

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**“REMOCIÓN DE FÓSFORO Y NITRÓGENO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS, MEDIANTE HUMEDALES
ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL EMPLEANDO
ANTRASITA Y TEREFTALATO DE POLIETILENO, EN LA
LOCALIDAD DE TOMA, CARHUAZ – ANCASH”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO SANITARIO**

AUTOR:

Bach. EDER CRISTHIAN VILLEGAS URBINA

ASESOR:

Ing. DEPAZ CELI KIKO FELIX

HUARAZ – ANCASH – PERÚ

DICIEMBRE – 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
FACULTAD CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS, PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el auditorium de la FCAM-UNASAM, para la Ceremonia de Sustentación de la Tesis, que presenta el señor Bachiller: **EDER CRISTHIAN VILLEGAS URBINA**.

Tesis Titulada: **“REMOCIÓN DE FOSFORO Y NITRÓGENO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL EMPLEANDO ANTRASITA Y TEREFALATO DE POLIETILENO, EN LA LOCALIDAD DE TOMA, CARHUAZ - ANCASH”**

En seguida, después de haber atendida la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

..... *Aprobado*

Con el calificativo de:

..... *15 (Quince)*

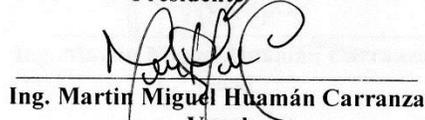
En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

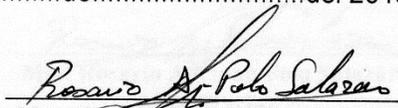
INGENIERO SANITARIO

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° 761-2017-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, **17** de **Diciembre** del 2018.


Ing. Gregorio Santiago Saenz Pohl
Presidente


Ing. Martin Miguel Huamán Carranza
Vocal


Msc. Rosario Adriana Polo Salazar
Secretaria


Ing. Kiko Félix Depaz Celi
Asesor

DEDICATORIA

A mis Padres y hermanos quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera. Que con su ejemplo, dedicación, apoyo incondicional y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aun cuando todo se complicaba.

A mi esposa por estar en los buenos y malos momentos, por toda la comprensión, por su apoyo y ánimo que me brinda día a día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A mis hijos por ser mi inspiración, mi motor y mi motivo, esos hijos que más que el motor de mi vida fueron parte muy importante de lo que hoy puedo presentar como tesis, gracias a ellos por cada palabra de apoyo, gracias por cada momento en familia sacrificado para ser invertido en el desarrollo de esta, gracias por entender que el éxito demanda algunos sacrificios y que el compartir tiempo con ellos, hacia parte de estos sacrificios.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a los docentes que fueron parte de mi formación profesional y que me hicieron ver las cosas de otra forma, en algunas como un calvario, pero a fin de cuentas nos enseñaron que ya están dadas las soluciones, solo es cuestión de aprender a esforzarse y buscar, para obtener un mayor conocimiento, así como impartir e inculcar en mí valores que hoy puedo aplicar en mi vida.

Agradecer a mis padres, hermanos, esposa y mis hijos por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mis días, por darme todas esas alegrías y hermosos momentos que me impulsan a seguir adelante.

Agradecer a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación y quienes a lo largo de mi vida me apoyaron, me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. A todos los que depositaron su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos, que soy lo que soy ahora.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE GENERAL.....	iii
SIGLAS Y ABREVIATURAS	viii
INDICE DE CUADROS	x
INDICE FOTOGRAFICO.....	xi
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE GRAFICOS	xiii
INDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPITULO I.....	1
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	2
1.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	4
1.2. BASES TEÓRICAS	5
1.2.1. AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	5
1.2.2. COMPOSICION DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA	6
1.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES TÍPICAS DOMESTICAS.....	7
1.2.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA RESIDUAL.....	7
1.2.5. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	10
1.2.6. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL	13
1.2.7. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.....	13
1.2.8. TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	14
1.2.9. TRATAMIENTO SECUNDARIO	15
1.2.10. TRATAMIENTO TERCIARIO	27
1.2.11. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERU.....	32
1.2.12. PARÁMETROS DE ANÁLISIS DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.....	34

