humedal
Fuente: Trabajo de Campo.*

4.4. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS:

4.4.1. PARÁMETROS FÍSICOS: pH, TEMPERATURA (°C) Y CAUDAL (l/s)

A. ETAPA DE PRE TRATAMIENTO:

Es la etapa pre adaptación de la especie *Zantedeschia Aethiopica* (*cartucho*) en el sistema.

a. Resultados de la medición de la Temperatura.

Tabla 2:
Temperaturas durante la etapa de Pre Tratamiento.

FECHA	TEMPERATURA °C	
	AFLUENTE	EFLUENTE
16/02/2017	19.2	20.8
23/02/2017	18.6	19.8
02/03/2017	18.8	20.1
09/03/2017	18.4	19.1

Fuente: medidor de pH F-51.

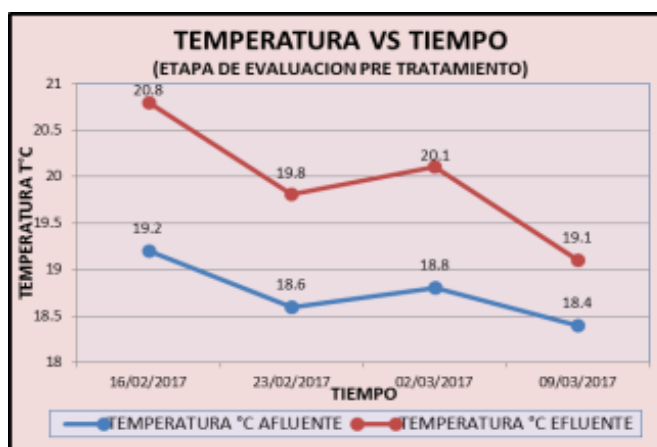


Gráfico 1: Temperaturas durante la etapa de Pre Tratamiento.
Fuente: medidor de pH F-51.

En la tabla N°2 y el gráfico N°1 se observa la temperatura del afluyente tiene un valor máximo es 19.2°C el día 16/02/17 y un valor mínimo de 18.4°C, el día 09/03/2017.

La temperatura del efluente: máxima es de 20.8 °C el día 16/02/2017 y valor mínimo de 19.1 °C, en la fecha de 09/03/2017

b. Resultados de la medición del pH

*Tabla 3:
pH durante la etapa de adaptación.*

FECHA	pH Adimensional	
	AFLUENTE	EFLUENTE
16/02/2017	7.7	6.94
23/02/2017	7.73	6.89
02/03/2017	7.93	7.46
09/03/2017	7.74	7.15

Fuente: medidor de pH F-51.

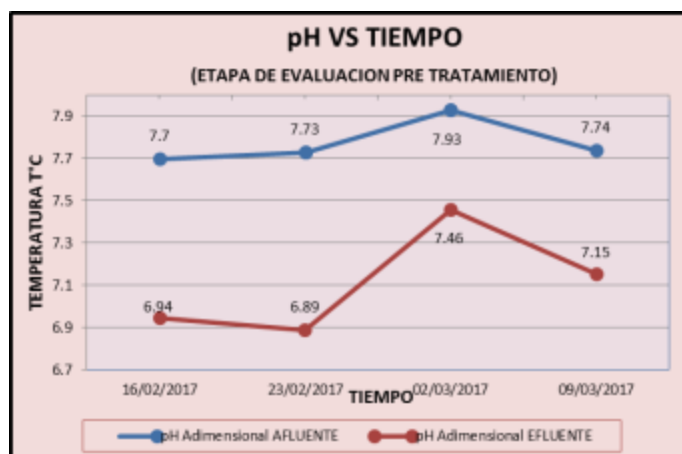


Gráfico 2: pH con respecto al tiempo (etapa de pre tratamiento)

Fuente: medidor de pH F-51.

En la tabla N°3 y el gráfico N°2, el pH del afluente del humedal tiene una variación insignificante en sus valores promedios, El máximo es de 7.93 y el mínimo es de 7.7. El pH del efluente del humedal tiene una variación insignificante en sus valores promedios, El máximo es de 7.46 y el mínimo es de 6.89.

c. Resultados del Aforo de Caudal (m³/seg).

Tabla 4 :

Aforo del Caudal durante la etapa de pre Tratamiento.

FECHA DE AFORO	CAUDAL (l/s) EN EL HASFH	
	AFLUENTE	EFLUENTE
16/02/2017	0.00381	0.00289
23/02/2017	0.00383	0.00294
02/03/2017	0.00378	0.00287
09/03/2017	0.00382	0.00292

Fuente: Aforo en campo.

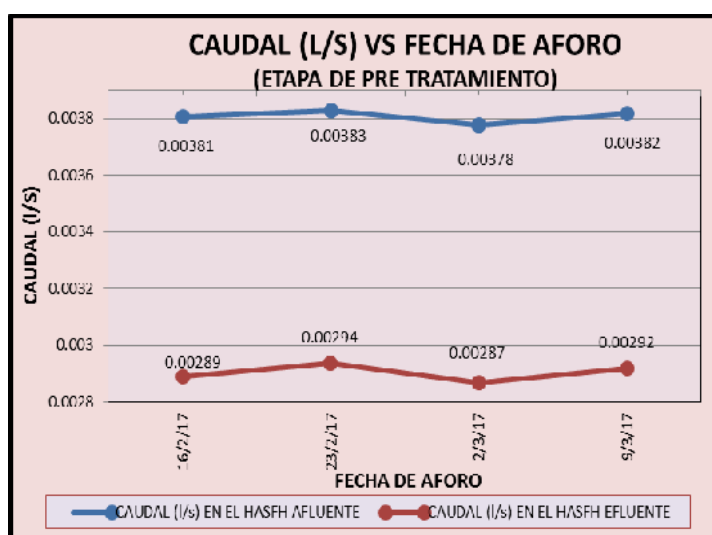


Gráfico 3: Caudal vs Fecha de Aforo.

Fuente: Aforo en campo.

En la tabla N°4 y el gráfico N°3, los aforos de caudal en la etapa de pretratamiento obtuvieron: del afluyente el caudal mayor de 0.00382 l/s, en la fecha 09/3/17 y menor es 0.00378 l/s. en la fecha 02/3/17. Los aforos de caudal de efluente se obtuvieron los caudales de mayor como 0.00294 l/s, en la fecha 23/3/17 y menor es de 0.00287 l/s en la fecha 02/2/17. Las pérdidas de carga del afluyente al efluente pueden ser debido a la evaporación del agua en el humedal por efecto de la radiación solar y también puede ser por la absorción de las plantas para su crecimiento.

B. ETAPA TRATAMIENTO.

a. Resultados de la medición de la Temperatura.

Tabla 5:

Temperatura durante la etapa de Tratamiento.

FECHA	TEMPERATURA °C	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	17.60	18.20
30/03/2017	18.10	19.50
07/04/2017	17.41	18.80
24/04/2017	17.19	18.05
05/05/2017	17.73	19.10

Fuente: medidor de pH F-51.

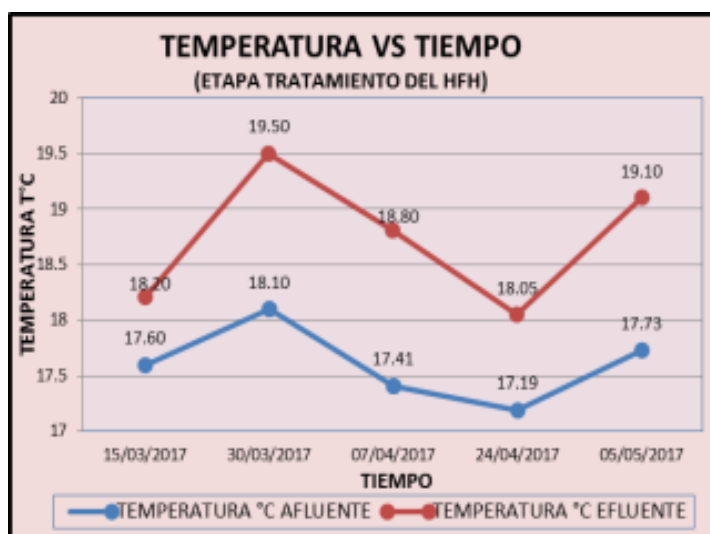


Gráfico 4 : Temperaturas promedio con respecto al tiempo.

Fuente: medidor de pH F-51.

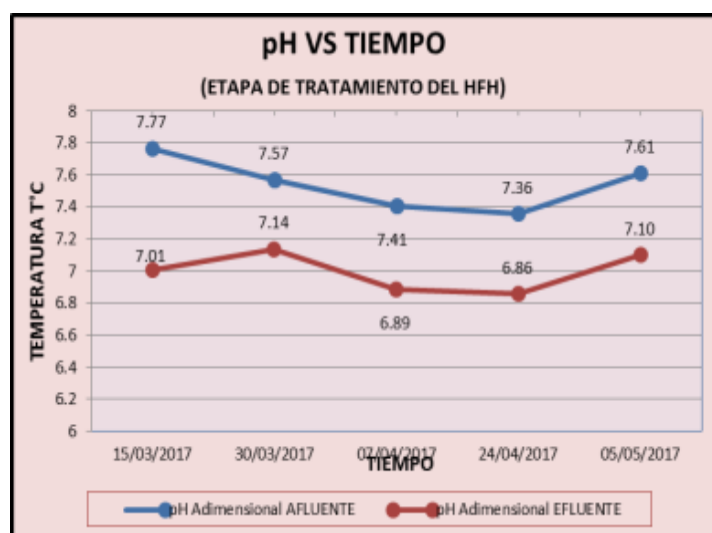
En la tabla N°5 y el gráfico N°4 se observa que la temperatura del efluente se incrementa al del afluyente en un valor equitativo en todos sus tiempos. La temperatura del afluyente: la máxima es 18.1°C en la fecha 30/03/17y mínima es 17.19°C, registrada el 24/04/2017. La temperatura del efluente: máxima es de 19.5 °C en la fecha 30/3/17 y mínima de 18.05 °C, en la fecha de 24/04/17.

b. Resultados de la medición del pH.

*Tabla 6:
pH durante la etapa de Tratamiento.*

FECHA	pH Adimensional	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	7.77	7.01
30/03/2017	7.57	7.14
07/04/2017	7.41	6.89
24/04/2017	7.36	6.86
05/05/2017	7.61	7.10

Fuente: medidor de pH F-51.



*Gráfico 5: pH promedio con respecto al tiempo.
Fuente: medidor de pH F-51.*

En la Tabla N° 6 y Grafico N°5; muestra los valores significativos del pH en la Etapa de Tratamiento son:

Del afluente su mayor valor es 7.77 en la fecha 30/3/17 y el menor es 7.36 en la fecha 24/04/17.

Y de efluente su mayor valor es 7.14 en la fecha 30/3/17 y el menor es 6.86 en la fecha 24/04/17.

c. Resultados de la Turbiedad durante la etapa de Tratamiento.

Tabla 7:

Turbiedad durante la etapa de tratamiento.

FECHA	TURBIEDAD DEL HUMEDAL (UNT)	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	10.6	10.3
30/03/2017	12.9	10.7
07/04/2017	21.8	11.2
24/04/2017	22.8	6.34
05/05/2017	14.1	5.73

Fuente: Análisis de Laboratorio.

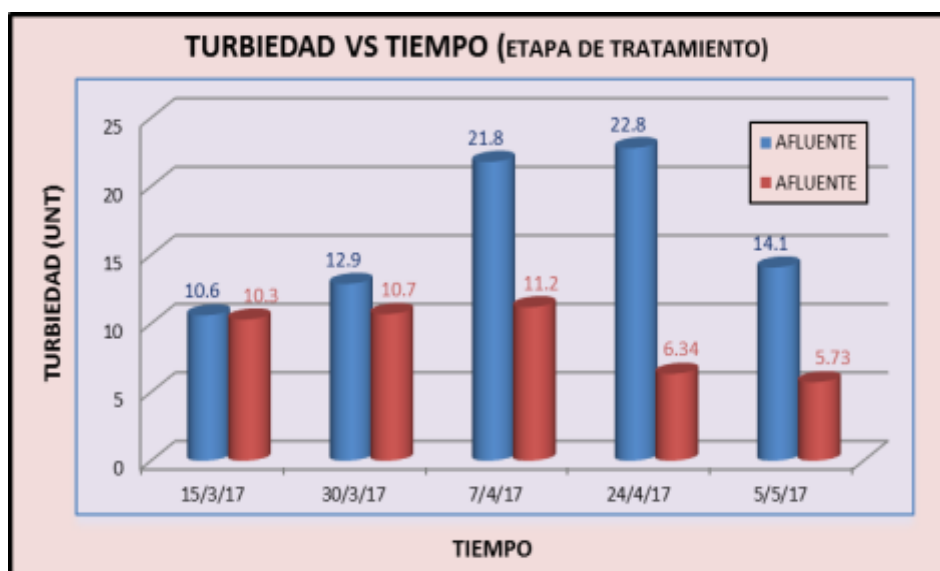


Gráfico 6: Turbiedad vs Tiempo.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

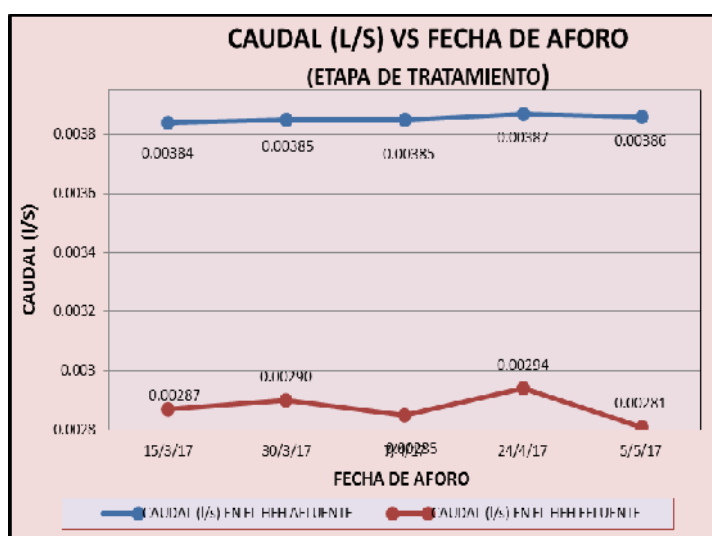
En la Tabla N° 7 y Grafico N°6; la turbiedad se midió en las muestras de agua analizadas durante la etapa de tratamiento, en el grafico se observa que en el cuarto análisis correspondiente a la fecha 24/4/17; la turbiedad en el afluyente fue de 22.8 UNT, (valor más alto de todos los meses) la disminución es a 6.34 UNT (valor mínimo dentro de todos los meses); es el ejemplo más significativo que el humedal hay una disminución de la turbiedad en la entrada y salida del mismo.

d. Resultados del Aforo de Caudal (m³/seg).

*Tabla 8:
Aforo del Caudal durante la etapa de tratamiento.*

FECHA DE AFORO	CAUDAL (l/s) EN EL HFH	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	0.00384	0.00287
30/03/2017	0.00385	0.00290
07/04/2017	0.00385	0.00285
24/04/2017	0.00387	0.00294
05/05/2017	0.00386	0.00281

Fuente: Aforo en campo.



*Gráfico 7: Caudal vs Fecha de Aforo
Fuente: Aforo en campo.*

En la Tabla N°8 y Grafico N°7; se muestra: Los aforos de caudal de afluyente se obtuvieron los caudales: el mayor fue 0.00387 l/s, en la fecha 24/3/17 y de menor 0.00384 L/s. en la fecha 15/3/17. Los aforos de caudal de efluente se obtuvieron los caudales: el mayor fue 0.00294 l/s, en la fecha 24/4/17 y el menor fue 0.00285 l/s en la fecha 07/4/17. La disminución del caudal del afluyente al efluente se debe a que ocurre pérdidas de carga puede ser debido a la evaporación del agua en el humedal y también puede ser por la absorción de las plantas para su crecimiento.

4.4.2. PARÁMETROS QUÍMICOS ($\text{PO}_4^3\text{-P}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, NO_3 y STS) ANALIZADOS EN EL LABORATORIO POR FECHA DE ANÁLISIS.

A. PRIMER ANÁLISIS (15 de Marzo del 2017).

a. Fosfato $\text{PO}_4^3\text{-P}$ (mg/l):

Tabla 9:

Concentración del Fosfato ($[\text{PO}_4^3\text{-P}]$) en el Primer Análisis:

FECHA	$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	2.29	1.00	56.33

Fuente: Análisis de Laboratorio.

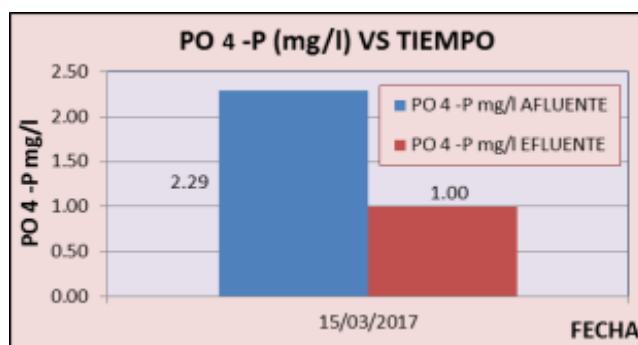


Gráfico 8: Concentración de Fosfato en el Primer Análisis.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N°9 y Gráfico N°8 se muestra la $[\text{PO}_4^3\text{-P}]$ del afluyente es de 2.29 y el efluente tiene una $[\text{PO}_4^3\text{-P}]$ es 1.00; Esto indica que hubo una remoción de 56.33% en el primer análisis.

b. Sólidos totales suspendidos STS (mg/l):

Tabla 10:

Concentración de STS ($[\text{STS}]$) en Primer Análisis.

FECHA	STS mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	6.0	1.0	83.33

Fuente: Análisis de Laboratorio.

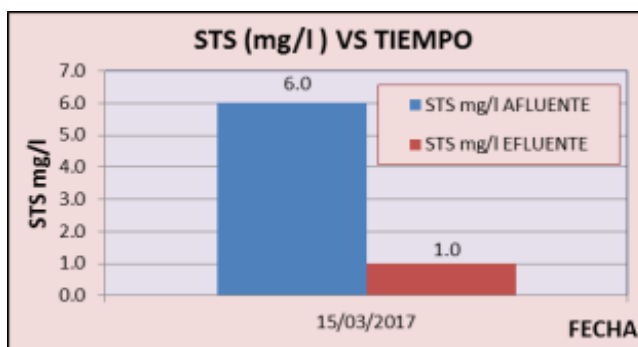


Gráfico 9: Concentración de STS en el Primer Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N°10 y Grafico N° 9, se muestra el afluente tiene una [STS] de 6 y el efluente tiene [STS] de 1.00; Esto indica que hubo una remoción de 83.33% en esta primera muestra.

c. N-Amoniacal $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l).

Tabla 11:
Concentración de N-Amoniacal ($[\text{NH}_4\text{-N}]$) en el Primer Análisis.

FECHA	mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	14.00	6.90	50.71

Fuente: Análisis de Laboratorio.