1.2.13.	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES	34
1.2.13.1.	HUMEDALES ARTIFICIALES	34
1.2.13.2.	FUNCIONES GENERALES DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES...	36
1.2.13.3.	COMPONENTES DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.....	36
1.2.13.4.	MEDIO FILTRANTE	39
1.2.14.	TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES	40
1.2.15.	HIDRÁULICA DE LOS HUMEDALES VERTICALES.....	44
1.2.16.	MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES ARTIFICIALES.....	45
1.2.17.	REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL.....	46
1.2.18.	FITORREMEDIACIÓN.....	47
1.2.19.	RIZOFILTRACIÓN	48
1.2.20.	HIPERACUMULACIÓN	48
1.2.21.	EVOTRANSPIRACIÓN.....	49
1.2.21.1.	FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	49
1.2.22.	REMOCIÓN DE NITRÓGENO	50
1.2.22.1.	NITRIFICACIÓN	52
1.2.22.2.	FACTORES QUE AFECTAN LA NITRIFICACIÓN.....	53
1.2.22.3.	DESNITRIFICACIÓN.....	54
1.2.22.4.	FACTORES QUE AFECTAN LA DESNITRIFICACIÓN	54
1.2.23.	REMOCIÓN DE FÓSFORO.....	55
1.2.23.1.	REMOCIÓN BIOLÓGICA DE FÓSFORO	56
1.2.23.2.	FACTORES QUE AFECTAN LA EBF.....	58
1.2.24.	PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES	59
1.2.25.	LA ANTRACITA.....	60
1.2.26.	TEREFTALATO DE POLIETILENO	60
1.3.	MARCO LEGAL EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES.....	62
1.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	63
1.5.	REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	68
1.6.	FORMULACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	69

1.7. JUSTIFICACIÓN	69
1.8. OBJETIVOS	70
1.8.1. OBJETIVO GENERAL	70
1.8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	70
1.9. HIPÓTESIS	70
CAPITULO II.....	71
II. MARCO METODOLÓGICO	71
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	71
2.1.1. DESCRIPCIÓN POR ETAPAS	71
2.1.2. ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO	73
2.1.3. MEDICIÓN DE FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS	81
2.2. TIPO DE ESTUDIO	83
2.3. VARIABLES	84
2.3.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	84
2.3.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	84
2.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	84
2.5. UNIVERSO O POBLACIÓN	84
2.5.1. POBLACIÓN	84
2.5.2. MUESTRA	84
2.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	85
2.6.1. TOMA DE INFORMACIÓN.....	85
2.6.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO	86
2.6.3. EQUIPOS AUDIOVISUALES Y DE CÓMPUTO	86
2.6.4. GUÍAS DE ANÁLISIS	86
2.7. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS	86
2.7.1. ORDENAMIENTO Y CLASIFICACIÓN.....	86
2.7.2. REGISTRO MANUAL	87
2.7.3. PROCESO COMPUTARIZADO CON EXCEL	87
2.7.4. ANÁLISIS DOCUMENTAL	87
2.7.5. CONCILIACIÓN DE DATOS.....	87
2.7.6. TABULACIÓN DE CUADROS CON CANTIDADES Y PORCENTAJES	87
2.7.7. COMPRENSIÓN DE GRÁFICOS	88

2.8. ÁMBITO DE ESTUDIO	88
2.8.1. CENTRO POBLADO DE TOMA	88
2.8.2. PERIODO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	91
CAPITULO III	92
III. RESULTADOS	92
3.1. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN A LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL.....	92
3.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....	93
3.2.1. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS	95
3.2.2. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE FOSFATO.....	96
3.2.3. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE N- AMONIACAL.....	97
3.2.4. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE NITROGENO TOTAL.....	98
3.2.5. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO.....	100
3.2.6. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO... 101	
3.3. VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS CON RESPECTO A LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL	102
3.3.1. ACEITES Y GRASAS DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....	102
3.3.2. FOSFATO DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	103
3.3.3. NITROGENO TOTAL DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	104
3.3.4. DEMANDA BIOQUIMICA DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	105
3.3.5. DEMANDA QUIMICA DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL... 107	
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN.....	108
3.4.1. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA ACEITES Y GRASAS	108
3.4.2. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA FOSFATO.....	110
3.4.3. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA N- AMONIACAL.....	112
3.4.4. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA NITROGENO TOTAL	113
3.4.5. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.....	115
3.4.6. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.....	117