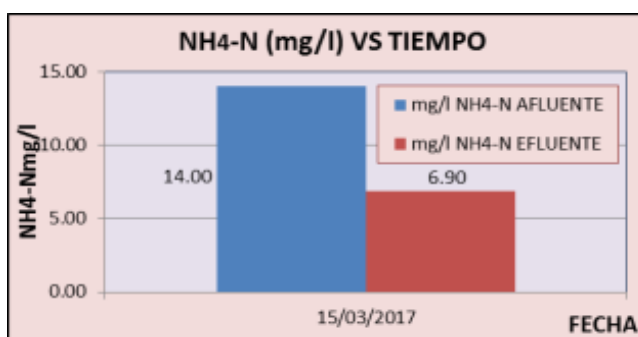
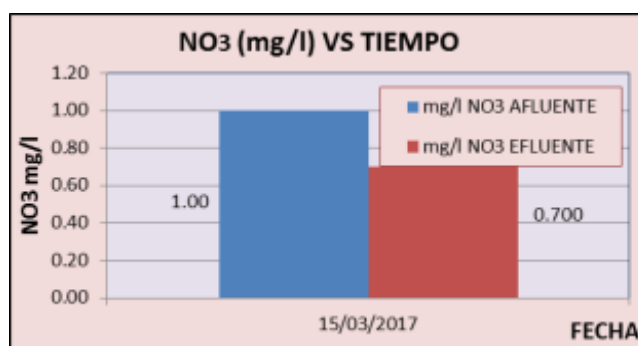


Gráfico 10: Concentración de N-Amoniacal en el Primer Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N°11 y Grafico N°10, se muestra la $[\text{NH}_4\text{-N}]$ en el afluente es de 14 y del efluente es 6.9. Esto indica que hubo una remoción de 50.71%.

d. Nitrato NO_3^- (mg/l):*Tabla 12:**Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Primer Análisis.*

FECHA	mg/l NO_3		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	1.00	0.700	30.00

Fuente: Análisis de Laboratorio.*Gráfico 11: Concentración de Nitrato en el Primer Análisis.**Fuente: Análisis de Laboratorio.*

En la Tabla N°12 y Gráfico N°11, nos muestra la $[\text{NO}_3^-]$ del afluente es de 1 y el efluente es 0.7; Esto indica que hubo una remoción de 30% de Nitrato en esta primera muestra.

B. SEGUNDO ANÁLISIS (30 de Marzo del 2017)**a. Fosfato $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg/l):***Tabla 13:**Concentración de Fosfato ($[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$) en el Segundo Análisis*

FECHA	$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
30/03/2017	3.05	0.69	77.38

Fuente: Análisis de Laboratorio.

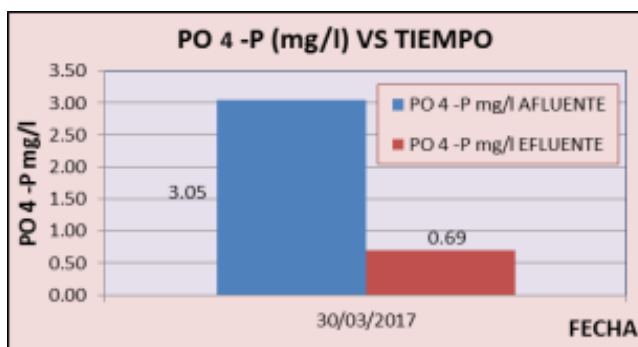


Gráfico 12: Concentración de Fosfato en el Segundo Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N°13 y Grafico N°12; se muestra la $[\text{PO}_4^3\text{-P}]$ del afluente es de 3.5 y del efluente es de 0.69; Esto indica que hubo una remoción de 77.38% de fosfato en este segundo análisis.

b. Sólidos totales suspendidos STS (mg/l):

Tabla 14:
Concentración de STS ($[\text{STS}]$) en el segundo Análisis.

FECHA	STS mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
30/03/2017	1.00	1.00	0.00

Fuente: Análisis de Laboratorio.

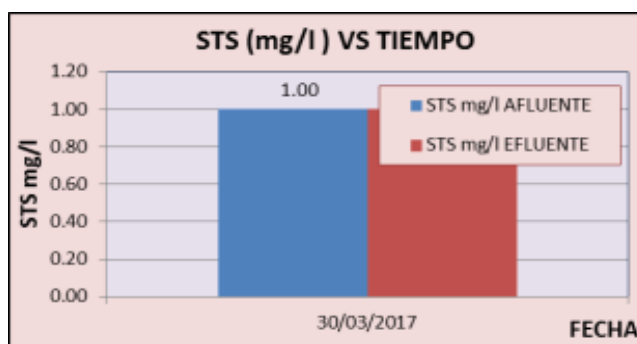


Gráfico 13: Concentración de STS en el Segundo Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N°14 y Grafico N°13; se muestra la $[\text{STS}]$ del afluente es de 1.00 y el efluente es de 1.00; Esto indica que no hubo remoción de sólidos suspendidos en el segundo análisis.

c. N-Amoniacal $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l).

Tabla 15:

Comportamiento de N-Amoniacal ($[\text{NH}_4\text{-N}]$) en el Segundo Análisis.

FECHA	NH ₄ -N mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
30/03/2017	19.60	4.40	77.55

Fuente: Análisis de Laboratorio.

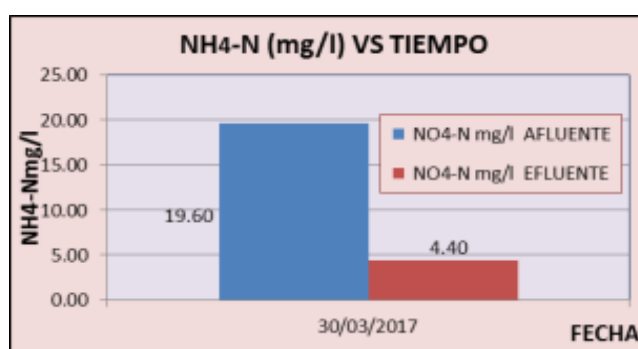


Gráfico 14: Concentración de N-Amoniacal en el Segundo Análisis

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N°15 y Grafico N°14 nos muestra la $[\text{NH}_4\text{-N}]$ donde el afluyente tiene el valor de 19.6 y el efluente es 4.4; Esto indica que hubo una remoción de 77.55% de N-amoniaco en el segundo análisis.

d. Nitrato NO_3^- (mg/l):

Tabla 16:

Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Segundo Análisis

FECHA	NO ₃ mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
30/03/2017	1.00	0.750	25.00

Fuente: Análisis de Laboratorio.

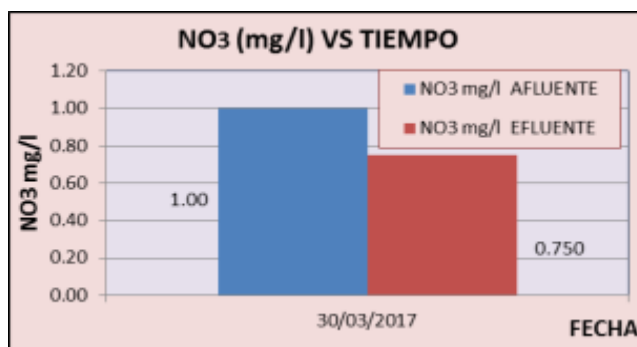


Gráfico 15: Concentración de Nitrato en el Segundo Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 16 y Grafico N°15; se muestra la $[\text{NO}_3^-]$ del afluyente es de 1 y el efluente es 0.7; Esto indica que hubo una remoción de 30% de Nitrato en el segundo análisis.

C. TERCER ANÁLISIS (7 de Abril del 2017)

a. Fosfato $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg/l):

Tabla 17:

Concentración de Fosfato ($[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$) en el Tercer Análisis.

FECHA	$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
07/04/2017	0.79	0.74	6.33

Fuente: Análisis de Laboratorio.

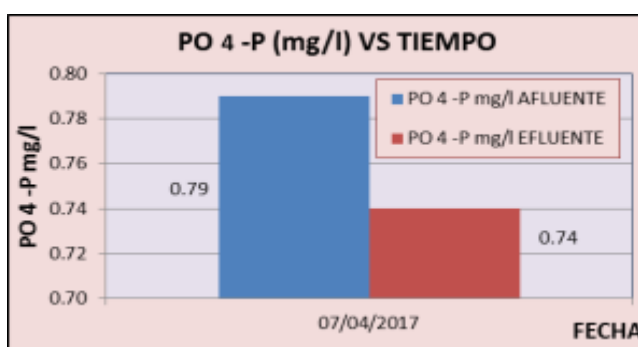


Gráfico 16: Concentración de Fosfato en el Tercer Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 17 y Grafico N°16; se muestra la $[\text{PO}_4^{3-}\text{P}]$ del afluente es de 0.79 y del efluente es 0.74; Esto indica que hubo una remoción de 6.33% de fosfato en este tercer análisis.

b. Solidos totales suspendidos STS (mg/l):

Tabla 18:

Concentración de STS ([STS]) en el Tercer Análisis.

FECHA	STS mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
07/04/2017	5.000	2.000	60.00

Fuente: Análisis de Laboratorio.

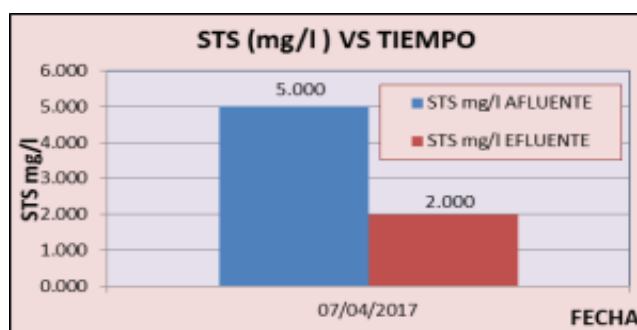


Gráfico 17: Concentración de STS en el Tercer Análisis.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 18 y Grafico N°17; se muestra la [STS] del afluente es de 5 y el efluente es 2; Esto indica que hubo una remoción de 60% de STS en el tercer análisis.

c. Nitrito NO_2 . (mg/l)

Tabla 19:

Concentración de Nitrito $[\text{NO}_2]$ en el Tercer Análisis.

FECHA	NO_2 - mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
07/04/2017	0.021	0.013	38.10

Fuente: Análisis de Laboratorio.

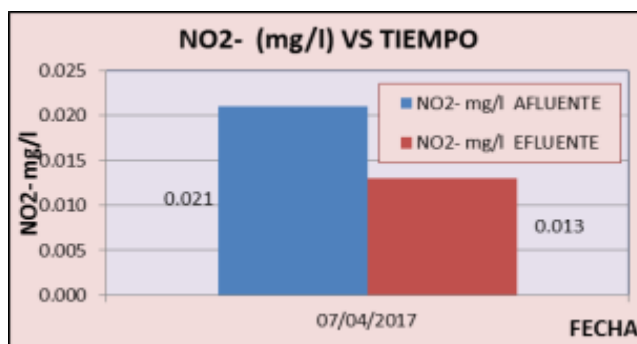


Gráfico 18: Concentración de Nitrito en el Tercer Análisis
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 19 y Grafico 18; se muestra la $[\text{NO}_2^-]$ del afluente es de 0.021 y el efluente es 0.013; Esto indica que hubo una remoción de 38.1% de Nitritos en el tercer análisis.

d. Nitratos NO_3^- (mg/l):

Tabla 20:

Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Tercer Análisis.

FECHA	NO3 mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
07/04/2017	1.20	1.00	16.67

Fuente: Análisis de Laboratorio.

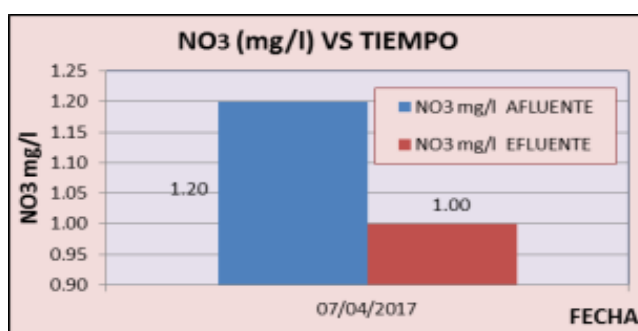


Gráfico 19: Concentración de Nitrato en el Tercer Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 20 y Grafico 19; se muestra la $[\text{NO}_3^-]$ del afluente es de 1.2 y del efluente es 1.0. Esto indica que hubo una remoción de 16.67% de Nitrato en el tercer análisis.

D. CUARTO ANÁLISIS (24 de Abril del 2017).

a. Fosfato $PO_4^{3-}P$ (mg/l):

Tabla 21:

Concentración de Fosfato ($[PO_4^{3-}P]$) en el Cuarto Análisis.

FECHA	PO ₄ -P mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
24/04/2017	0.51	0.490	3.92

Fuente: Análisis de Laboratorio.

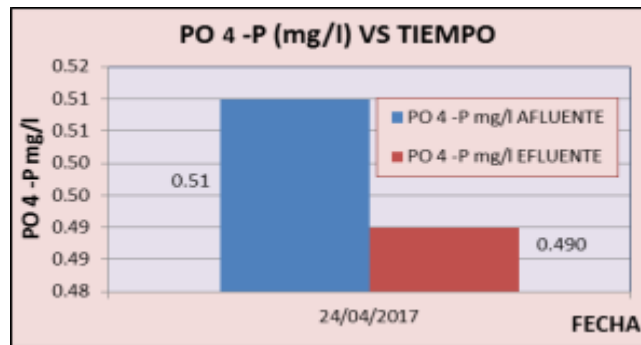


Gráfico 20: Concentración de Fosfato en el Cuarto Análisis.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 21 y Grafico 20, se muestra la $[PO_4^{3-}P]$ del afluyente tiene el valor de 0.51 y el efluente es de 0.49; Esto indica que hubo una remoción de 3.92% de fosfato en este cuarto análisis.

b. Solidos totales suspendidos STS (mg/l):

Tabla 22:

Concentración de STS ($[STS]$) en el Cuarto Análisis.

FECHA	STS mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
24/04/2017	11.00	5.000	54.55

Fuente: Análisis de Laboratorio.

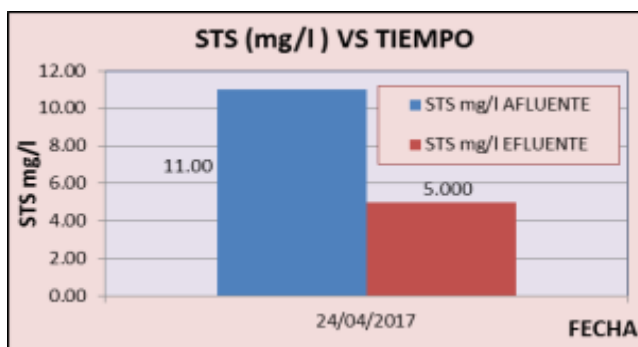


Gráfico 21: Concentración de STS en el Cuarto Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N°22 y Grafico N°21; se muestra la [STS] del afluente es de 11 y del efluente es 5; Esto indica que hubo una remoción de 54.55% de solidos suspendidos en el cuarto análisis

c. N-Amoniacal $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l).

Tabla 23:

Concentración de N-Amoniacal ($[\text{NH}_4\text{-N}]$) en el Cuarto Análisis.

FECHA	$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
24/04/2017	0.01	0.01	0.00

Fuente: Análisis de Laboratorio.

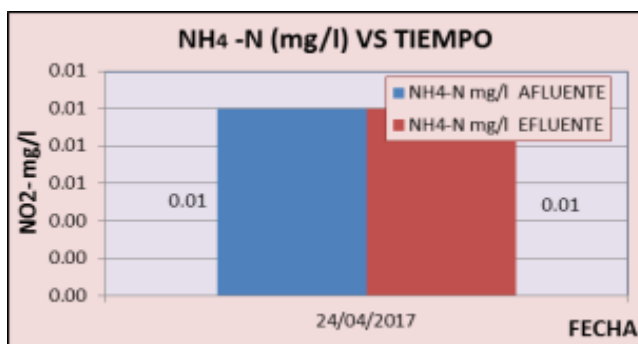


Gráfico 22: Concentración de N-Amoniacal en el Cuarto Análisis.

En la Tabla N°23 y Grafico N°22; se muestra la $[\text{NH}_4\text{-N}]$ del afluente es de 0.01 y el efluente es de 0.01; Esto indica que no hubo remoción de N-amoniaco en el cuarto análisis.

d. Nitrato NO_3^- (mg/l):

Tabla 24:

Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Cuarto Análisis.

FECHA	NO3 mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
24/04/2017	6.10	3.80	37.70

Fuente: Análisis de Laboratorio.

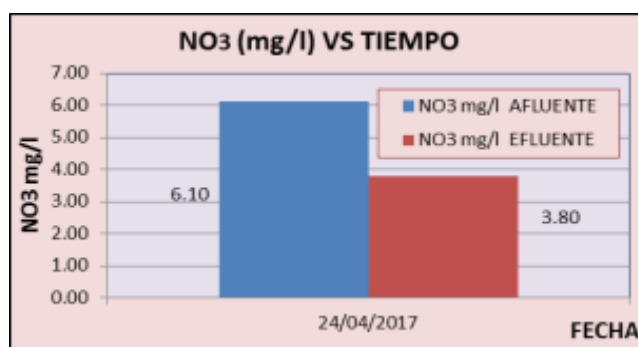


Gráfico 23: Concentración de Nitrato en el Cuarto Análisis.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N°24 y Grafico N°23, nos muestra la $[\text{NO}_3^-]$ del afluyente es de 6.1 y el efluente es de 3.8; Esto indica que hubo una remoción de 37.7% de Nitrato en el cuarto análisis.

E. QUINTO ANÁLISIS (05 de Mayo del 2017)

a. Fosfato $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg/l):

Tabla 25:

Concentración de Fosfato ($[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$) en el Quinto Análisis.

FECHA	PO ₄ -P mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
05/05/2017	0.20	0.050	75.00

Fuente: Análisis de Laboratorio.

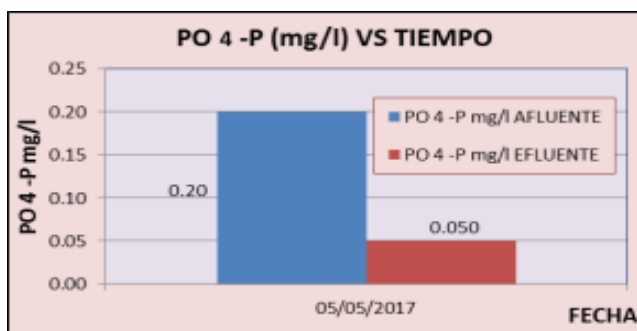


Gráfico 24: Concentración de Fosfato en el Quinto Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 25 y Grafico N°24, nos muestra la $[PO_4^3-P]$ del afluyente tiene el valor de 0.2 y el efluente es de 0.05; Esto indica que hubo una remoción de 75% de fosfato.

b. Solidos totales suspendidos STS (mg/l):

Tabla 26:
Concentración de STS ([STS]) en el Quinto Análisis

FECHA	STS mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
05/05/2017	6.00	3.000	50.00

Fuente: Análisis de Laboratorio.

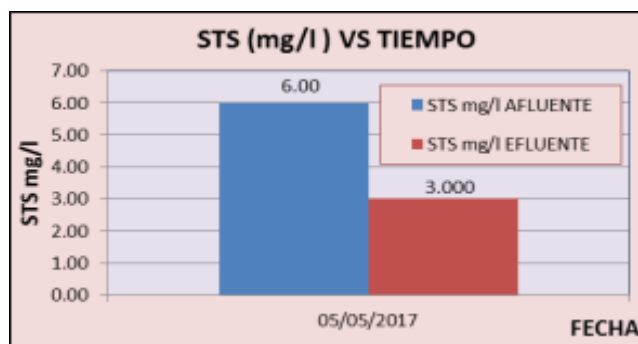


Gráfico 25: Concentración de STS en el Quinto Análisis.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 26 y Grafico N°25: se muestra la [STS] del afluyente es de 6 y el efluente es de 3. Esto indica que no hubo remoción de 50% de solidos suspendidos en el quinto análisis.

c. **N-Amoniacal $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l).**

Tabla 27:

Concentración de N-Amoniacal ($[\text{NH}_4\text{-N}]$) en el Cuarto Análisis.

FECHA	NH ₄ -N mg/l		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
05/05/2017	0.12	0.083	30.25

Fuente: Análisis de Laboratorio.