CAPITULO IV	120
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	120
CAPITULO V.	123
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
5.1. CONCLUSIONES	123
5.2. RECOMENDACIONES	126
CAPITULO VI	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
ANEXOS	131
ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO	131
ANEXO 2: IMÁGENES DE RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS DEL LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL - UNASAM	139

SIGLAS Y ABREVIATURAS

AGV	Ácidos grasos volátiles
BAF	Bacterias acumuladoras de fósforo
COV	Carga orgánica volumétrica
COT	Carbono Orgánico Total
DQOBS	Demanda bioquímica de oxígeno biodegradable soluble
DQOD	Demanda bioquímica de oxígeno disuelta
DQOSOB	Demanda bioquímica de oxígeno del sobrenadante
DQOT	Demanda bioquímica de oxígeno total
EBF	Eliminación biológica de fósforo
EBPR	Enhanced biological phosphorus removal (por sus siglas en inglés)
FWS	Humedal De Flujo Superficial.
HAFSS	Humedal Artificial De Flujo Sub Superficial
HAFV	Humedal Artificial De Flujo Vertical
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
M.O	Materia Orgánica.
NT	Nitrógeno total
OD	Oxígeno disuelto
ORP	Potencial de óxido reducción (por sus siglas en inglés)
PHB	Polihidroxibutiratos
PT	Fósforo total
RBN	Remoción biológica de nutrientes

SFS	Sistema De Flujo Sub Superficial.
SINA	Sistema Nacional Ambiental.
SST	Sólidos Suspendidos Totales.
SSTLM	Sólidos suspendidos totales en el licor mezclado
TD	Tasa de desnitrificación.
TN	Tasa de nitrificación.
TRH	Tiempo de retención hidráulico.

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO.....	93
CUADRO 2: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO	95
CUADRO 3: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE FOSFATO DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO	96
CUADRO 4: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE N- AMONICAL DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO	97
CUADRO 5: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITROGENO TOTAL DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO	98
CUADRO 6: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENODE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO	101
CUADRO 7: ACEITES Y GRASA EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ..	102
CUADRO 8: FOSFATO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL	103
CUADRO 9: NITRÓGENO TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL	104
CUADRO 10: DEMANDA BIOQUIMICA TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL	105
CUADRO 11: DEMANDA BIOQUIMICA TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL	107
CUADRO 12: DATOS ESTADÍSTICOS DE ACEITES Y GRASAS.....	108
CUADRO 13: DATOS ESTADÍSTICOS DE FOSFATO	110
CUADRO 14: DATOS ESTADÍSTICOS DE N - AMONICAL.....	112
CUADRO 15: DATOS ESTADÍSTICOS DE NITRÓGENO TOTAL	114
CUADRO 16: DATOS ESTADÍSTICOS DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.....	116
CUADRO 17: DATOS ESTADÍSTICOS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	118

INDICE FOTOGRÁFICO

FOTOGRAFÍA 1: TERRENO DISPONIBLE PARA LA INSTALACIÓN DEL HUMEDAL	73
FOTOGRAFÍA 2: LIMPIEZA DEL TERRENO	74
FOTOGRAFÍA 3: UBICACIÓN DE LOS TANQUES	74
FOTOGRAFÍA 4: EXCAVACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE LOS TANQUES ..	75
FOTOGRAFÍA 5: INSTALACIÓN DE LAS TUBERÍAS	75
FOTOGRAFÍA 6: INSTALACIÓN DE LOS TANQUES PARA CADA BATERÍA	76
FOTOGRAFÍA 7: INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA DE VENTILACIÓN PARA EL SUSTRATO	76
FOTOGRAFÍA 8: GRAVA EN EL TANQUE	77
FOTOGRAFÍA 9: INSTALACIÓN DE LOS 3 TANQUES POR CADA BATERÍA CON GRAVA INICIAL	77
FOTOGRAFÍA 10: CILINDRO DE GRAVA EN LA BASE DEL TANQUE	78
FOTOGRAFÍA 11: SUSTRATO FINAL ANTRACITA Y TEREFTALATO	78
FOTOGRAFÍA 12: PERFORACIÓN DE LA PLACA	79
FOTOGRAFÍA 13: INSTALACIÓN DE LAS PLACAS PERFORADAS	79
FOTOGRAFÍA 14: PRUEBA PREVIA DEL SISTEMA DE DRENAJE	80
FOTOGRAFÍA 15: SE REALIZA EL MUESTREO A LA ENTRADA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL FE FLUJO VERTICAL	81
FOTOGRAFÍA 16: SE REALIZA EL MUESTREO A LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL FE FLUJO VERTICAL	82
FOTOGRAFÍA 17: MUESTRAS PARA SU RESPECTIVO ANÁLISIS EN EL LABORATORIO	82
FOTOGRAFÍA 18: TERRENO DISPONIBLE PARA LA INSTALACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL	131
FOTOGRAFÍA 19: ULTIMO BUZÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA LOCALIDAD DE TOMA	132
FOTOGRAFÍA 20: INSTALACIÓN DE LOS PRIMEROS 2 TANQUES	132
FOTOGRAFÍA 21: EL BACH. EDER CRISTHIAN VILLEGAS URBINA EN LA INSTALACIÓN DE LOS 2 PRIMEROS TANQUES DEL SISTEMA	133
FOTOGRAFÍA 22: PERFORACIÓN DE LA TUBERÍA DE PVC PARA LA VENTILACIÓN DEL SISTEMA	133
FOTOGRAFÍA 23: INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN	134
FOTOGRAFÍA 24: EL BACH. EDER CRISTHIAN VILLEGAS URBINA EN LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LOS DOS TANQUES	134
FOTOGRAFÍA 25: COLOCACIÓN DE LA GRAVA EN LA BASE DEL TANQUE ..	135
FOTOGRAFÍA 26: INSTALACIÓN DE CUATRO TANQUES DE LAS DOS BATERÍAS DEL HUMEDAL	135
FOTOGRAFÍA 27: INSTALACIÓN DE LOS 3 TANQUES POR CADA BATERÍA ..	136

FOTOGRAFÍA 28: INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA LOCALIDAD DE TOMA	136
FOTOGRAFÍA 29: PRUEBA DEL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES..	137
FOTOGRAFÍA 30: FUNCIONAMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL	137
FOTOGRAFÍA 31: SISTEMA COMPLETO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL DOS BATERIAS CON TRES TANQUES CADA UNO	138
FOTOGRAFÍA 32: TOMA DE MUESTRA EN LA ENTRA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL	138
FOTOGRAFÍA 33: TOMA DE MUESTRA EN LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL	139

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: PERFIL DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL.	40
FIGURA 2: HUMEDAL A FLUJO LIBRE.....	41
FIGURA 3: PERFIL DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	41
FIGURA 4: HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL.....	42
FIGURA 5: HUMEDAL CON FLUJO VERTICAL.	44
FIGURA 6: DISEÑO DEL PROTOTIPO EN PLANTA	72
Figura 7: Mapa del Perú	88
Figura 8: Mapa de Ancash.....	89
Figura 9: Mapa de Carhuaz	89
Figura 10: Ubicación del distrito de Tinco.....	90
Figura 11: Centro Poblado de Toma	90

INDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO 1: INVENTARIO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	33
GRÁFICO 2: VARIACIÓN DE PARAMETROS - FISICO-QUIMICO RESPECTO AL SUSTRATO	94
GRÁFICO 3: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS RESPECTO AL SUSTRATO	95
GRÁFICO 4: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL FOSFATO RESPECTO AL SUSTRATO	96
GRÁFICO 5: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE N- AMONICAL RESPECTO AL SUSTRATO	97
GRÁFICO 6: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITROGENO TOTAL RESPECTO AL SUSTRATO	99
GRÁFICO 7: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO RESPECTO AL SUSTRATO	100
GRÁFICO 8: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO RESPECTO AL SUSTRATO	101
GRÁFICO 9: VARIACIÓN DE ACEITES Y GRASA EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO ...	102
GRÁFICO 10: VARIACIÓN DE FOSFATO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO	103
GRÁFICO 11: VARIACIÓN DE NITROGENO TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO ...	105
GRÁFICO 12: VARIACIÓN DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO	106
GRÁFICO 13: VARIACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO	107

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.....	5
TABLA 2: OBJETIVO DE LOS PROCESOS DE PRE TRATAMIENTO	14
TABLA 3: CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO SECUNDARIO	16
TABLA 4: TIPOS DE SEDIMENTACIÓN QUE INTERVIENEN EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.....	17
TABLA 5: PROCESOS DE TRATAMIENTO AVANZADO Y EFICIENCIA REMOCIONAL.....	27
TABLA 6: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	34
TABLA 7: RENDIMIENTO DE DEPURACIÓN DE UN HUMEDAL SUBSUPERFICIAL.	42
TABLA 8: PRINCIPALES MECANISMOS DE REMOCIÓN PARA ALGUNOS CONSTITUYENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES	46
TABLA 9: ESTADOS DE OXIDACIÓN EN LOS QUE EL NITRÓGENO PUEDE ESTAR PRESENTE.....	51
TABLA 10: EFECTOS DE LAS VARIABLES OPERACIONALES Y AMBIENTALES EN EL PROCESO DE NITRIFICACIÓN.....	53
TABLA 11: ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE FÓSFORO (EBF).....	58
TABLA 12: DATOS OBTENIDOS A LA ENTRADA DEL HUMEDAL CON SUSTRATO DE ANTRACITA	92
TABLA 13: DATOS OBTENIDOS A LA ENTRADA DEL HUMEDAL CON SUSTRATO DE TEREFTALATO	93
TABLA 14: RESULTADOS DE ACEITES Y GRASAS EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.	108
TABLA 15: RESULTADOS DE FOSFATO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.	110
TABLA 16: RESULTADOS DE N- AMONICAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.	112
TABLA 17: RESULTADOS DE NITRÓGENO TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.	114
TABLA 18: RESULTADOS DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.	116
TABLA 19: RESULTADOS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.	118

RESUMEN

El proyecto de tesis “*Remoción de Fosforo y Nitrógeno de Aguas Residuales Domesticas mediante Humedales Artificiales de flujo vertical empleando Antracita y Tereftalato de Polietileno, en la localidad de Toma, Carhuaz – Ancash*” que se presenta a continuación, se realizó con el objetivo de estudiar el proceso de remoción de fósforo y nitrógeno en aguas residuales domesticas empleando Humedales Artificiales de Flujo vertical, utilizando la Antracita y Tereftalato de Polietileno como sustrato filtrante y macrofitas acuáticas de la zona, a escala de laboratorio con dos baterías de tres reactores cada uno, de aprox. 250 litros de volumen total cada uno, con tiempos de residencia hidráulica de 10 días, en promedio (0.05 l/h de flujo a cada uno). Una batería estará empacada con Antracita y arena la otra batería tendrá como medio de sustrato el Tereftalato de Polietileno y arena con macrofitas en las dos baterías y en los dos últimos reactores de cada batería tendrán los berros con la finalidad de eliminar por completo los patógenos. Este trabajo se realizará en el Centro poblado de Toma. Para poder llevar a cabo esta investigación se dividirá el estudio en dos fases principales. La primera referida a la asesoría y acondicionamiento del Humedal Artificial. La segunda fase, se realizará la evaluación y determinación de los parámetros operativos.

El estudio se fundamentó en la obtención de estos parámetros en cada una de las etapas del proceso a saber. Los parámetros a medir son los siguientes: fósforo y nitrógeno total, así como también la temperatura, pH, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos volátiles. Como fuente de alimentación se usará el agua residual proveniente de las viviendas en estudio.