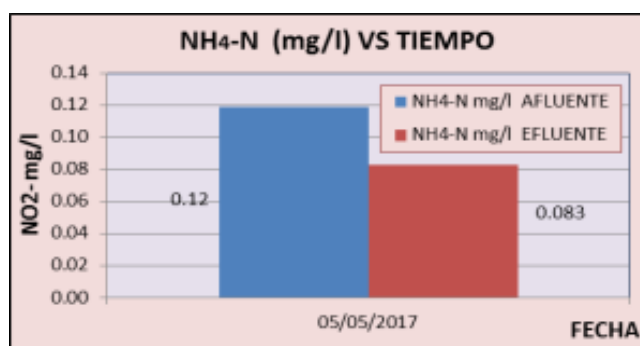


Gráfico 26: Concentración de N-Amoniacal en el Quinto Análisis.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 27 y Grafico N°26; se muestra la $[\text{NH}_4\text{-N}]$ del afluente es de 0.12 y el efluente es de 0.083; Esto indica que hubo remoción en un 30.25% de N-amoniaco en el cuarto análisis.

d. **Nitratos NO_3^- (mg/l):**

Tabla 28:

Concentración de Nitrato ($[\text{NO}_3^-]$) en el Quinto Análisis

FECHA	mg/l NO_3		% de Remoción.
	AFLUENTE	EFLUENTE	
05/05/2017	7.30	5.100	30.14

Fuente: Análisis de Laboratorio.

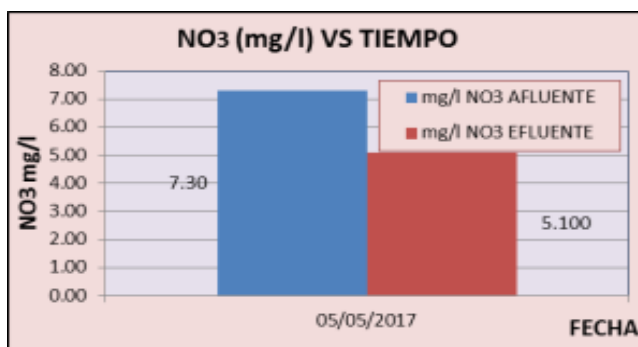


Gráfico 27: Concentración de Nitrato en el Quinto Análisis
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la Tabla N° 28 y Grafico N°27; se muestra la $[NO_3^-]$ del afluente es de 7.3 y el efluente es de 5.1; Esto indica que hubo una remoción de 30.14% de Nitrato en el quinto análisis.

4.4.3. RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN DE LOS NUTRIENTES (P Y N), STS Y SU EFICIENCIA DE REMOCIÓN.

A. RESULTADO DE CONCENTRACIÓN DE FOSFORO (P).

Del parámetro analizado en el laboratorio PO_4-P (mg/l); se halla la [] de Fosforo:

$$[P] = [PO_4-P] \text{ (mg/l)} * (\text{Peso Atómico del P / Peso Molecular del } PO_4-P \text{ (mg/l)}).$$

Tabla 29:

[P] en [PO_4-P] (mg/l) .

FECHA	PO 4 -P mg/l		[P] en [PO 4 -P] (mg/l)		% de Remoción de
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	2.29	1.00	0.747	0.326	56.332
30/03/2017	3.05	0.69	0.995	0.225	77.377
07/04/2017	0.79	0.74	0.258	0.241	6.329
24/04/2017	0.51	0.49	0.166	0.160	3.922
05/05/2017	0.20	0.05	0.065	0.016	75.000
				PROMEDIO	43.792

Fuente: Análisis de Laboratorio.

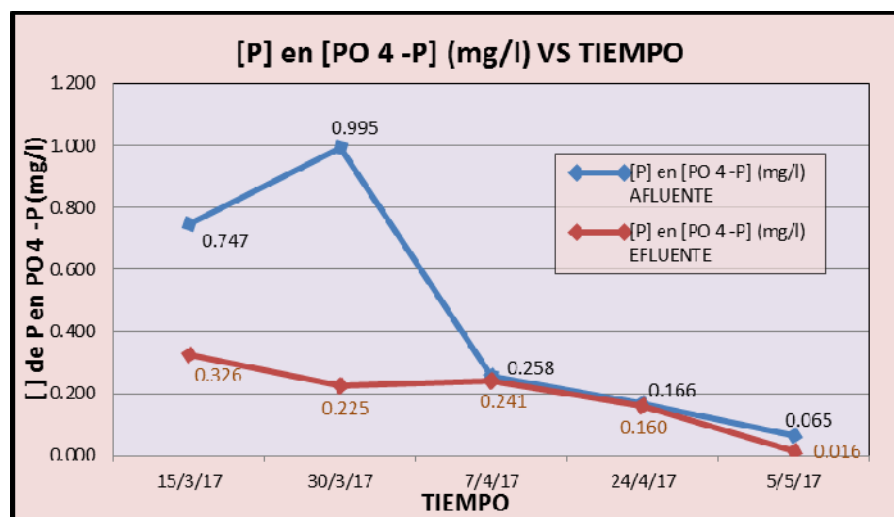


Gráfico 28: [P] en [PO₄-]vs Tiempo.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la tabla N°29 y en el gráfico N°28; se muestra la [P] en [PO₄-P] (mg/l) del: afluente tiene un valor alto de 0.995 mg/l el 30/3/17 y su valor mínimo de 0.065 mg/l el 5/5/17. El efluente tiene un valor alto de 0.326 mg/l el 15/3/17 y su valor mínimo de 0.0016 mg/l en 5/5/17.

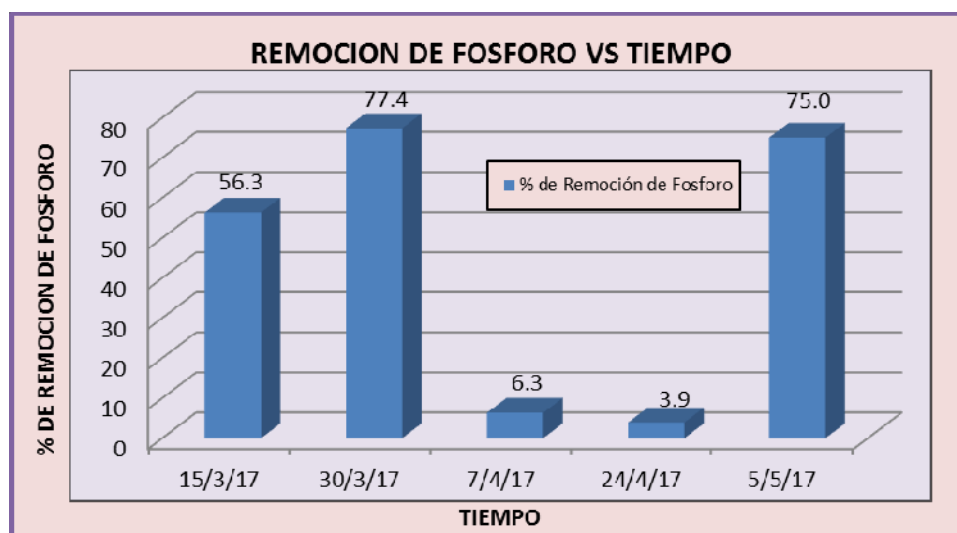


Gráfico 29: Remoción de [P] en el humedal de flujo horizontal versus tiempo.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

De acuerdo a la tabla N° 29 y los gráficos N° 28 y N°29; se observa que el mayor porcentaje de remoción de Fosforo de la planta aplicado al humedal

fue de 77.4 % el 30/3/17 y su menor remoción de 3.9 % el 24/4/17. Su valor promedio del remoción es 33.4 %. Es decir la planta removió un promedio de 43.8 % de Fosforo en el humedal en todo el tiempo de tratamiento.

B. RESULTADO DE CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO ([N])

Los parámetros analizados por el laboratorio con respecto a Nitrógeno fueron N-Amoniacal (NH₄⁺), Nitratos (NO₃⁻) y Nitritos (NO₂⁻)

A continuación analizaremos el resultado del análisis de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos que contienen nitrógeno y como se halló la concentración de Nitrógeno a partir de ellos.

1. N-Amoniacal (NH₄⁺)

$$[N] = [NH_4^+] \text{ (mg/l)} * (\text{Peso Atómico del N / Peso Molecular del (NH}_4^+))$$

Dónde:

[N]: Concentración de Nitrógeno.

[NH₄⁺]= Concentración de N-Amoniacal.

Tabla 30:

[N] en [NH₄-N] vs Tiempo.

FECHA	N-Amoniacal NH ₄ -N (mg/l)		[N] en [NH ₄] (mg/l)		% de Remoción de Fosforo
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	14.00	6.90	10.889	5.367	50.714
30/03/2017	19.60	4.40	15.244	3.422	77.551
24/04/2017	0.010	0.010	0.008	0.008	0.000
05/05/2017	0.119	0.083	0.093	0.065	30.252
				PROMEDIO	39.629

Fuente: Análisis de Laboratorio.

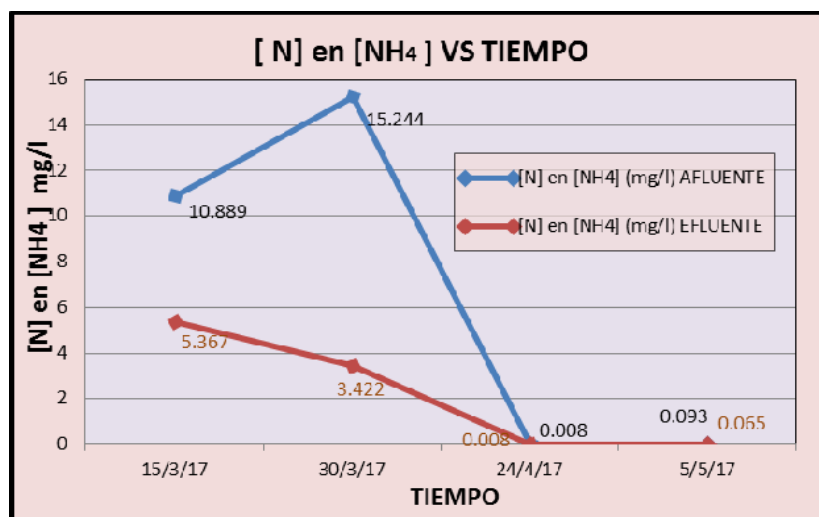


Gráfico 30: [N] en [NH₄-N] vs Tiempo.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la tabla N°30 y en el gráfico N°30; se muestra la [N] en [NH₄] (mg/l): del afluente es de 15.24 mg/l el 30/3/17 y su valor mínimo de 0.008 mg/l el 24/4/17. El efluente tiene un valor alto de 5.37 mg/l el 15/3/17 y su valor mínimo de 0.008 mg/l en 24/4/17.

2. Nitratos (NO₃-)

$[N] = [NO_3^-] \text{ (mg/l)} * (\text{Peso Atómico del N} / \text{Peso Molecular del } (NO_3^-))$.

Dónde:

[N]: Concentración de Nitrógeno.

[NO₃-]: Concentración de Nitrato.

Tabla 31:

[N] en [NO₃-] vs Tiempo.

FECHA	Nitratos NO ₃ mg/l		[N] en [NO ₃] (mg/l)		% de Remoción de Fosforo
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	1.00	0.700	0.226	0.158	30.000
30/03/2017	1.00	0.75	0.226	0.169	25.000
07/04/2017	1.20	1.00	0.271	0.226	16.667
24/04/2017	6.10	3.800	1.377	0.858	37.705
05/05/2017	7.30	5.100	1.648	1.152	30.137
				PROMEDIO	27.902

Fuente: Análisis de Laboratorio.

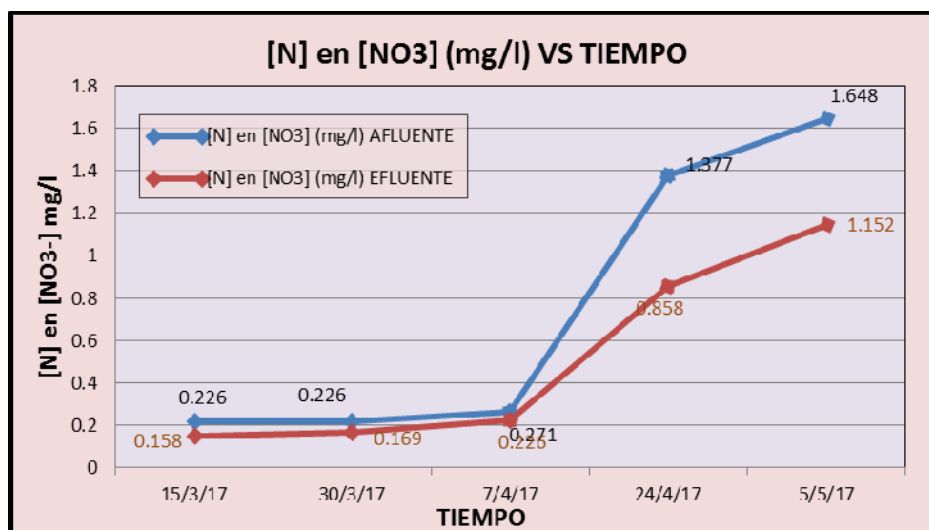


Gráfico 31: [N] en [NO₃-] vs Tiempo.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la tabla N°31 y en el gráfico N°31; se muestra la [N] en [NO₃-] (mg/l) del: afluente muestra su valor alto de 1.648 mg/l el 5/5/17 y su valor mínimo de 0.226 mg/l el 15/3/17 y 30/3/17. Del efluente tiene un valor alto de 1.152 mg/l el 5/5/17 y su valor mínimo de 0.158 mg/l en 15/3/17.

3. Nitritos (NO₂-)

$$[N] = [NO_2^-] * (\text{Peso Atómico del N} / \text{Peso Molecular del } (NO_2^-) *).$$

Tabla 32:
[N] en [NO₂-] vs Tiempo.

FECHA	Nitritos NO ₂ mg/l		[N] en [NO ₂] (mg/l)	
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
07/04/2017	0.021	0.013	0.0064	0.00396

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la tabla N°32; se muestra la [N] en [NO₂-] (mg/l): del afluente es de 0.0064 mg/l y del efluente es de 0.00396 mg/l.

$$\text{Nitrógeno Total} = ([\text{N}] \text{ en } [\text{NH}_4^+]) + ([\text{N}] \text{ en } [\text{NO}_3^-]) + ([\text{N}] \text{ en } [\text{NO}_2^-])$$

Tabla 33:

Concentración de Nitrógeno Total y su Porcentaje de Remoción.

FECHA	[N] en [NH ₄] (mg/l)		[N] en [NO ₃] (mg/l)		[N] en [NO ₂] (mg/l)		[N] total		% de Remoción de Nitrogeno
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	10.889	5.367	0.226	0.158			11.115	5.525	50.3
30/03/2017	15.244	3.422	0.226	0.169			15.470	3.592	76.8
07/04/2017			0.271	0.226	0.006	0.004	0.277	0.230	17.2
24/04/2017	0.008	0.008	1.377	0.858			1.385	0.866	37.5
05/05/2017	0.093	0.065	1.648	1.152			1.741	1.216	30.1
								PROMEDIO	42.4

Fuente: Análisis de Laboratorio.

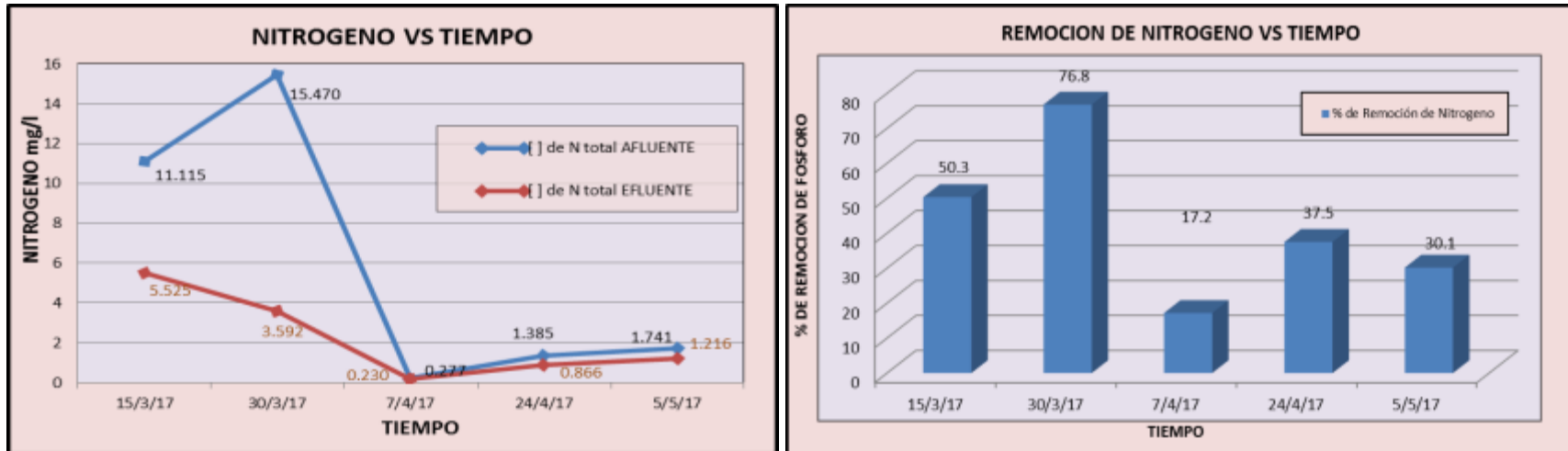


Gráfico 32: Concentración de Nitrógeno Total vs Tiempo

Gráfico 33: Remoción de Concentración de Nitrógeno Total vs Tiempo.

De acuerdo a la tabla N° 33 y los gráficos N° 32 y N°33; Se observa que el 30/3/17 se removió un 76.8% (valor más alto de remoción de N) y el 5/5/17 se removió 17.2 (valor mínimo de remoción de Nitrógeno).

C. RESULTADO DE CONCENTRACIÓN DE SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN (STS)

Tabla 34:

Concentración de Sólidos Totales en suspensión vs tiempo

FECHA	STS mg/l		% de Remoción de STS
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	6.0	1.00	83
30/03/2017	1.00	1.00	0
07/04/2017	5.00	2.00	60
24/04/2017	11.00	5.00	54.5
05/05/2017	6.00	3.00	50
		PROMEDIO	49.58

Fuente: Análisis de Laboratorio.

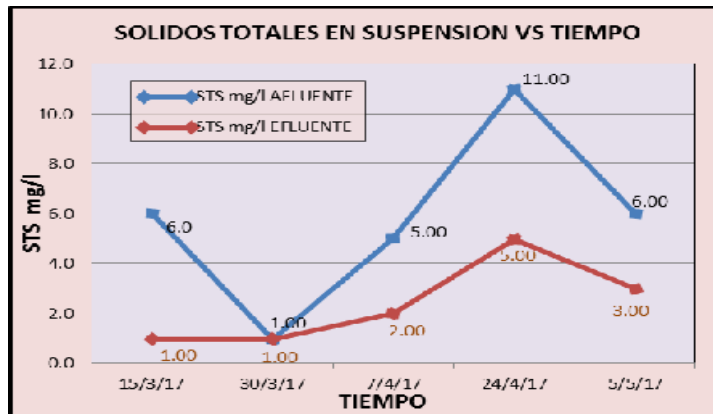


Gráfico 34: Concentración de Sólidos Totales en Suspensión (mg/l) vs Tiempo.

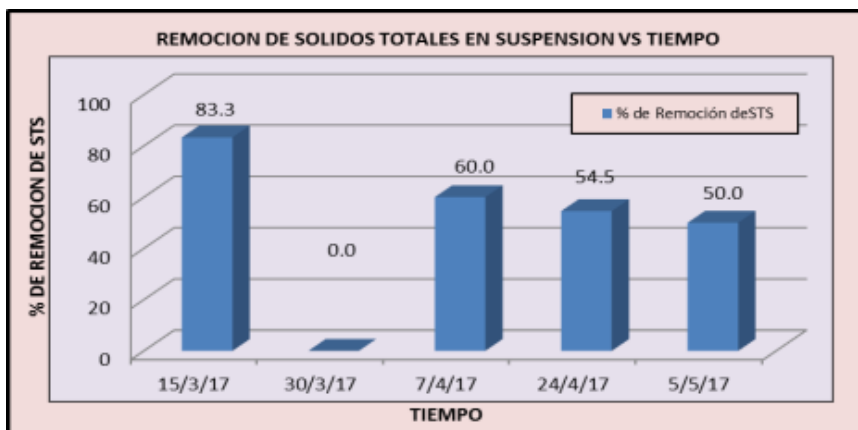


Gráfico 35: Remoción Sólidos Totales en Suspensión (mg/l) vs Tiempo.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la tabla N° 34 y los gráficos N° 34 y N° 35, se observa que el 15/3/17 se removió 83.3 % de [STS] y el 30/3/17 no hubo remoción de STS.