Los resultados obtenidos nos indicarán que este tipo de sistemas podrían ser, o no, utilizados para mejorar la calidad del agua, y de esta forma contribuir a la descontaminación del recurso hídrico o inclusive para tratar aguas residuales de alta carga orgánica.

Palabras Clave: Remoción de nitrógeno, fósforo, Humedal.

ABSTRACT

The thesis project "Phosphorus and Nitrogen Removal of Domestic Residual Waters by Artificial Wetlands of vertical flow using Anthracite and Polyethylene Terephthalate, in the locality of Toma, Carhuaz - Ancash" that is presented below, was carried out with the objective of studying the process of removal of phosphorus and nitrogen in domestic wastewater using vertical flow Artificial Wetlands, using Anthracite and Polyethylene Terephthalate as filtering substrate and aquatic macrophytes of the area, on a laboratory scale with two batteries of three reactors each, approx. 250 liters of total volume each, with hydraulic residence times of 10 days, on average (0.05 l / h of flow to each). One battery will be packed with Anthracite and sand the other battery will have as substrate medium Polyethylene Terephthalate and sand with macrophytes in the two batteries and in the last two reactors of each battery will have the watercress in order to eliminate pathogens completely. This work will be carried out in the town center of Toma. In order to carry out this research, the study will be divided into two main phases. The first referred to the advice and conditioning of Artificial Wetland. The second phase, the evaluation and determination of the operational parameters will be carried out.

The study was based on obtaining these parameters in each of the stages of the process, namely. The parameters to be measured are the following: phosphorus and total nitrogen as well as temperature, pH, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, suspended volatile solids. As a source of power, wastewater from the homes under study will be used.

The results obtained will indicate us that this type of systems could be, or not, used to improve the water quality, and in this way contribute to the decontamination of the water resource or even to treat wastewater of high organic load.

Keywords: Nitrogen, phosphorus removal, Wetland.

CAPITULO I

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país; es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Su disponibilidad es paulatinamente menor debido a su contaminación por diversos medios, incluyendo a los mantos acuíferos, lo cual representa un desequilibrio ambiental, económico y social (Esponda 2001).

Se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. Las aguas residuales se definen como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Rodríguez-Monroy y Duran de Bazúa 2006).

En el Perú de las 143 plantas de tratamiento residual que existen, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente para el cabal funcionamiento de las mismas; de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento 2006- 2015.

En ese sentido se plantea en esta tesis la “REMOCION DE FOSFORO Y NITROGENO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS, MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL EMPLEANDO ANTRASITA Y TEREFTALATO DE POLIETILENO, EN LA LOCALIDAD DE TOMA, CARHUAZ – ANCASH”

El tratamiento de las aguas residuales por HA se basa en los principios de los sistemas naturales, ya que se acercan a lo que ocurre en la naturaleza, por lo que, a pesar de la intervención del hombre, se han catalogado como “sistemas naturales de tratamiento”. Por tal motivo, esta tecnología resulta altamente atractiva para ser aplicada en el tratamiento de aguas residuales por su versatilidad y rentabilidad económica.

Los humedales artificiales pueden ser clasificados en dos tipos, de flujo superficial y de flujo subsuperficial (horizontal y vertical) y dadas las condiciones topográficas del terreno donde serían construidos, el humedal de flujo subsuperficial vertical, por su efectividad, ya que en presencia de la macrófitas flotante, y medios filtrantes, resultan eficiente para la remoción de contaminantes a nivel experimental y con el apoyo de alguna institución pública o privada se espera que los humedales artificiales resulten efectivos para mitigar el impacto ambiental hídrico en la cuenca del río Santa y se conviertan en una alternativa viable no solo para este contexto sino también para las demás quebradas o cuencas del Perú.