D. RESUMEN DE REMOCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES (NITRÓGENO Y FOSFORO) Y SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN (STS)

Tabla 35:

Resumen de Porcentajes de Remoción de Fosforo, Nitrógeno y STS.

FECHA	NUTRIENTES		% de Remoción deSTS
	% de Remoción de Fosforo	% de Remoción de Nitrogeno	
15/03/2017	56.3	50.3	83.3
30/03/2017	77.4	76.8	0.0
07/04/2017	6.3	17.2	60.0
24/04/2017	3.9	37.5	54.5
05/05/2017	75.0	30.1	50.0
PROMEDIO	43.8	42.4	49.6

Fuente: Análisis de Laboratorio.

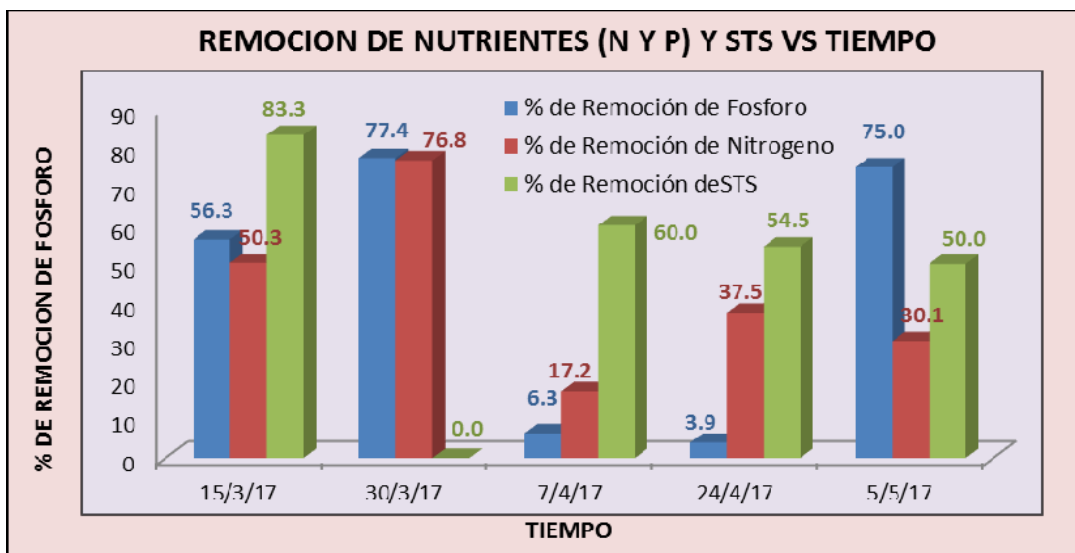


Gráfico 36: Resumen de Porcentajes de Remoción de Fosforo, Nitrógeno y STS.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la tabla N° 35 y el grafico N° 36, se observa que el 15/3/17 hubo más remoción de STS con un 83.3 %. El día 30/3/17 no hubo remoción de STS y si buena remoción de nutrientes. El día 7/4/17 hubo más remoción de STS (60%) y los nutrientes poca remoción. El día 24/4/17 hubo más remoción de SS (54.5 %), emoción el 37.5 % de Nitrógeno. El Día 5/5/17 hubo más remoción de Fosforo en 75%, después los STS 50 % seguido 30.1 % de Nitrógeno.

4.4.4. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS CON RESPECTO A LAS ECA (CATEGORÍA 4) DEL DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

A. FOSFORO TOTAL ([P])(mg/l) COMPARATIVO CON ECA. CAT. 4.

Tabla 36:

Comparación de [P] con los LMP de la ECA– Cat. 4.

FECHA	FOSFORO (mg/l)		ECA- Categoría 4
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	0.75	0.33	0.05
30/03/2017	0.99	0.23	0.05
07/04/2017	0.26	0.24	0.05
24/04/2017	0.17	0.16	0.05
05/05/2017	0.07	0.02	0.05

Fuente: Análisis de Laboratorio.

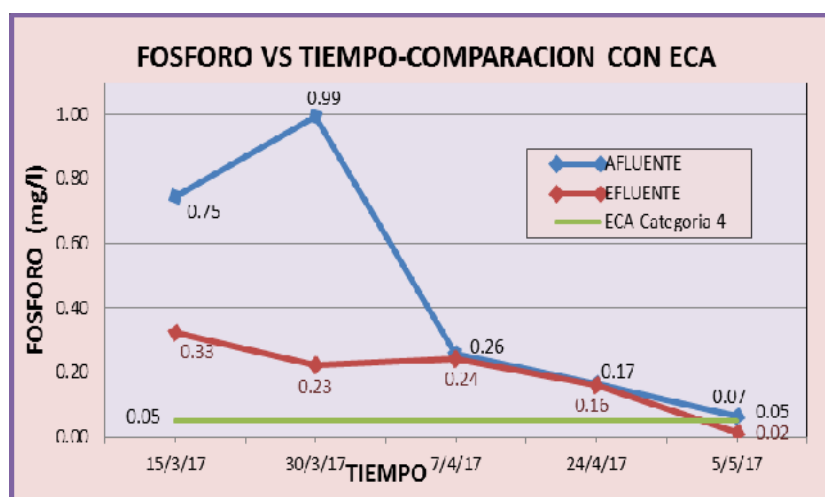


Gráfico 37. Comparación de la $[PO_4^{3-}P]$ con los LMP de la ECA– Cat. 4.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la tabla N° 36 y el gráfico 37, se observa las [P] en mg/l del afluente y efluente del humedal durante todos los meses de evaluación, estos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Categoría 4, subcategoría E2: Ríos, para ríos de la Costa y sierra, que se encuentran en el Anexo 5, nos muestra que para esta categoría, la [P] debe ser igual o menor a 0.05 mg/l, como se puede observar solo 1 muestra del efluente cumplen con la ECA .

B. NITRATOS ($[\text{NO}_3]$) (mg/l) COMPARATIVO CON ECA CAT. 4.

Tabla 37:

Comparación de $[\text{NO}_3^-]$ con los LMP de la ECA– Cat. 4.

FECHA	Nitratos NO_3 mg/l		ECA- Categoría 4
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	1.00	0.700	13.000
30/03/2017	1.00	0.750	13.000
07/04/2017	1.20	1.000	13.000
24/04/2017	6.10	3.800	13.000
05/05/2017	7.30	5.100	13.000

Fuente: Análisis de Laboratorio.

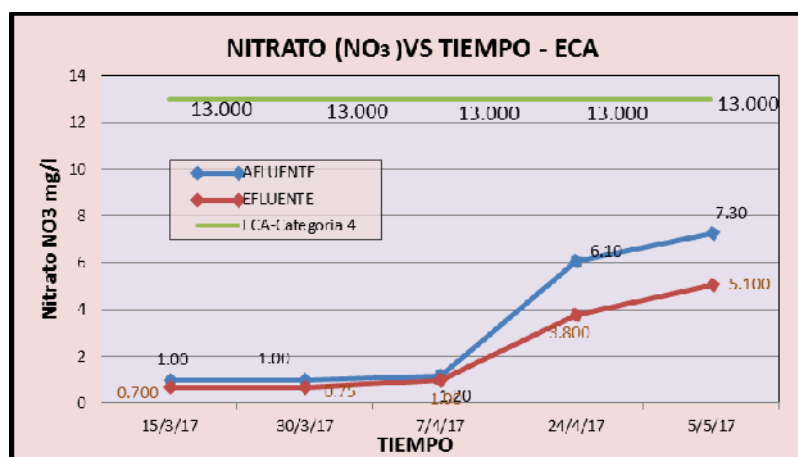


Gráfico 38: Comparación de la $[\text{NO}_3^-]$ con los LMP de la ECA– Cat. 4.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En la tabla N° 37 y el gráfico N° 38, se observa las concentraciones en mg/l de Nitrato NO_3 del afluente y efluente del humedal durante todos los meses de evaluación, estos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Categoría 4, subcategoría E2; Anexo 5, nos muestra que para esta categoría, la concentración del Nitrato (NO_3) mg/l. debe tener una concentración igual o menor a 13 mg/l, como se puede observar que todas del efluente cumplen con los límites máximos permisibles de la ECA con respecto al Nitratos NO_3 mg/l.

C. N-AMONIAL (NH₄⁺)(mg/l) COMPARATIVO CON ECA CAT. 4

Tabla 38 :

Comparación de [NH₄⁺]- con los LMP de la ECA– Cat. 4.

FECHA	N-Amoniacal NH ₄ -N (mg/l)		ECA- Categoría 4
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	14	6.90	4.8
30/03/2017	19.60	4.40	4.8
24/04/2017	0.01	0.01	4.8
05/05/2017	0.12	0.083	4.8

Fuente: Análisis de Laboratorio.

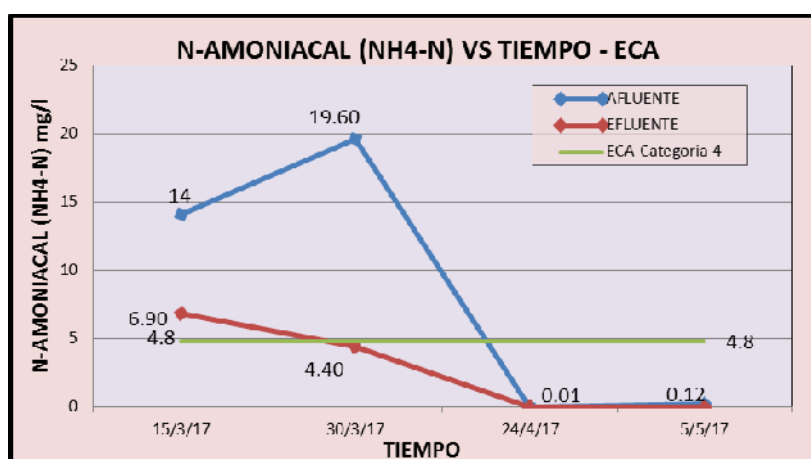


Gráfico 39: Comparación de la [NH₄⁺] con los LMP de la ECA– Cat. 4.
Fuente: Análisis de Laboratorio.

En el gráfico N° 39. se observa las concentraciones en mg/l de N-Amoniacal (NH₄⁺) del afluyente y efluente del humedal, estos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Categoría 4, subcategoría E2: Ríos, para ríos de la Costa y sierra, que se encuentran en el Anexo 5, nos muestra que para esta categoría, la concentración del N-Amoniacal [NH₄⁺] mg/l. debe tener una concentración igual o menor a 4.82 mg/l, como se puede observar que 3 muestras finales del efluente cumplen y que solo uno cumplen con los límites máximos permisibles de la ECA.

D. SOLIDOS TOTALES DE SUSPENSIÓN (STS) SEGÚN ECA. CAT. 4

Tabla 39:

Comparación de [STS] con los LMP de la ECA – Cat. 4.

FECHA	STS mg/l		LMP-ECA-Categ. 4
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	6.0	1.00	100
30/03/2017	1.000	0.520	100
07/04/2017	5.000	2.000	100
24/04/2017	11.00	5.00	100
05/05/2017	6.00	3.00	100
18/05/2017	5.00	3.00	100

Fuente: Análisis de Laboratorio.

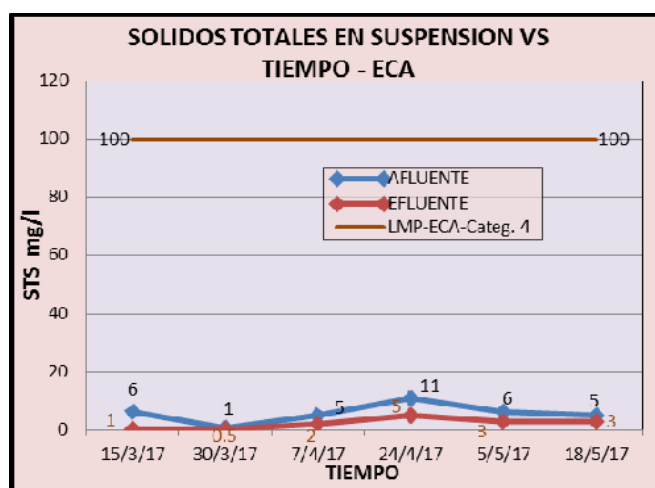


Gráfico 40 : Comparación de los [STS] con los LMP de la ECA – Cat. 4.

Fuente: Análisis de Laboratorio.

En el gráfico N° 40, se observa las concentraciones en mg/l de Sólidos Totales en Suspensión del afluyente y efluente del humedal, estos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), Categoría 4, subcategoría E2: Ríos, para ríos de la Costa y sierra, que se encuentran en el Anexo 5, el cual indica que la concentración de sólidos totales en suspensión debe ser igual o menor a 100 mg/l, como se puede observar que todos los valores del afluyente y efluente cumplen con los límites máximos permisibles de la ECA con respecto al Sólidos Totales en Suspensión mg/l.

4.4.5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A. CONCENTRACIÓN DE FOSFORO ([P]):

El Fosforo (P) se analizó en diferentes periodos, a continuación, se muestra los resultados.

Tabla 40:

Resultados de Remoción de Concentración de Fosforo.

FECHA	FOSFORO (mg/l)		% de Remoción de
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	0.747	0.326	56.332
30/03/2017	0.995	0.225	77.377
07/04/2017	0.258	0.241	6.329
24/04/2017	0.166	0.160	3.922
05/05/2017	0.065	0.016	75.000
		PROMEDIO	43.792

Fuente: Análisis de Laboratorio.

1° paso: Identificación de las hipótesis:

He1= El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) es eficiente en un 40 % en la remoción de concentración de Fosforo ([P]) a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcara.
 $He1 = \mu1 = 40\% = 0.4$.

Ho1 = El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) no es eficiente en un 40 % en la remoción de concentración de Fosforo ([P]) a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcara.
 $Ho1 = \mu0 \neq 40\% \neq 0.4$.

2° paso: ordenar los datos para el proceso de análisis.

numero de datos (n)=	5	raiz cuad. (n)	2.236067977
$\mu1$ =	40%	0.4	
nivel de eficiencia α =	5%		
Media \bar{x} =	43.80%		

3° paso: Cálculo de Desviación de la muestra:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \rightarrow S = 0.362$$

4° paso: Calculo Desviación Poblacional (t-student).

$$\tau = \frac{\bar{x} - \mu_1}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \rightarrow t = 0.243$$

5° paso: Encontrar el valor critico de aceptación en la tabla distribución de T- student; según α y gl (para dos colas). Luego ubicarlo en el diagrama de distribución normal. $\alpha = 5\% = 0.05$ y $gl = n - 1 = 4$.

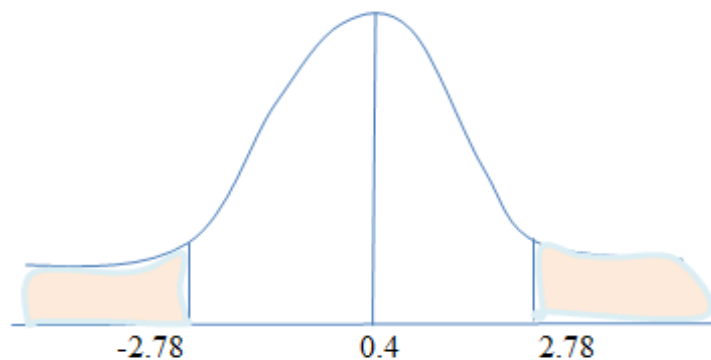
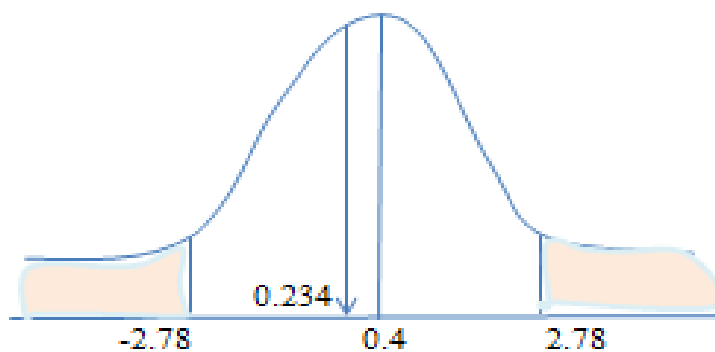


Figura 21: Diagrama de distribución normal con los valores críticos de aceptación de He1

Fuente: elaboración del tesista.

6° paso: Ubicar el valor de t-student en el diagrama de distribución normal donde se ubica la región de aceptación y rechazo de hipótesis. Analizar el resultado.



Donde:

	Área de Aceptación de Hipótesis
	Área de Rechazo de Hipótesis

Figura22: Ubicación de t-student en el diagrama de distribución normal para la determinar la aceptación de He1

Fuente: elaboración del tesista.

En la figura se observa que el valor t-student se ubica en el área de aceptación de la hipótesis por lo tanto la He1 es aceptado $He1 = \mu_1 = 40\% = 0.4$.

B. CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO ([N]):

Tabla 41:

Resultados de Remoción de Concentración de Nitrógeno.

FECHA	[] de NITROGENO (mg/l)		% de Remoción de
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	11.115	5.525	50.3
30/03/2017	15.470	3.592	76.8
07/04/2017	0.277	0.230	17.2
24/04/2017	1.385	0.866	37.5
05/05/2017	1.741	1.216	30.1
		PROMEDIO	42.4

Fuente: Análisis de Laboratorio.

1° paso: Identificación de las hipótesis:

He2= El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) es eficiente en un 40 % en la remoción de concentración de Nitrógeno ([N]) a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcara.
 $\mu_1 = 40\% = 0.4$.

Ho2 = El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) no es eficiente en un 40 % en la remoción de concentración de Nitrógeno ([N]) a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcara.
 $\mu_0 \neq 40\% \neq 0.4$.

2° paso: ordenar los datos para el proceso de análisis.

numero de datos (n)=	5	raiz cuad. (n)	2.236067977
μ_1 =	40%	0.4	
nivel de eficiencia α =	5%		
Media \bar{x} =	42.37%		

3° paso: Cálculo de Desviación de la muestra:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \rightarrow \quad S = 0.2267$$

4° paso: Calculo Desviación Poblacional (t-student).

$$\tau = \frac{\bar{x} - \mu_1}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \rightarrow \quad t = 0.234$$

5° paso: Encontrar el valor crítico de aceptación en la tabla distribución de T- student; según α y gl (para dos colas). Luego ubicarlo en el diagrama de distribución normal. $\alpha = 5\% = 0.05$ y $gl = n - 1 = 4$

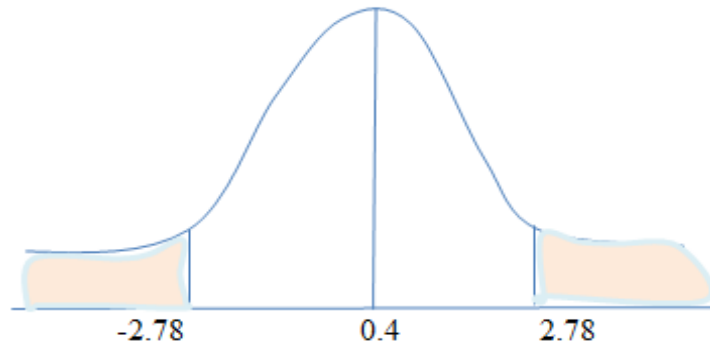
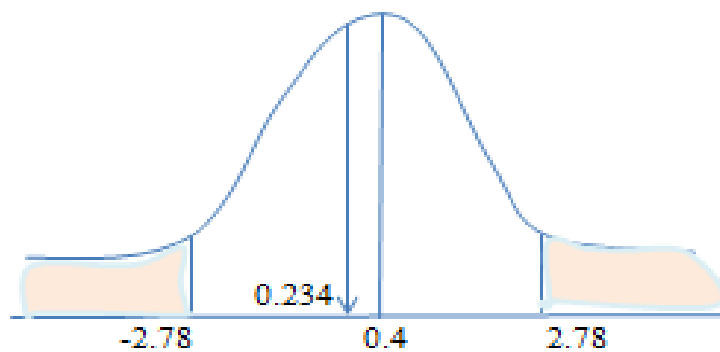


Figura23: Diagrama de distribución normal con los valores críticos de aceptación de He2

Fuente: elaboración del tesista.