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(Rodríguez y Durán, 2005) en artículo científica denominado remoción de fosforo y Nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco, concluye y recomienda, que Los resultados son satisfactorios ya que los valores de depuración del nitrógeno adicionado en forma de sulfato de amonio, como nitrógeno amoniacal, alcanzan eficiencias de remoción entre 88.7 y 93,3%, Los resultados de nitrógeno total fueron buenos ya que el

intervalo de eficiencias de remoción de este parámetro se situó entre 85.1 al 93.1%, lo que da como resultado que este sistema a escala de banco de HAFVD presente una buena eficiencia en el proceso de depuración del agua residual en función del nitrógeno total. En la depuración del agua residual sintética después de ser tratada para el caso de nitratos, que es una de las especies más estables, se consiguió una eficiencia de remoción entre un 83.2 al 96.5%, con lo cual se puede concluir que se tiene una alta eficiencia en la eliminación de nitratos; con excepción del HAFVD E_1 o testigo, que tuvo una acumulación de esta especie del orden de 1016%. Esto permite concluir que en los biorreactores con macrofitas se llevan a cabo los dos procesos de eliminación del nitrógeno: la asimilación y/o la nitrificación-desnitrificación del nitrógeno. Esto indica el importante rol de las plantas en estos sistemas de depuración. Es importante resaltar que, en esta fase de la investigación, estos reactores están siendo conceptualizados como "cajas negras". Por ello, en una etapa posterior de la investigación se recomienda evaluar los procesos anteriores y qué factores los benefician más, para conseguir un entendimiento adecuado del funcionamiento del sistema de humedales artificiales de flujo vertical descendente.

Los humedales artificiales evaluados, tanto el plantado como el sin plantar mejoraron notablemente la calidad del agua del afluente estudiado. Si bien la mayor parte de los parámetros no presentaron diferencias sustanciales en sus valores, se aprecia una marcada diferencia en la capacidad de remoción de nitrógeno amoniacal del humedal plantado y el no plantado, hecho que puede ser causado por la evapotranspiración realizada por las plantas en el humedal y a la necesidad de este compuesto en las mismas para sintetizar proteínas. La remoción de fósforo entre los dos humedales no presenta diferencias apreciables, hecho causado por el ciclo de vida de las plantas y la poca profundidad alcanzada por las raíces durante el período de tiempo de los ensayos, de manera que estas no pudieron estar en contacto con una mayor cantidad del líquido contenido en el humedal.

(Rodríguez y Ospina, 2005) en su trabajo de investigación constructed wetland of vertical flow to improve Bogota river wáter quality, concluye que se encontraron

capacidades de reducción aceptables de fósforo cuando el sistema operó sin vegetación debido principalmente a la composición química del sustrato y la influencia de esta en el proceso de adsorción, sin embargo la capacidad de eliminación de P no se mantendrá, lo cual sugiere buscar una alternativa diferente para reducir este parámetro.

(Arcos, Cantellano, Nabor, Morales y Casas, 1999) en su trabajo de investigación, remoción de la materia orgánica mediante la utilización de humedales artificiales en la comunidad de Sta. María Nativitas Texcoco Edo. De México, recomiendan y concluyen que La eficiencia del tratamiento del sistema está fuertemente relacionada con las características hidráulicas del sistema las terrazas cumplen una importante función en la remoción de contaminantes mediante los mecanismos físicos, en las cuales hay un a remoción de un 90%. El hidropериodo intermitente que se lleva a cabo en el humedal de flujo vertical es muy relevante ya que adiciona elementos oxidativos y permite que se dé una mejor remoción de materia orgánica. En general el sistema trata de manera adecuada el agua residual, pero es necesario hacer más modificaciones para que funcione más eficientemente. Por las características de este tipo de aguas se puede decir que pueden ser utilizadas para el riego.

1.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

(Llagas y Guadalupe, 2006) en el artículo científico diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM concluye que los modelos matemáticos analizados requieren ser comprobados con datos de campo ya que son sensibles a los cambios de temperatura en los lugares donde se van a llevar a cabo, y recomienda La aplicación de este modelo de humedal en otras zonas del país va a depender de la geografía del terreno, el cual dictará la forma general y configuración del humedal; la temperatura del lugar va de acuerdo con la estación, así en invierno la altura de los humedales generalmente tiene que ser incrementada para almacenar más calor en la columna de agua; la disponibilidad de las plantas para evitar la necesidad de aclimatación.