6° paso: Ubicar el valor de t-student en el diagrama de distribución normal donde se ubica la región de aceptación y rechazo de hipótesis. Analizar el resultado.



Donde:

- Area de Aceptación de Hipotesis
- Area de Rechazo de Hipotesis

Figura24: Ubicación de t-student en el diagrama de distribución normal para la determinar la aceptación de He2

Fuente: elaboración del tesista.

En la figura N° 24; se observa que el valor t-student se ubica en el área de aceptación de la hipótesis por lo tanto la He2 es aceptado $He2 = \mu2 = 40\% = 0.4$.

C. CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES SUSPENDIDOS ([STS]):

Tabla 42:

Resultados de Remoción de Concentración de sólidos Totales en Suspensión.

FECHA	STS mg/l		% de Remoción de STS
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/03/2017	6.0	1.00	83
30/03/2017	1.00	1.00	0
07/04/2017	5.00	2.00	60
24/04/2017	11.00	5.00	54.5
05/05/2017	6.00	3.00	50
		PROMEDIO	49.58

Fuente: Análisis de Laboratorio.

1° paso: Identificación de las hipótesis:

He3= El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) es eficiente en un 40 % en la remoción de concentración de Sólidos totales suspendidos (STS) a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcara. $H_e1 = \mu_1 = 40\% = 0.4$.

Ho3 = El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) no es eficiente en un 40 % en la remoción de concentración de Sólidos totales suspendidos (STS) a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcara. $H_o1 = \mu_0 \neq 40\% \neq 0.4$.

2° paso: ordenar los datos para el proceso de análisis.

numero de datos (n)=	5	raiz cuad. (n)	2.236067977
μ_1 =	40%	0.4	
nivel de eficiencia α =	5%		
Media \bar{x} =	49.58%		

3° paso: Cálculo de Desviación de la muestra:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \rightarrow \quad S = 0.305$$

4° paso: Calculo Desviación Poblacional (t-student).

$$\tau = \frac{\bar{x} - \mu_1}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \rightarrow \quad t = 0.701$$

5° paso: Encontrar el valor crítico de aceptación en la tabla distribución de T- student; según α y gl (para dos colas). Luego ubicarlo en el diagrama de distribución normal. $\alpha = 5\% = 0.05$ y $gl = n - 1 = 4$.

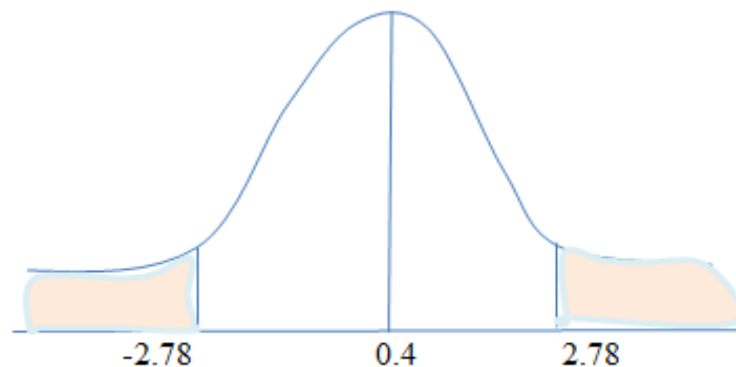


Figura 25: Diagrama de distribución normal con los valores críticos de aceptación de He3.

Fuente: elaboración del tesista.

6° paso: Ubicar el valor de t-student en el diagrama de distribución normal donde se ubica la región de aceptación y rechazo de hipótesis. Analizar el resultado

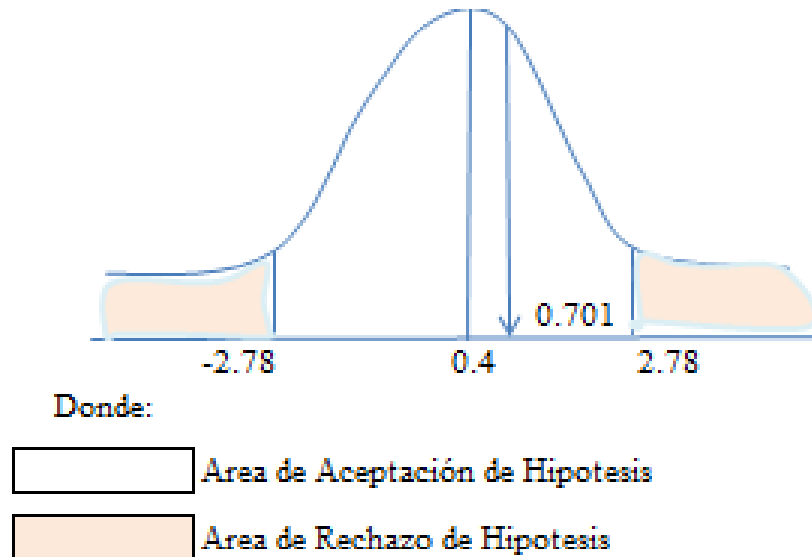


Figura 26: Ubicación de t-student en el diagrama de distribución normal para la determinar la aceptación de He3.

Fuente: elaboración del tesista.

En la figura 26 se observa que el valor t-student se ubica en el área de aceptación de la hipótesis por lo tanto la He3 es aceptado $He3 = \mu_3 = 40\% = 0.4$.

4.4.6. RESULTADO DE LA ADAPTACIÓN DE LA ESPECIE ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO) A LAS CARACTERÍSTICAS DL PROCESO EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL.

En la etapa de adaptación de la planta *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) en las condiciones del agua residual del humedal, se cubrió por una semana a las plantas con una malla fina para protegerlas del sol. Al cuidar la constancia y frecuencia del ingreso del caudal apoyado por las lluvias propio de la estación esta situación mejoro.

La densidad de siembra fue 25 plántones/m², habiendo en total 75 plántones en el humedal. Se registró un incremento de altura en la planta un promedio de 3-4 cm por mes. Cuando llega a una altura máxima de 85 cm empieza a incrementar por su masa vegetal de 5 - 6 cm a 11 - 12 cm.

Algunas plantas tienen nuevos brotes pequeños de plantas alrededor de ellas.



*Fotografía 21: Resultado visual del incremento de biomasa.
Fuente: Trabajo de Campo.*

Tabla 43:

Resultados del incremento de la biomasa de la especie Zantedeschia Aethiopica (cartucho) y Comportamiento durante la etapa de tratamiento

Especie	Fecha de Siembra	Altura promedio planta (cm)	ancho promedio planta (cm)	Incremento de biomasa		Incremento de biomasa %	Observaciones
				Altura h (cm)	Ancho h (cm)		
Zantedeschia aethiopica	04/03/2017	35.5	7.6		.---	-----	
	15/03/2017	46.2	8.5	10.7	0.9	26.91	floración de 4 plantas
	30/03/2017	56.5	9.4	10.3	0.9	20.48	incremento de biomasa
	07/04/2017	67.7	10.1	11.2	0.7	18.06	floración de 10 plantas
	24/04/2017	75.4	10.7	7.7	0.6	10.67	ataque de la rancha y su repectiva podación
	05/05/2017	86.7	11.6	11.3	0.9	14.17	presencia de nuevos brotes
			Promedio	10.24	0.8	18.06	

Fuente: Trabajo de Campo.

De la tabla N° 43 se observa los resultados de incremento de la biomasa de la planta durante el proceso depurador del humedal podemos observar que se tuvo un 18.06 % en promedio del incremento de biomasa debido a la absorción de nutrientes por parte de la planta para incrementar su tamaño, su grosor e incrementar nuevos brotes.



Fotografía 22: Medición del Incremento de la biomasa de la especie en el humedal de flujo horizontal.

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

5.1. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS HUMEDALES

Para el estudio de sistemas de tratamiento de aguas residuales es muy importante conocer las condiciones de operación de estos, ya que estas definen que cambios o transformaciones pueden presentarse en el proceso; estos son:

5.1.1. TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA Y COMPORTAMIENTO DE CAUDAL

Se realizaron jornadas de aforo de caudal como se muestra en el anexo N°1; con el fin de verificar la estabilidad del caudal de los humedales con respecto al tiempo y llevar un control operativo. En la etapa de pretratamiento se realizaron el aforo cada dos horas durante dos días y se encontró que a horas punta (7am, 12 a 1pm y 3pm) iba disminuyendo el caudal de ingreso debido a problemas de atoro en el vertedero 1. Inmediatamente se procedía al desatoro; así el caudal sería controlado dentro de lo considerado en el diseño. Además las pruebas hidráulicas de determinación del tiempo de retención hidráulica experimental (real); es decir hallar en campo el tiempo en que el agua residual se encuentra en el humedal desde su ingreso hasta su salida la cual se mostrara en el cuadro siguiente. El TRH (teórico) es 1.21 días y TRH (real) es 4.18 hora. Existe una notable variación de 86 % el cual está dentro del rango de variación de 63% - 98%, indicado en los (G. Ferrer, C. Morán, g. Aldana y J. Pérez, 2013).

Tabla 44: Tiempo de Retención Real en campo.

FECHA	THR DE CAMPO (HR)
07/04/2017	4.15
24/04/2017	4.22
05/05/2017	4.17
PROMEDIO	4.18

Fuente: Trabajo de Campo.

5.1.2. TEMPERATURA

*Tabla 45:
Resultados del comportamiento de la temperatura en la etapa de tratamiento.*

FECHA	TEMPERATURA °C	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	17.60	18.20
30/03/2017	18.10	19.50
07/04/2017	17.41	18.80
24/04/2017	17.19	18.05
05/05/2017	17.73	19.10

Fuente: Trabajo de Campo.

En la tabla N° 45; se observa los valores promedios de temperatura para la entrada y las salida del humedal, los valores máximos y mínimos indican que la temperatura no mostro ningún cambio apreciables. Estos valores son ideales para que ocurran procesos biológicos tanto aerobios como anaerobios.

5.1.3. pH

*Tabla 46:
Resultados del comportamiento del pH en la etapa de tratamiento.*

FECHA	pH Adimensional	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	7.77	7.01
30/03/2017	7.57	7.14
07/04/2017	7.41	6.89
24/04/2017	7.36	6.86
05/05/2017	7.61	7.10

Fuente: Trabajo de Campo.

La tabla N°46; se muestra los valores promedios de pH para el agua residual utilizada en el humedales con sus máximos y mínimos; en esta se destaca que el valor del pH del agua que entra al humedal es un poco más de alcalino y en la salida el pH alcanza un valor más neutro.

5.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS NUTRIENTES POR PARTE DE LA ESPECIE *ZANTEDESCHIA AETHIOPICA* (CARTUCHO) EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL:

A. REMOCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE FOSFORO (MG/L):

La reducción de fósforo presente en el agua residual, se lleva a cabo principalmente por el fenómeno de adsorción, el cual depende directamente de las características del sustrato y la presencia de vegetación (Borin, M., 2012)

Tabla 47:

Resultados de Remoción de Concentración de Fosforo.

FECHA	[P] (mg/l)		% de Remoción	Ph		T °C		Incremento biomasa %
	Afluente	Efluente		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	
15/03/2017	0.74678	0.32610	56.332	7.77	7.01	17.60	18.20	26.91
30/03/2017	0.99461	0.22501	77.377	7.57	7.14	18.10	19.50	20.48
07/04/2017	0.25762	0.24132	6.329	7.41	6.89	17.41	18.80	18.06
24/04/2017	0.16631	0.15979	3.922	7.36	6.86	17.19	18.05	10.67
05/05/2017	0.06522	0.01631	75.000	7.61	7.10	17.73	19.10	14.17
		Promedio	43.792					

Fuente: Trabajo de Campo.

En la tabla N° 47 se observa:

- ❖ El porcentaje promedio de remoción es de concentración de Fosforo total en el humedal de flujo horizontal es de 43.79% este valor se aproxima a lo indicado en la referencias bibliográficas 41.1 % según Vymazal, 2007.
- ❖ El porcentaje de remoción de fosforo en el humedal no solo es debido a la absorción por las plantas sino también por el efecto de remoción por parte de los microorganismos y del sustrato. Es decir el humedal actúa sinérgicamente para la remoción del fosforo.

- ❖ En el primer y segundo análisis se encuentran la mayor eficiencia de remoción 56.3% y 77.4% debido a que el humedal es un sistema nuevo y el sustrato al inicio ayuda por meteorización a originar mayor cantidad la sal Fosfato en el humedal y esta es adsorbida por la planta.
- ❖ El incremento de la biomasa notoria en el primer y segundo análisis (26.9 % y 20.5 %) está directamente relacionada con la capacidad de las plantas de absorber fosforo como fosfato presentes en el humedal; por lo que la remoción del fosforo en el primer y segundo análisis es de 56.3% y 77.37%.
- ❖ A partir del segundo análisis se nota una reducción de remoción en comparativo a los dos primeros análisis esto debido a que medida que el sistema funciona, esta eficiencia se reduce estabilizando su remoción esto según (Salazar y Sánchez, 2007).
- ❖ A partir del tercer y cuarto análisis se observa el valor de la concentración del Fosforo en el afluente y efluente relativamente bajo a los primeros análisis debido a la dilución de los nutrientes en el humedal por efecto de precipitación pluvial. Esto produjo marchites de las hojas de las plantas atacado por hongos arrastrado por las aguas de lluvia y para la recuperación de las plantas se pudo las hojas afectadas.
- ❖ El quinto análisis la eficiencia de remoción fue 50% debido a que las plantas empezaron a recuperarse absorbiendo de nutrientes.
- ❖ Los valores de pH y temperatura importantes para el proceso de depuración en el humedal tuvo valores altos: el pH en el primer análisis de 7.77 (afluente) y la temperatura en el segundo análisis con 18.1 °C en el afluente.

B. REMOCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL(MG/L):

Los procesos de nitrificación y desnitrificación en medios aerobios y anaerobios son la principal vía para remover nitrógeno presente en las aguas residuales domésticas (Xion J. *et al.*, 2011).

Tabla 48:

Resultados de Remoción de concentración de Nitrógeno

FECHA	[N] total		% de Remoción	Ph		T °C		Incremento biomasa %
	Afluyente	Efluente		Afluyente	Efluente	Afluyente	Efluente	
15/03/2017	11.1147	5.5247	50.293	7.77	7.01	17.60	18.20	26.91
30/03/2017	15.4703	3.5916	76.784	7.57	7.14	18.10	19.50	20.48
07/04/2017	0.2774	0.2298	17.160	7.41	6.89	17.41	18.80	18.06
24/04/2017	1.3852	0.8658	37.493	7.36	6.86	17.19	18.05	10.67
05/05/2017	1.7409	1.2162	30.143	7.61	7.10	17.73	19.10	14.17
		Promedio	42.375					

Fuente: Trabajo de Campo.

Según la Tabla 49 que se presenta:

- ❖ El porcentaje promedio de remoción de Nitrógeno total en el humedal es de 42.38% este valor se aproxima a lo indicado en la referencias bibliográficas 35% (Msc. Rosa Miglio T.) y 32.33 % (J. Marín, J. Correo, 2010).
- ❖ Los valores de los parámetros físicos están dentro el rango para la nitrificación y des nitrificación según Romero, 2004. Por lo tanto las condiciones son adecuadas en el humedal para la realización de dichos procesos y la eficiencia de remoción de nitrógeno.
- ❖ Por el actuar sinérgico del humedal cabe indicar que la eficiencia de remoción del nitrógeno no se debe enteramente a la acción de la planta.

- ❖ En el primer y segundo análisis se encuentran valores significativos de remoción de Nitrógeno (50.3 % y 76.8%) y por ello el mayor incremento de biomasa de la planta (26.9% y 20.5%) debido a que las plantas absorbieron el nitrato y nitrógeno amoniacal presentes en el humedal.
- ❖ En el tercer análisis la concentración de Nitrógeno al ingreso (0.277 mg/l) y salida (0.22mg/l) del humedal esto debido a que por la precipitación pluvial que cae al humedal hace que el agua ingresante al humedal se diluye y baja la concentración de compuestos en que se encuentra el nitrógeno por lo tanto la eficiencia de remoción indican bajos (17.16%). Por estas lluvias frecuentes las plantas enfermaron con un hongo propio de las fuertes lluvias, la cual se podaron la parte afectada de la planta, pero en este análisis afecto su remoción de nitrógeno y bajo incremento de biomasa de la planta.
- ❖ En el cuarto y quinto los valores de concentración de nitrógeno a la entrada y salida del humedal mostraron estabilidad en la remoción propia del tiempo de operación del humedal (37.5% y 30.1%).
- ❖ Los valores de pH y temperatura importantes para el proceso de depuración en el humedal tuvo valores altos: el pH en el primer análisis de 7.77 (afluente) y la temperatura en el segundo análisis con 18.1 °C en el afluente.

C. REMOCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN (mg/l):

La remoción de sólidos es muy efectiva en humedales subsuperficiales, donde la dinámica del agua cumple con establecido en la Ley de Darcy, presentando un flujo laminar de acuerdo del tamaño de la grava (Vymazal, 2007).

Tabla 49:

Resultados de Remoción de concentración de Sólidos Totales en Suspensión.

FECHA	STS mg/l		% de Remoción de STS	TURBIEDAD DEL HUMEDAL	
	AFLUENTE	EFLUENTE		AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	6.0	1.00	83	10.6	10.3
30/03/2017	1.00	1.00	0	12.9	10.7
07/04/2017	5.00	2.00	60	21.8	11.2
24/04/2017	11.00	5.00	54.5	22.8	6.34
05/05/2017	6.00	3.00	50	14.1	5.73
		PROMEDIO	49.58		

Fuente: Trabajo de Campo.

Según el cuadro que se presenta:

- ❖ El porcentaje promedio de remoción de STS en suspensión en el humedal es 49.58% este valor se aproxima a lo indicado en la referencias bibliográficas, entre el 12 y el 20% de la zona inicial del área total del humedal (Lara, 1999).
- ❖ El valor máximo del efluente es 5 mg/l y el valor máximo del afluente es 11 mg/l. Estos valores están por debajo a los LMP de la ECA categoría 4 y para vertimientos del agua tratada a los cuerpos de agua receptor (ríos) es de 100 mg.
- ❖ En el primer y segundo análisis el efluente tiene valor mínimo de la detección del equipo de laboratorio para este parámetro. El segundo análisis no hay remoción debido a que el agua residual que ingresa al sistema, ya presenta condiciones excelentes de remoción de sólidos, por lo tanto, en este caso la reducción es mínima. La eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión tiene correlación con los resultados de turbiedad.

5.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS SOBRE EVALUACIÓN DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS:

A. CONCENTRACIÓN DE FOSFORO ([P]):

He1 = El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) es eficiente en un 40 % en la remoción de [P].

Ho1 = El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) no es eficiente en un 40 % en la remoción de [P].

Criterio para decidir:

Si el valor estadístico de t-student ubicado en el diagrama de distribución normal se encuentra en la región de aceptación de la hipótesis como muestra la figura N° 21, por lo tanto la hipótesis específica 1 planteada es aceptada.

La eficiencia de remoción de Fosforo en el Humedal de Flujo Horizontal es un 40 % y un poco más. La media se obtiene es un 43.8 % de eficiencia de remoción para todo el sistema. Por lo tanto la **Hi** es aceptada y el **Ho** es rechazado.

B. CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO ([N]):

He2 = El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) es eficiente en un 40 % en la remoción de [N].

Ho2 = El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) no es eficiente en un 40 % en la remoción de [N].

Criterio para decidir:

Si el valor estadístico de t-student ubicado en el diagrama de distribución normal se encuentra en la región de aceptación de la hipótesis como muestra la figura N° 23, por lo tanto la hipótesis específica 1 planteada es aceptada.

La eficiencia de remoción de Nitrógeno en el Humedal de Flujo Horizontal es un 40 % y un poco más. La media se obtiene es un 42.4 % de eficiencia de remoción para todo el sistema. Por lo tanto la **Hi** es aceptada y el **Ho** es rechazado.

**C. CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN
([STS]):**

He2 = El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) es eficiente en un 40 % en la remoción de [STS].

Ho2 = El humedal de flujo horizontal con la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) no es eficiente en un 40 % en la remoción de [STS].

Criterio para decidir:

Si el valor estadístico de t-student ubicado en el diagrama de distribución normal se encuentra en la región de aceptación de la hipótesis como muestra la figura N° 23, por lo tanto la hipótesis específica 1 planteada es aceptada.

La eficiencia de remoción de Nitrógeno en el Humedal es un 40 % y un poco más. La media se obtiene es un 49.58 % de eficiencia de remoción para todo el sistema. Por lo tanto la **Hi** es aceptada y el **Ho** es rechazado.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

6.1. CONCLUSIONES:

- ✓ Se logró evaluar la eficiencia de remoción de nutrientes (N y P) y sólidos totales suspendidos por parte de la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho), aplicado al humedal artificial de flujo horizontal. La remoción de la concentración de Fosforo fue de un 43.79 %, la del Nitrógeno fue 42.38% y de los sólidos totales en suspensión fue de 49.58%.

- ✓ El Agua Residual captada de la red de desagüe de Marcará anexo a Centro Ecológico Experimental – Tuyururi de la UNASAM fue captado y tratado secundariamente con un sistema de Humedal Construido de Flujo Horizontal, la cual se obtuvo calidad de agua aceptable para el vertimiento a cuerpos de agua receptor como el Río más cercano.

- ✓ Se realizó el diseño hidráulico y se construyó el Humedal de flujo horizontal; con parámetros de diseño de concentración de DBO de 38.10 mg/l y un caudal de 0.3m³/día, el área superficial del humedal fue 3.03 m², con una profundidad de 0.60 m. Largo de 3.62 m, ancho de 1.66 y una talud de 0.8 m.

- ✓ La construcción de concreto armado tal cual el plano y con accesorios de tubería de alimentación fueron de 2 pulgadas perforada de 1 pulg. cada 10 cm y una tubería de drenaje de 2 pulg perforadas cada 20 cm con un diámetro uniforme de 2cm.

- ✓ La adaptación de la especie *Zantedeschia Aethiopica* (cartucho) recolectada del distrito de Marcará fue dada bajo las condiciones de la investigación; dando buena adaptación e incremento de biomasa. Los sustratos utilizados fueron adquiridos en una cantera cercana y son: arena gruesa (D10=2m), arena gravosa (D10=8mm) y grava media (D10=32mm).

- ✓ Se obtuvieron valores de parámetros físicos importantes en el mecanismo depurador del humedal de flujo Horizontal como es pH tuvo un rango de 7.19 a 6.89, la temperatura tuvo un rango de 19.1 a 18.05° C; idóneos para la realización de procesos biológicos ocurrientes en el humedal.

- ✓ La hipótesis alternativa fue aceptada pues la remoción por parte de la planta llega a ser un poco más del 40 % en todos los parámetros analizados en esta tesis.

- ✓ Los valores de los parámetros físico-químicos del efluente del humedal analizados por el laboratorio como: N-Amoniacal, Nitratos y Solidos totales suspendidos, se encuentran dentro de lo establecido por el D.S. N° 004-2017-MINAM; según el artículo 2, categoría 4, E2 ríos de la costa y la sierra, siendo apta para el vertimiento a cuerpos de agua receptores como son los ríos.

6.2.RECOMENDACIONES:

- ✓ Se recomienda considerar esta especie *Zantedeschia Aethiopica* (*cartucho*) como una planta macrófita en los humedales para futuros estudios de diferentes características del afluente.

- ✓ Para humedales artificiales que van a ser utilizados para la remoción prioritaria de nutrientes (fosforo y nitrógeno) En el diseño se debe tener en cuenta tiempos de retención más amplios.

- ✓ En humedales de flujo subsuperficial emplear un tubo de PVC, o un sistema que permita medir diferentes parámetros (como pH, temperatura, oxígeno disuelto, etc.) en el agua que se encuentra en los humedales.

- ✓ Se recomienda hacer cosechas cuando se observe que el humedal este en un estado de crecimiento avanzado para optimizar la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

- ✓ Se recomienda realizar lavados periódicos al lecho filtrante del humedal para evitar colmatación y así generar la formación de flujos preferenciales y por ende la aportación de sales a los procesos.

- ✓ Se recomienda hacer lavados periódicos a los accesorios de ingreso y salida del humedal para evitar posibles atoros por diversas causas.

CAPITULO VII

7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Agutín Lahora,(2000). Depuración de aguas con humedales artificiales: la EDAR de los Gallardos Almería. Gestión de las aguas del Levante Almeriense S.A. GALASA 99 -111 pp.-Vera-Almería-España.

Alcibíades Bohórquez Bonilla (1 de Enero de 2009). Producción de plantas Macrófitas: Alternativa para la depuración en humedales artificiales”, Universidad Antonio Nariño Bogotá D.C.- Colombia. Vol. 1.

Bedoya, E. B. (2015). Efectos del medio filtrante y la frecuencia de alimentación en humedales construidos de flujo vertical para tratamiento de aguas residuales domésticas en condiciones tropicales. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Borin M.; Salvato M., (2012). Effects of five macrophytes on nitrogen remediation and mass balance in wetland mesocosms. Ecological Engineering. Vol. 46, 34-42 pp.

Carlos A. arias y Dr. Hans Brix (1998) “Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales.”

Daniel Arturo Peña Orocaja y Rafael Marcos Infante Flores (2012). Evaluación de la Eficiencia de Rrmoción de un Humedal Artificial en Función dela Granulometria de Grava en el Medio Filtrante" .Tesis. Lima –Peru.

Drizo A.; Frost C.; Smith K. y Grace j., 1997. Phosphorus removal by horizontal reed beds using shale as a substrate *Wat. Environ. Vol. 68. 951-954 pp.*

Dusherncov.; Raskin I.; Kumar N.; Salt D., 1994. Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion in Biotechnology. Vol 5, Issue 3, 285-290 pp.*

Elias Mejia Mejia, 2005. Técnicas e Instrumentos de investigación. UNMSM. Primera Edición. Lima Perú.

Gabriela Ferrer, Claudia Morán, Gerardo Aldana y Jhonny Pérez (2013) Determinación del tiempo retención hidráulico en humedales construidos de flujo horizontal usando un trazador químico. Repositorio Académico de la Universidad Zulia, SERVILUZ. Vol. 36. Colombia.

Hernandez (1997), Saneamiento y Alcantarillado. Vertidos Residuales. Quinta Edición. Colegio de Ingenieros canales y puertos. Madrid España.

Jaime A. Lara Borrero (Mayo del 1999). Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Instituto Catalán de Tecnología, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Jairo A. Romero Rojas (Febrero, 2004). Tratamiento de Aguas Residuales teoría y principios de diseño. Tercera Edición. Escuela Colombiana de Ingeniería, 1248 pp.

Jan Vymazal, (2005). Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. Vol. 25. 475-622 pp.

Jan Vymazal, (2007). Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. Science of the Total Environment Vol. 380. 48-65 pp.

Javier Mena, J. Villaseñor, L. Rodríguez y J. Nuñez (2008). Depuración de Aguas Residuales con Humedales Artificiales: Ventajas de los Sistemas Hídricos. Conferencia dictada durante el noveno congreso nacional de Medio Ambiente. Madrid – España.

Jhoan P. Marín Montoya y Juan Carlos Correa Ramirez (2010) Evaluación de la Remoción de Contaminantes en Aguas Residuales en Humedales Artificiales utilizando la *Guadua angustifolia* Kunth Universidad Tecnológica De Pereira Facultad de Tecnología Escuela de Tecnología Química Pereira.

Joan Garcia Serrano y Angélica Corzo Hernandez. (2008). Depuración con Humedales Construidos-Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación del Sistema de Humedales de Flujo Subsuperficial . Catalunya.

Kadlec R.; Knight R., (1996). Treatment Wetlands. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, Florida. 823 pp.

Leto C.; Tuttolomondo T.; La Bella S.; Leone R.; Licata M.,(2013). Effects of plants species in a horizontal subsurface flow constructed wetland - phytoremediation of treated urban waste water with Cyperusalternifolius L. and Typha.

Mena Cabrera y Paolo Alexander(16 de Diciembre 2014). Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el colegio familiar siglo XXI, sede campestre corregimiento de San Fernando, Tesis, Municipio de Pasto, Colombia.

Ministerio de Vivienda, Construcción. y.Saneamiento (2006). Reglamento Nacional de Edificacione Norma Técnicas. Lima, Perú.

Marcos Perez Olmedilla, Salvador Sánchez y Carmen Rojo, 2000. Función depuradora de los humedales II: Una revisión bibliográfica sobre el papel del sedimento. Humedales Mediterráneos. Vol. 1. 123-130 pp.

Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F.Pérez, Mauricio Andrade. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba – Bolivia: ©Centro AGUA .

Rosa Miglio Toledo (2007) Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Lima, Perú.

Steinmann Christian R; Weinhart Sabine and Melzer Arnulf.,(2003). A combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment. Water Research Vol. 37. 2035–2042 pp.

U. Stottmeister; A. Wießner; P. Kusch; U.Kappelmeyer; M. Kästner; O. Bederski; R. Müller; R. Moormann, (2003). Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. Biotechnology Advances. Vol. 22. 93-117 pp.

WSP-LAC, (2006) The Water and Sanitation Program.

Yalcuka y Ugurlu., (2009). Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment. Bioresource Technology Vol.100. 128 2521-2526 pp.

Zohra Salem; X. Laffray; A. Ashour; Ayadi H.; Aleya L., (2013). Metal accumulation and distribution in the organs of Reeds and Cattails in a constructed treatment wetland (Etuefont, France). Ecological engineering. Volumen 64, March 2014, Pages 1-17.

<http://el-espiritu-de-las-plantas.blogspot.pe/2012/09/zantedeschia-aethiopica-cala-blanca.html>.

https://es.wikipedia.org/wiki/Material_biol%C3%B3gico.

ANEXOS

- ANEXO 1. REGISTRO FOTOGRÁFICO**
- ANEXO 2. DATOS DEL AFORO DE CAUDAL**
- ANEXO 3. DATOS DEL PH Y TEMPERATURA IN SITU**
- ANEXO 4. RESULTADOS DEL LABORATORIO**
- ANEXO 5. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL**
- ANEXO 6. PLANOS DEL HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL.**

ANEXO 1.
REGISTRO FOTOGRÁFICO

REGISTRO FOTOGRÁFICO

- a. Levantamiento topográfico y Recolección de Datos para diseño del Humedal.



*Fotografía 23: Levantamiento Topográfico y Prueba de Impermeabilidad.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 24: Aforo de Caudal del Agua Residual de la Red mediante el método de las esferas de corcho y toma de muestras del agua residual a tratar.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 25: Muestra de agua residual para ser analizada.
Fuente. Trabajo de Campo.*

CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL

- b. Construcción del humedal de flujo subsuperficial vertical como tratamiento Secundario.



*Fotografía 26: Excavación y vaciado de piso del humedal.
Fuente. Trabajo de Campo*



*Fotografía 27: Habilitación y armado de la malla de fierro de 1/4 \"
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 28: Colocación de la malla fijando los niveles con tacos de concreto.
Fuente. Trabajo de Campo.*



Fotografía 29: Habilitación e instalación de la tubería de 4" para la evacuación del efluente del humedal
Fuente. Trabajo de Campo



Fotografía 30: Excavación de la caja recolectora del caudal del efluente del humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.



Fotografía 31: Preparación de la mezcla $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ +sika para el piso y las paredes del humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.



*Fotografía 32. Vaciado de concreto en el piso del humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 33 : Encofrado externo para la pared del humedal
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 34: Instalación de la tubería recolectora del efluente tratado
del humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 35: Verificación de la pendiente 1% para la evacuación del efluente.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 36: Vaciado de concreto por capas a las paredes del humedal y su respectiva chuseada.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 37: Tarrajeo de las paredes del humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 38: Frotachado de las paredes del humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 39 : Instalación de la tubería de ingreso de caudal al humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 40; Vaciado de concreto en el piso y encofrado de la caja recolectora del
efluente del humedal de flujo horizontal.
Fuente. Trabajo de Campo.*

CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DISTRIBUIDORA DE CAUDAL



*Fotografía 41 ;Excavación, nivelación y compactación y vaciado de concreto en el piso de la CDQ (caja distribuidora de caudal).
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 42:Habilitación e Instalación del enconrado interior de la Caja Distribuidora de caudal.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 43: Vaciado de concreto en las paredes de la CDQ.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 44; Armado de malla de fierro y encofrado de las tapas de la CDQ y
la caja recolectora del efluente del humedal.
.Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 45: Habilitación de los sustratos para el humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 46: Llenado de la grava de 32 mm en la base del humedal y grava de 8 mm
para la siembra de las plantas.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 47: Verificando y nivelando las capas de los sustratos.
Fuente. Trabajo de Campo.*

**PRE ADAPTACIÓN Y SIEMBRA DE LA ESPECIE ZANTEDESCHIA
AETHIOPICA (CARTUCHO).**



*Fotografía 48: Pre adaptación en tinas con turba y arena durante 15 días.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 49: Siembra de la planta en el sustrato del humedal.
Fuente. Trabajo de Campo.*

**EVALUACIÓN DE LA ESPECIE ZANTEDESCHIA AETHIOPICA
(CARTUCHO) EN LA ETAPA DE TRATAMIENTO**



*Fotografía 50: Imágenes del incremento de la biomasa del cartucho.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 51: Medición del incremento de masa de la planta.
Fuente. Trabajo de Campo.*

MONITOREO DE PARÁMETROS FÍSICOS Y TOMA DE MUESTRAS DE LAS AGUAS RESIDUALES A ANALIZAR.



*Fotografía 52: Aforo de caudal y medición del pH y temperatura.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 53: Toma de muestra para los análisis de laboratorio.
Fuente. Trabajo de Campo.*



*Fotografía 54: Determinación del tiempo de retención real.
Fuente. Trabajo de Campo.*

ANEXO 2.
DATOS DEL CAUDAL

2.1. Datos del Aforo del Caudal en lps, cada dos horas del afluente y efluente del Humedal.

Tabla 50:

Caudal en lps, cada dos horas del afluente y efluente del Humedal.

FECHA	HORA	HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL		CAUDAL (L/S)	
				PROMEDIOS	
		AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	08:00	0.00385	0.00286	0.00384	0.00287
	10:00	0.00383	0.00301		
	12:00	0.00381	0.00263		
	14:00	0.00384	0.00284		
	16:00	0.00386	0.00302		
30/03/2017	08:00	0.00392	0.00297	0.00385	0.00290
	10:00	0.00386	0.00291		
	12:00	0.00373	0.00278		
	14:00	0.00385	0.00290		
	16:00	0.00391	0.00296		
07/04/2017	08:00	0.00385	0.00285	0.00385	0.00285
	10:00	0.00387	0.00287		
	12:00	0.00374	0.00274		
	14:00	0.00388	0.00288		
	16:00	0.0039	0.00290		
24/04/2017	08:00	0.00387	0.00294	0.00387	0.00294
	10:00	0.00394	0.00301		
	12:00	0.00374	0.00281		
	14:00	0.00388	0.00295		
	16:00	0.00391	0.00298		
05/05/2017	08:00	0.00385	0.0028	0.00386	0.00281
	10:00	0.0039	0.00285		
	12:00	0.00378	0.00273		
	14:00	0.00387	0.00282		
	16:00	0.00392	0.00287		

Fuente: Datos tomados den campo

ANEXO 3.
DATOS DEL PH Y TEMPERATURA

3.1 Datos del pH medido cada dos horas en el afluente y efluente del Humedal.

Tabla 51:

pH medido cada dos horas en el afluente y efluente del Humedal.

FECHA	HORA	HFH		pH Adimensional	
		AFLUENTE	EFLUENTE	PROMEDIOS	
		AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
16/03/2017	08:00	7.84	7.3	7.70	7.01
	10:00	7.81	7.17		
	12:00	7.75	7.08		
	14:00	7.7	7		
	16:00	7.61	6.8		
	18:00	7.5	6.7		
31/03/2017	08:00	7.8	7.31	7.57	7.14
	10:00	7.71	7.27		
	12:00	7.62	7.23		
	14:00	7.57	7.16		
	16:00	7.42	7.02		
	18:00	7.28	6.87		
15/04/2017	08:00	7.72	7.12	7.41	6.89
	10:00	7.59	7.06		
	12:00	7.43	7.01		
	14:00	7.36	6.8		
	16:00	7.2	6.75		
	18:00	7.15	6.6		
30/04/2017	08:00	7.7	7.1	7.36	6.86
	10:00	7.5	7.02		
	12:00	7.41	6.95		
	14:00	7.3	6.8		
	16:00	7.17	6.7		
	18:00	7.08	6.6		
15/05/2017	08:00	7.8	7.3	7.61	7.10
	10:00	7.78	7.24		
	12:00	7.65	7.13		
	14:00	7.57	7.09		
	16:00	7.48	7.01		
	18:00	7.36	6.85		

Fuente: Datos tomados den campo

3.2 Datos de temperatura medido cada dos horas en el afluente y efluente del Humedal.

Tabla 52:

temperatura medido cada dos horas en el afluente y efluente del Humedal.

FECHA	HORA	HFH		TEMPERATURA T°C	
				PROMEDIOS	
		AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
15/03/2017	08:00	16.9	17.4	17.60	18.20
	10:00	17.2	18.3		
	12:00	18.0	18.6		
	14:00	18.5	19.0		
	16:00	17.4	17.7		
30/03/2017	08:00	17.2	18.4	18.01	19.50
	10:00	17.3	19.3		
	12:00	18.3	19.7		
	14:00	18.8	20.8		
	16:00	18.5	19.3		
07/04/2017	08:00	17	17.8	17.41	18.80
	10:00	17.1	18.8		
	12:00	17.6	19.1		
	14:00	18.1	20.3		
	16:00	17.3	18.1		
24/04/2017	08:00	16.7	17.3	17.19	18.05
	10:00	17.1	18.2		
	12:00	17.5	18.6		
	14:00	18.0	19.0		
	16:00	16.7	17.2		
05/05/2017	08:00	17.2	17.8	17.73	19.10
	10:00	17.8	18.5		
	12:00	18.0	19.6		
	14:00	18.5	20.3		
	16:00	17.2	19.3		

Fuente: Datos tomados den campo

ANEXO 4.
RESULTADO DEL LABORATORIO



INFORME DE ENSAYO AG170307

CLIENTE Razón Social : JAMANCA ROSALES GINA
 Dirección : Pje. Los Claveles N° 135 - Nicrupampa
 Atención : Jamanca Rosales Gina

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : S: Salida del Humedal, Flujo Horizontal del Centro de Investigación de Tuyururi - Marcara
 I: Ingreso al Humedal del Flujo Horizontal del Centro de Investigación de Tuyururi - Marcara
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170192

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 15/Marzo/2017
 Fecha de análisis : 15 de Marzo al 22 de Marzo/2017
 Cotización N° : CO170195

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					S	I
					Código del cliente	
					Fecha de muestreo	15/03/2017
					Hora de muestreo	12:20
					Código del Laboratorio	AG170389
						AG170390
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS						
FQ20	Fosfato	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato (*)	0.01	1.00	2.29
FQ29	Sólidos totales en suspensión	mg/l	APHA 2540 D (*)	1	6	< 1
ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN BIOQUÍMICO						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1	38	40
INDICADORES DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACIÓN DE PATOGENOS						
NU03	N-Amotiacal	mg/l NO _x -N	Azul Indofenol (*)	0.010	6.900	14.000
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral (*)	1.0	< 1.0	< 1.0

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012



Quím. Mario Leyva Colles
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

Huaraz, 22 de Marzo de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.

Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170345

CLIENTE
Razón Social: JAMANCA ROSALES GINA
Dirección: Pje. Los Claveles N° 135 - Nicupampa
Atención: Jamanca Rosales Gina

MUESTRA
Producto declarado: Agua Residual
Matriz: Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia: I - 1: I - 1 Ingreso al Humedal del Flujo Horizontal del Centro de Investigación de Tuyururi - Marcará
 S - 1: S - 1 Ingreso al Humedal del Flujo Horizontal del Centro de Investigación de Tuyururi - Marcará
Ref./Condición: Cadena de Custodia CC170222

MUESTREO
Responsable: Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción: 30/Marzo/2017
Fecha de análisis: 30 de Marzo al 06 de Abril/2017
Cotización N°: CO170196

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					I - 1	S - 1
					30/03/2017	30/03/2017
					13:20	13:35
					AG170433	AG170434
FQ ANALISIS FISICOQUIMICOS						
FQ20	Fosfato	mg/l PO ₄ ³⁻ -P	Variádomolibdato (*)	0.01	3.05	0.69
FQ29	Sólidos totales en suspensión	mg/l	APHA 2540 D (*)	1	< 1	< 1
CM INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS						
NU03	N-Amoniaco	mg/l NO ₂ -N	Azul indofenol (*)	0.010	19.600	4.400
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral (*)	1.0	1.0	< 1.0
CB ANALISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1	33	17

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

† Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012

Huaraz, 06 de Abril de 2017



Mario Leyva Collas
 Qlm. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170371

CLIENTE Razón Social : "Efectividad de UBS (Unidad Básica de Saneamiento) empleando Humedales Artificiales con Especies Nativas en la Depuración de Aguas Residuales en el Centro Experimental Tuyu Run - Marcara , para Reuso de Agua en Riego año 2016 - 2017"

Dirección : Centro Experimental Tuyu Ruri
Atención : Rosano Adriana Polo Salazar

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170243

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 07/Abril/2017
Fecha de análisis : 07 de Abril al 20 de Abril/2017
Cotización N° : CO170258

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA				
					Código del cliente	H-CC-S	H-C-S	B-S	E-AA-R
					07/04/2017	07/04/2017	07/04/2017	07/04/2017	07/04/2017
					15:20	15:30	15:32	15:40	
					AG170474	AG170475	AG170476	AG170477	
FQ ANALISIS FISICOQUIMICOS									
FQ20	Fosfato	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato (*)	0.05	0.64	0.74	0.79	0.68	
FQ29	Sólidos totales en suspensión	mg/l	APHA 2540 D (*)	1	< 1	2	5	15	
FQ33	Sulfatos	mg/l SO ₄ ²⁻	Bario sulfato, turbidimétrico (*)	25	25	< 25	< 25	< 25	
NU ANALISIS DE NUTRIENTES									
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral (*)	1.0	21.3	< 1.0	1.2	4.5	
NU05	Nitritos	mg/l NO ₂ ⁻	Reacción Griess (*)	0.007	0.076	0.013	0.021	0.210	
CB ANALISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO									
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1	21	16	50	13	
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico (*)	25	42	32	100	26	
CM INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLOGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS									
CM03	Coliformes totales	NMP/100 ml	APHA 9221 B (*)	< 2	2400000	2400000	2400000	11000000	
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2	1100000	1100000	1100000	4600000	

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012



Quím. Mario Leyva Collas
Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
FCAM - UNASAM
CQP N° 604

Huaraz, 20 de Abril de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirigentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170424

CLIENTE Razón Social : JAMANCA ROSALES GINA
 Dirección : Pje. Los Claveles N° 135 - Nicrupampa
 Atención : Jamanca Rosales Gina

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residual - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : I - 2 Ingreso al Humedal del Flujo Horizontal del Centro de Investigación de Tuyururi, Marcará
 S - 2 Ingreso al Humedal del Flujo Horizontal del Centro de Investigación de Tuyururi, Marcará
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170284

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 24/Abril/2017
 Fecha de análisis : 24 de Abril al 02 de Mayo/2017
 Cotización N° : CO170195

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA		
					I - 2	S - 2	
					Código del cliente	I - 2	S - 2
					Fecha de muestra	24/04/2017	24/04/2017
					Hora de muestra	16:26	17:15
					Código del Laboratorio	AG170547	AG170548
FQ ANALISIS FISICOQUIMICOS							
FCQ20	Fosfato	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato (*)	0.05	0.51	0.49	
FCQ29	Sólidos totales en suspensión	mg/l	APHA 2540 D (*)	1	11	5	
NU ANALISIS DE NUTRIENTES							
NU03	N-Amóniacal	mg/l NH ₄ -N	Azul Indofenol (*)	0.010	< 0.010	< 0.010	
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral (*)	1.0	6.1	3.8	

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

* Datos proporcionados por el cliente

Leyenda: APHA: Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012



Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 02 de Mayo de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG170490

CLIENTE Razón Social : JAMANCA ROSALES GINA
 Dirección : Fje. Los Claveles N° 135 - Nicrupampa
 Atención : Jamanca Rosales Gina

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residual - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : I - 3 Ingreso al Humedal del Flujo Horizontal del Centro de Investigación de Tuyuruni, Marcará
 S - 3 Ingreso al Humedal del Flujo Horizontal del Centro de Investigación de Tuyuruni, Marcará

Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170321

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 05 Mayo/2017
 Fecha de análisis : 05 de Mayo al 12 de Mayo/2017
 Cotización N° : CO170195

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					I - 3	S - 3
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS						
FQ						
FQ20	Fosfato	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato (*)	0.05	0.20	0.05
FQ29	Sólidos totales en suspensión	mg/l	APHA 2540 D (*)	1	6	3
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU						
NU03	N-Amoniacal	mg/l NH ₄ -N	Azul Indofenol (*)	0.010	0.119	0.083
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral (*)	1.0	7.3	5.1

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA
 Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 22 nd. Edition-2012



Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 12 de Mayo de 2017

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

ANEXO 5.
ESTÁNDARES DE CALIDAD

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FISICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L		5	10
Bicarbonatos	mg/L		518	**
Cianuro Wad	mg/L		0,1	0,1
Cloruros	mg/L		500	**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co		100 (a)	100 (a)
Conductividad	(µS/cm)		2 500	5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L		15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L		0,2	0,5
Fenoles	mg/L		0,002	0,01
Fluoruros	mg/L		1	**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L		100	100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L		10	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		≥ 4	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L		1 000	1 000
Temperatura	°C		Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L		5	5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L		0,1	0,2
Bario	mg/L		0,7	**
Berilio	mg/L		0,1	0,1
Boro	mg/L		1	5
Cadmio	mg/L		0,01	0,05
Cobre	mg/L		0,2	0,5
Cobalto	mg/L		0,05	1
Cromo Total	mg/L		0,1	1
Hierro	mg/L		5	**
Litio	mg/L		2,5	2,5
Magnesio	mg/L		**	250
Manganeso	mg/L		0,2	0,2
Mercurio	mg/L		0,001	0,01
Niquel	mg/L		0,2	1
Plomo	mg/L		0,05	0,05
Selenio	mg/L		0,02	0,05
Zinc	mg/L		2	24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L		0,04	0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L		35	35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L		0,004	0,7
Clordano	µg/L		0,006	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L		0,001	30
Dieldrin	µg/L		0,5	0,5
Endosulfán	µg/L		0,01	0,01
Endrin	µg/L		0,004	0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L		0,01	0,03
Lindano	µg/L		4	4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L		1	11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

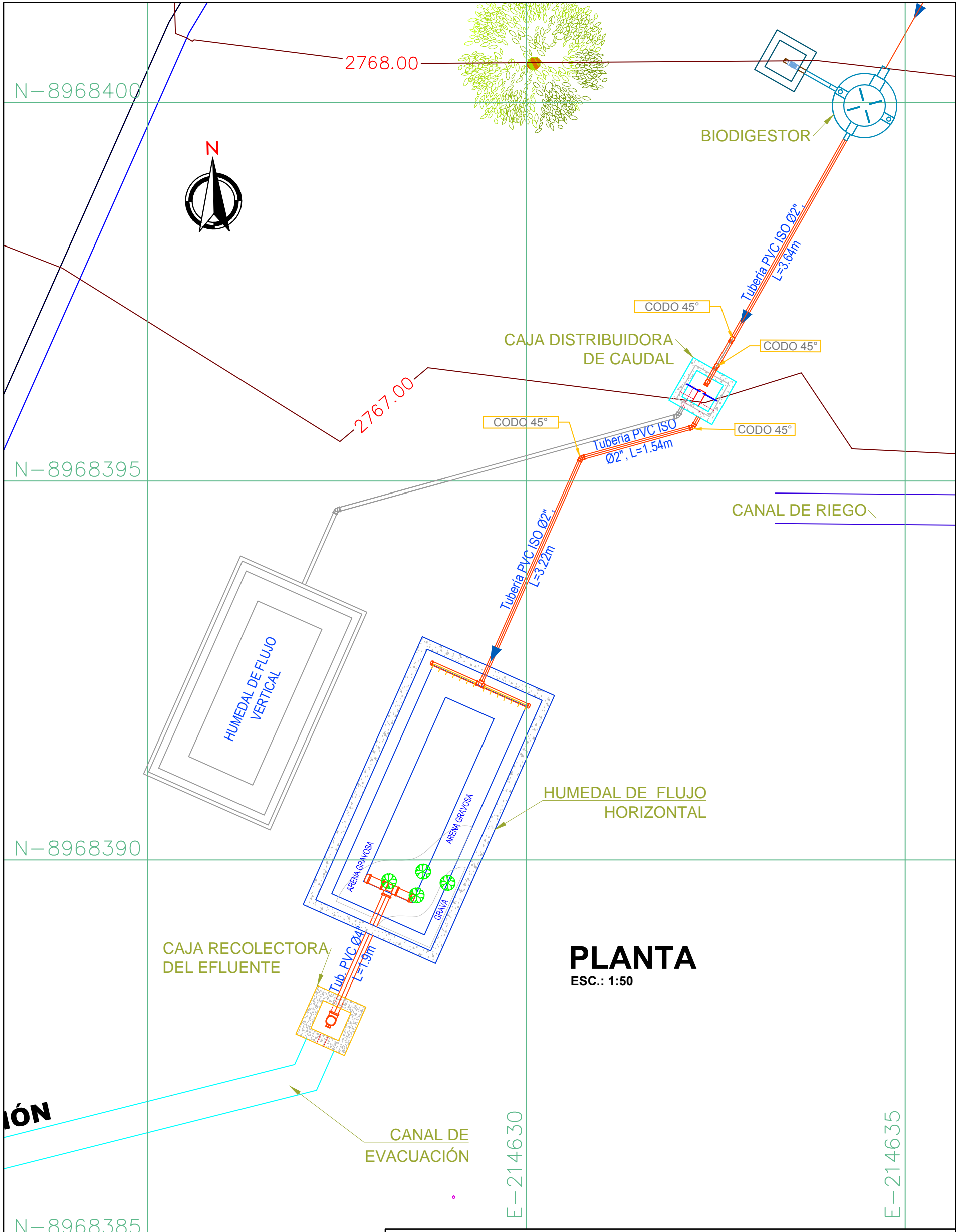
Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

ANEXO 6.
PLANOS DEL HUMEDAL DE FLUJO
HORIZONTAL Y DEMÁS UNIDADES DEL
SISTEMA PILOTO



PLANTA
ESC.: 1:50

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA	
TESIS: "REMOCIÓN DE NUTRIENTES N Y P, SÓLIDOS SUSPENDIDOS EMPLEANDO LA ESPECIE ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO) APLICADO EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL, A ESCALA PILOTO, EN TUYU RURI - MARCARA."	
PLANO EN PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO CON HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL	ESCALA: 1:50
TESISTA: Bach. JAMANCA ROSALES GINA R.	ASESOR: ING. HUAMÁN CARRANZA MARTIN MIGUEL
PL - 01	

E-214625

E-214630

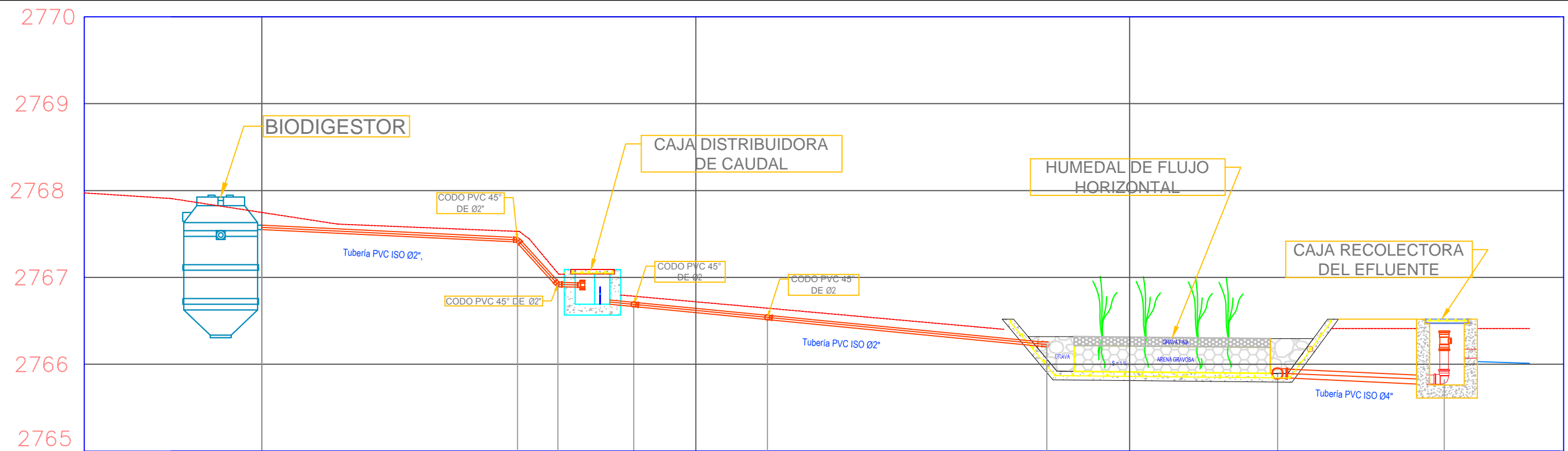
E-214635

N-8968400

N-8968395

N-8968390

N-8968385



DISTANCIA (m)	0m	2.95	0.47	0.87	1.54	3.22	2.66	1.9
COTA TERRENO	2767.75	2767.53	2767.05	2766.79	2766.65	2766.32	2766.30	2766.52
COTA RASANTE	2767.57	2767.43	2766.92	2766.69	2766.54	2766.23	2765.89	2765.82
ALTURA (m)	0.18	0.1	0.13	0.1	0.11	0.1	0.4	0.7
PENDIENTE	4.85%	110%	26.3%	9.67%	9.68%	12.52%	3.97%	

PERFIL LONGITUDINAL

ESC.: 1:50

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

TESIS: "REMOCIÓN DE NUTRIENTES N Y P, SÓLIDOS SUSPENDIDOS EMPLEANDO LA ESPECIE ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO) APLICADO EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL, A ESCALA PILOTO, EN TUYU RURI - MARCARA."

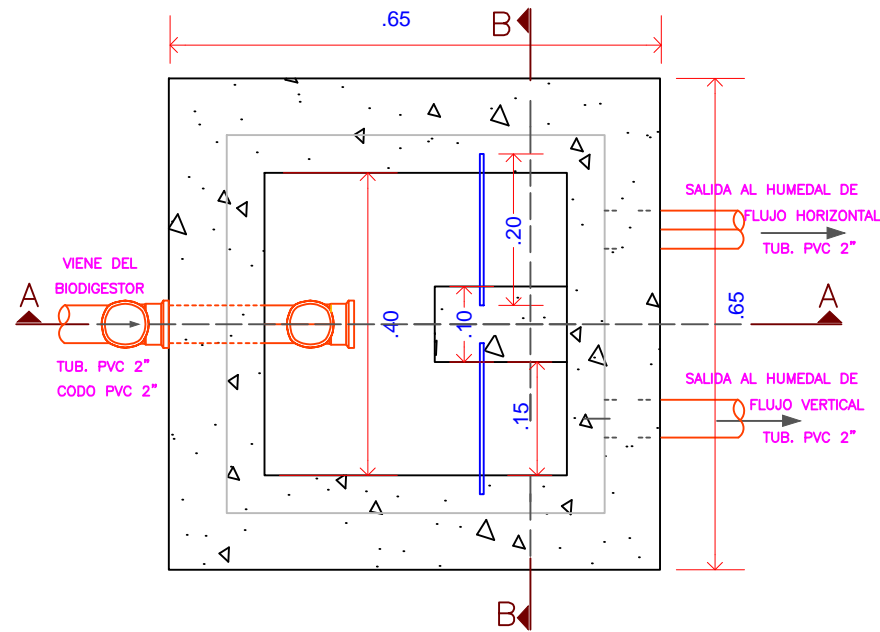
PLANO EN PERFIL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO
 CON HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL

ESCALA:
1:50

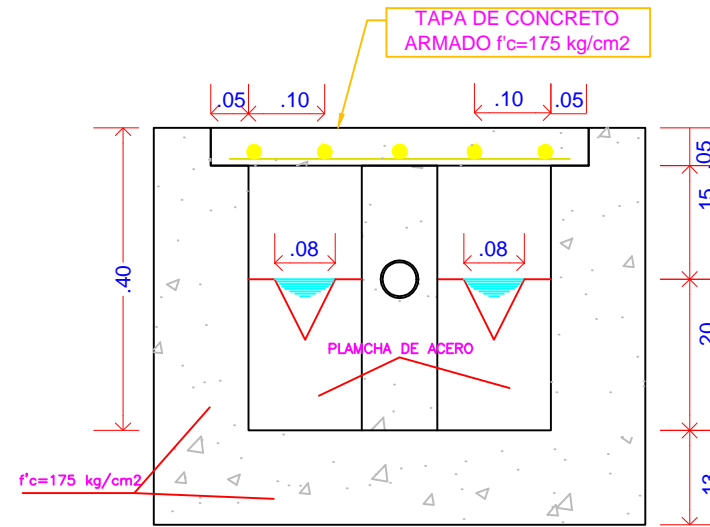
TESISTA:
Bach. JAMANCA ROSALES GINA R.

ASESOR:
ING. HUAMÁN CARRANZA MARTIN MIGUEL

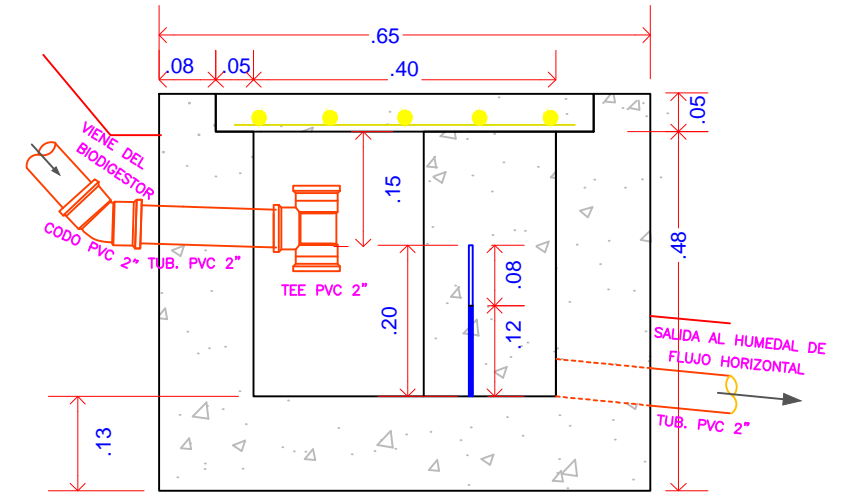
PL - 02



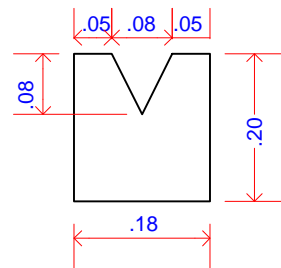
PLANTA: CAMARA DE DISTRIBUCION DE CAUDALES
 ESC.: 1:10



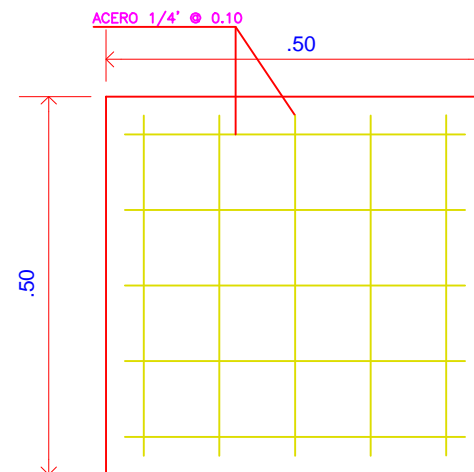
CORTE A-A
 ESC.: 1:10



CORTE B-B
 ESC.: 1:10



DETALLE DE PLANCHA DE ACERO



DETALLE DE ACERO EN LA TAPA DE CAMARA DE DISTRIBUCION DE CAUDALES

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

TESIS: "REMOCIÓN DE NUTRIENTES N Y P, SÓLIDOS SUSPENDIDOS EMPLEANDO LA ESPECIE ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO) APLICADO EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL, A ESCALA PILOTO, EN TUYU RURI - MARCARA."

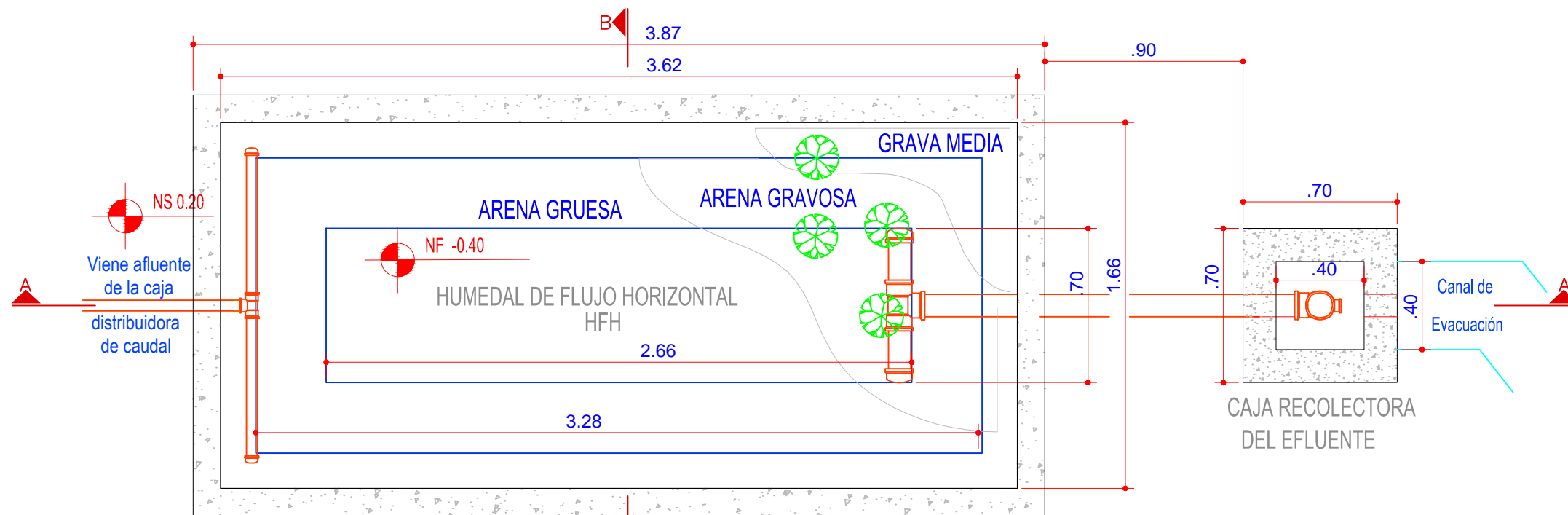
PLANO: CAMARA DE DISTRIBUCION DE CAUDALES

ESCALA:
 1:10

TESISTA:
 Bach. JAMANCA ROSALES GINA R.

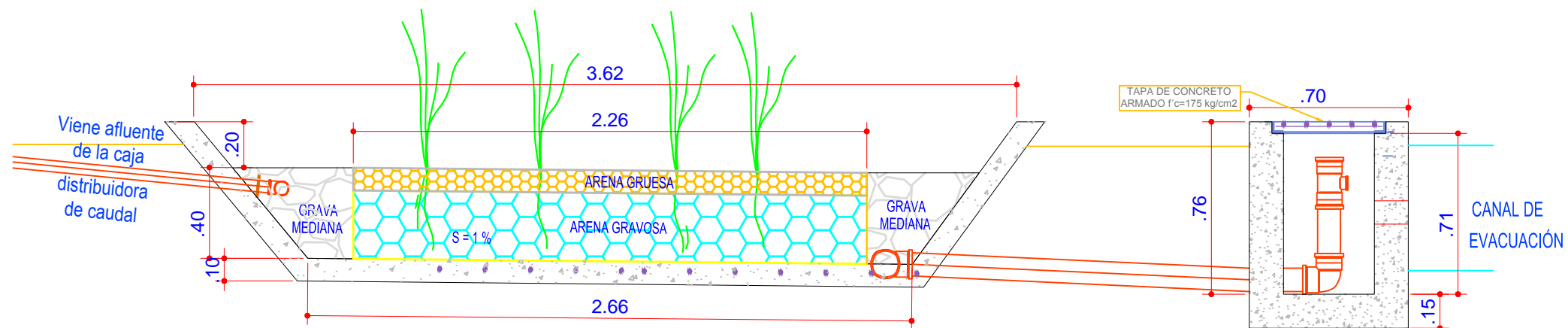
ASESOR:
 ING. HUAMÁN CARRANZA MARTIN MIGUEL

PL - 03

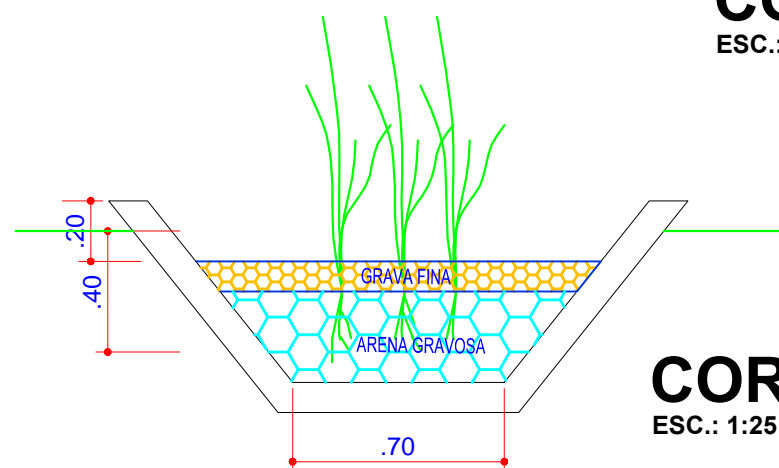


PLANTA
ESC.: 1:25

LEYENDA	
	Zantedeschia Aethiopica (Cartucho)
	Grava Mediana d=32 mm
	Arena Gravosa d= 8 mm
	Arena Gruesa d= 2 mm
	Concreto de f'c=175 kg/cm2



CORTE A-A
ESC.: 1:25



CORTE B-B
ESC.: 1:25

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

TESIS: "REMOCIÓN DE NUTRIENTES N Y P, SÓLIDOS SUSPENDIDOS EMPLEANDO LA ESPECIE ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO) APLICADO EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL, A ESCALA PILOTO, EN TUYU RURI - MARCARA."

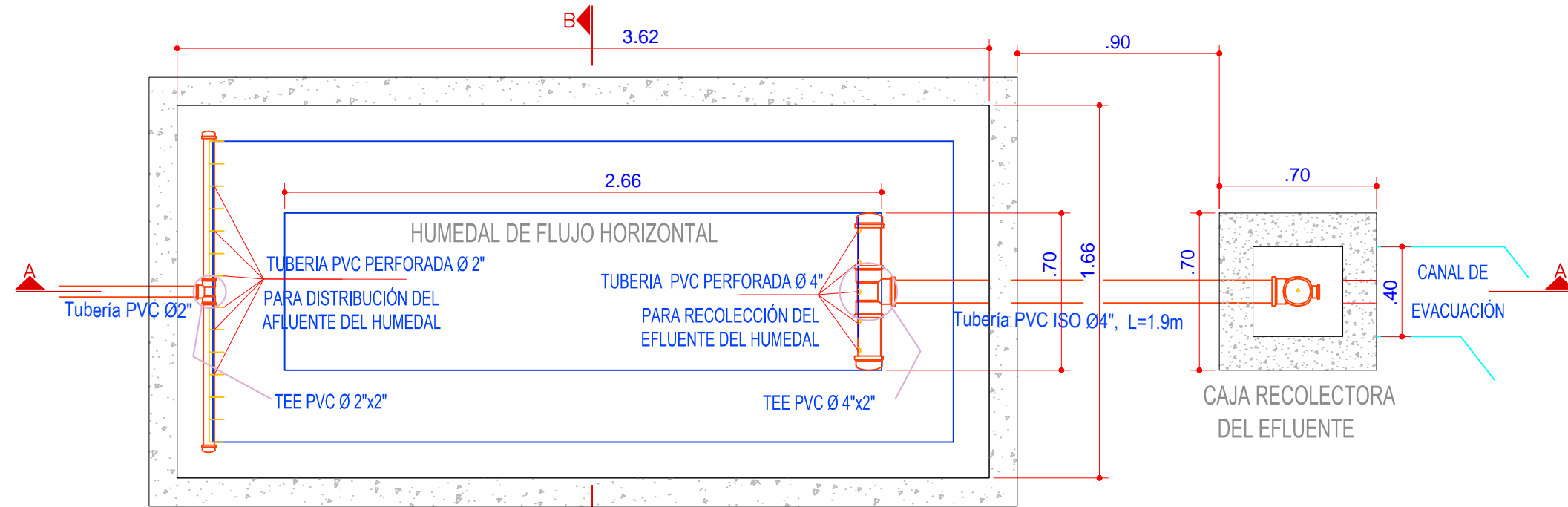
PLANO: HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL

ESCALA:
1:25

TESISTA:
Bach. JAMANCA ROSALES GINA R.

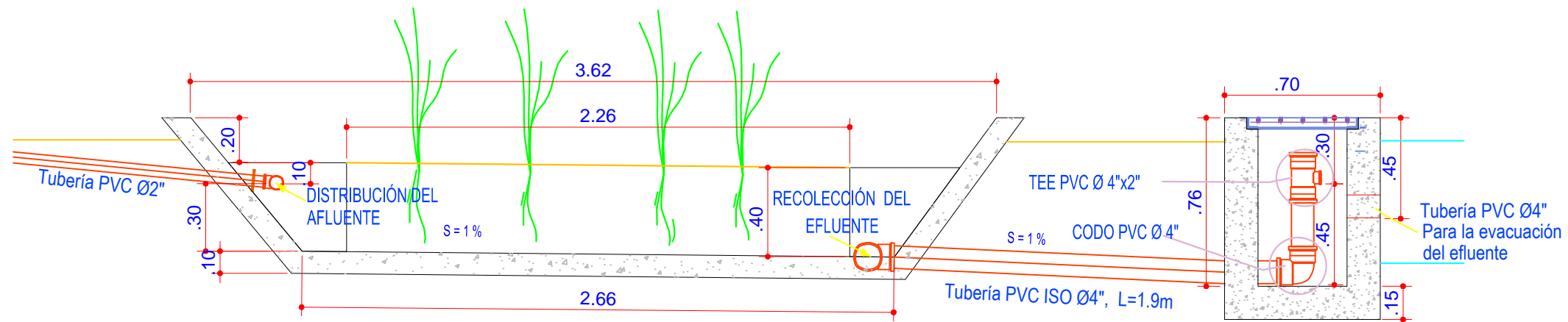
ASESOR:
ING. HUAMÁN CARRANZA MARTIN MIGUEL

PL - 04

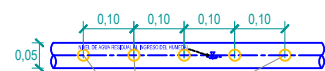


PLANTA
ESC.: 1:25

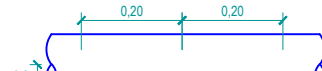
LEYENDA	
	TEE PVC Ø 4"x4"
	TEE PVC Ø 2"x2"
	CODO PVC Ø 4"
	TEE PVC Ø 4"x2"
	TAPÓN HEMBRA DE Ø 4" Y 2"
	CODO QUE SUBE



CORTE A-A
ESC.: 1:25



TUBERIA DN=50mm
PERFORADA ø de orificio=0.001, d. entre orificio =0.10m
DETALLE DE TUBERIA DE DISTRIBUCION
ESC.: 1:15



TUBERIA DN=110mm
PERFORADA ø de orificio=0.02, d. entre orificio =0.20m
DETALLE DE TUBERIA DE RECOLECCION
ESC.: 1:15

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

TESIS: "REMOCIÓN DE NUTRIENTES N Y P, SÓLIDOS SUSPENDIDOS EMPLEANDO LA ESPECIE ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO) APLICADO EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL, A ESCALA PILOTO, EN TUYU RURI - MARCARA."

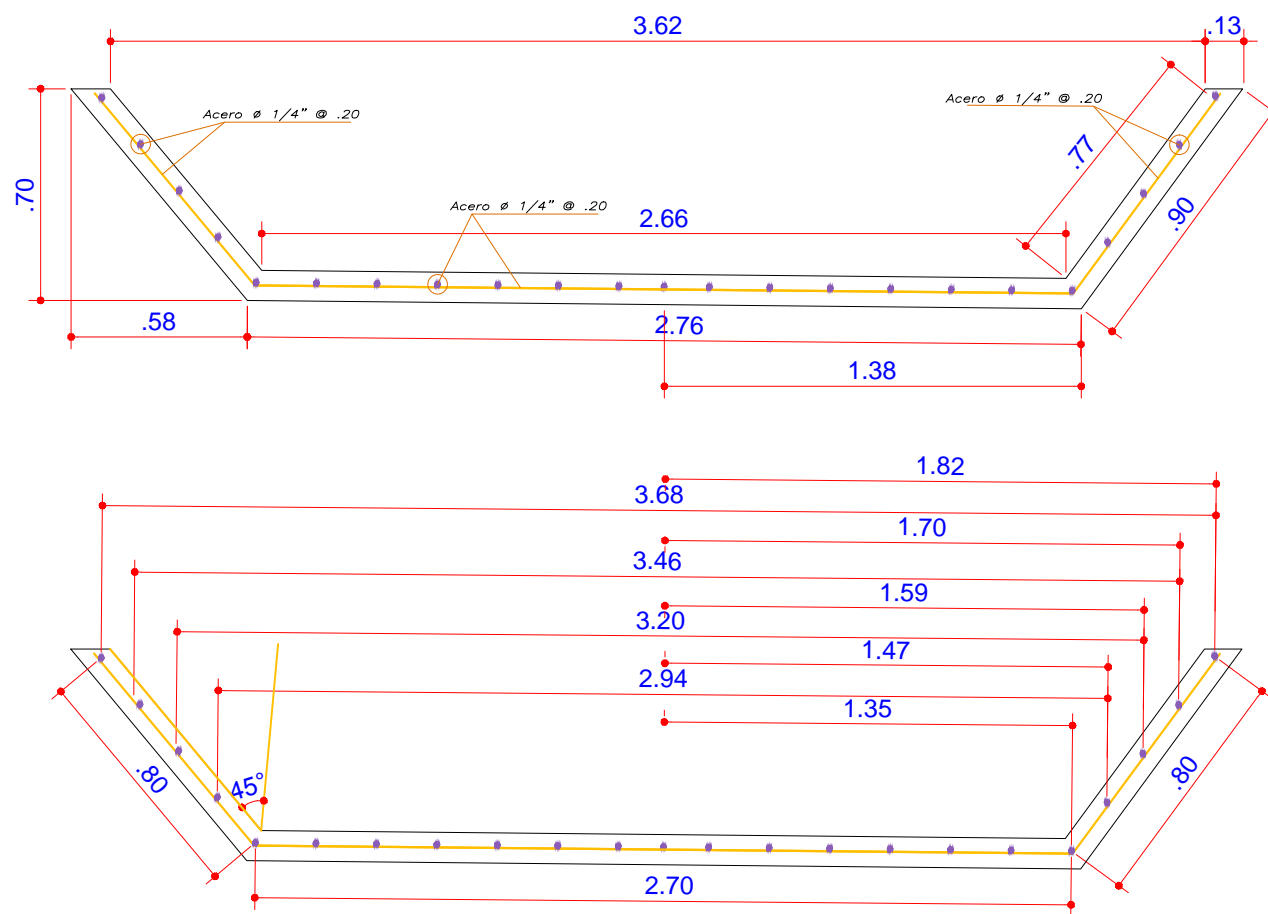
PLANO: INSTALACIONES SANITARIAS DEL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL

ESCALA:
INDICADA

TESISTA:
Bach. JAMANCA ROSALES GINA R.

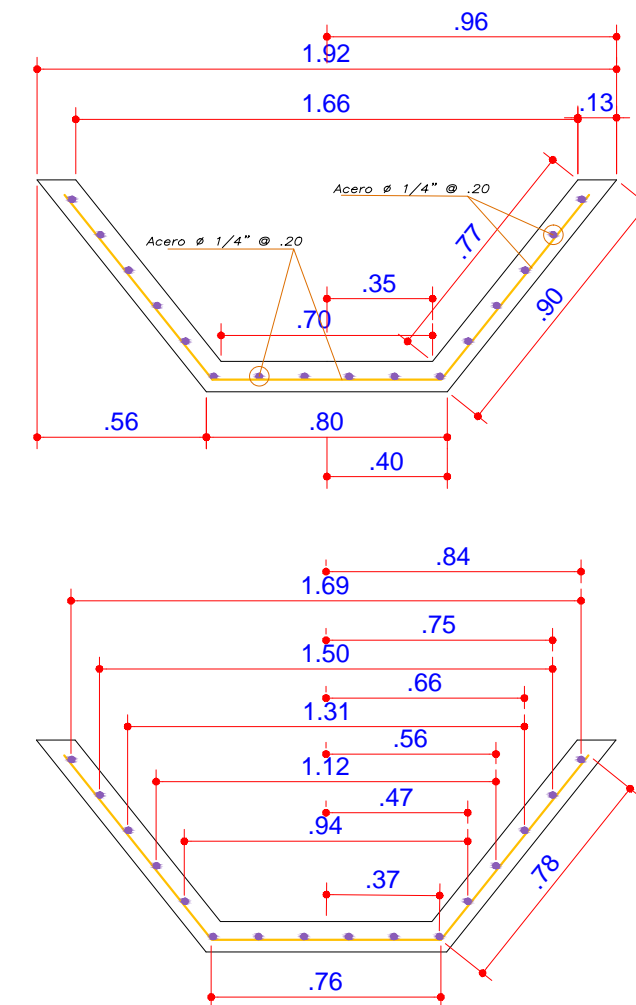
ASESOR:
ING. HUAMÁN CARRANZA MARTIN MIGUEL

PL - 05



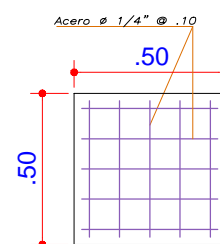
CORTE A-A: DISTRIBUCION DEL ACERO DE REFUERZO

ESC.: 1:25



CORTE B.B: DISTRIBUCION DEL ACERO DE REFUERZO

ESC.: 1:25



DETALLE DE ACERO
EN LA TAPA DE CAJA
RECOLECTORA DEL EFLUENTE

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

TESIS: "REMOCIÓN DE NUTRIENTES N Y P, SÓLIDOS SUSPENDIDOS EMPLEANDO LA ESPECIE ZANTEDESCHIA AETHIOPICA (CARTUCHO) APLICADO EN EL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL, A ESCALA PILOTO, EN TUYU RURI - MARCARA."

PLANO: ESTRUCTURA DEL HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL

ESCALA:
1:25

TESISTA:
Bach. JAMANCA ROSALES GINA R.

ASESOR:
ING. HUAMÁN CARRANZA MARTIN MIGUEL

PL - 06