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Se origina principalmente en la vivienda y el comercio, son las aguas residuales de centros urbanos. Las variaciones existentes en la composición de las aguas residuales, están en función de las condiciones socioeconómicas de la población, el clima y otros factores típicos de cada localidad. Generalmente las aguas residuales presentan altas concentraciones de cloruros, sulfatos, nitrógeno, fósforo, sólidos y materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1995).

TABLA 1: CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

CONTAMINANTES	RAZÓN DE LA IMPORTANCIA
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar a al desarrollo de depósitos de fango y de condición anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar en entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de la DQO (Demanda Química de Oxígeno). Si se descargan el entorno sin tratar su estabilización biología puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.

Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los hallan presentes en el agua residual.
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua de suministros como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

1.2.2. COMPOSICION DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA

De la misma manera que en las aguas naturales, se miden principalmente en las aguas residuales las características físicas, químicas y biológicas, para establecer las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, determinar efectos del vertimiento a cuerpos de agua y seleccionar las operaciones y procesos del tratamiento que resultarán más eficaces y económicos.

Van Haandel y Lettinga (1994) sostienen que los constituyentes más importantes de los residuos líquidos confieren al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas indeseables. Según (Alaerts, 1995), la composición del agua residual está determinada por el caudal y por su fuente.

Las aguas residuales consisten básicamente en agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la fracción más pequeña (menos del 0.1% en peso), pero representan el mayor problema a nivel de tratamiento. El agua provee únicamente el volumen y el transporte de los sólidos (Sterling, 1987).

1.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES TÍPICAS DOMESTICAS

Los residuos líquidos domésticos provienen de las viviendas, oficinas y negocios. No incluyen aguas residuales industriales y arriba del 99.9 % del residuo es agua. Del pequeño porcentaje de los sólidos porcentaje de los sólidos, aproximadamente 40 a 70 % son tipo orgánicos. La concentración de sólidos suspendidos, particularmente los sólidos suspendidos sedimentables, determina el grado de tratamiento necesario y los requerimientos para manejar los sólidos de la planta; una buena aproximación de la cantidad de sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales es suponer 70 gramos por persona y por día. Los valores de PH indican si hay necesidad de un químico para neutralizar ya sea una excesiva alcalinidad o bien, acidez. A menos que se descarguen aguas residuales industriales o algo poco usual en los sistemas de drenaje municipales, no hay necesidad de hacer ajustes en el PH. El contenido de grasas y aceites determinan la necesidad de contar con desnatadoras y dispositivos para el manejo y disposición de grasas. (QUIROZ MANTARI MIGUEL ANTONIO, FERRO CHIARA LUIS ALBERTO, 2015)

1.2.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA RESIDUAL

Sólidos Totales:

Se define el contenido de sólidos totales a la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de 103 -105 °C. Estas se encuentran en suspensión, coloidales y disueltos. (Tchobanogbus, 2003)

Los sólidos sedimentables son una medida de sólidos asentados al fondo de un cono Imhoff, en un periodo de una hora y representan la cantidad de lodo removible en la sedimentación primaria; se expresan en ml/lt/hora. (Tchobanoglobus, 2003)

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere para su remoción oxidación biológica, o coagulación y sedimentación. Los sólidos suspendidos no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. (Tchobanoglobus, 2003)

Los sólidos volátiles representan la fracción orgánica de los sólidos, los cuales se volatilizan a temperaturas de 550 ± 50 °C. Los residuos de calcinación se conocen como sólidos fijos y constituyen la porción inorgánica o mineral de los sólidos. (Tchobanoglobus, 2003)

Los sólidos contenidos en aguas residuales se oxidan consumiendo el oxígeno disuelto en el agua, sedimentan al fondo de los cuerpos receptores donde modifican el hábitat natural y afectan la biota acuática. (Tchobanoglobus, 2003)

Olores

En relación al punto anterior, es necesario analizar el impacto del olor, referido a las aguas residuales. El agua residual reciente tiene un olor característico desagradable, mientras que el agua residual séptica posee un olor muy ofensivo debido a la generación de sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos en condiciones anaerobias. Otros compuestos como indol y mercaptanos formados bajo condiciones anaerobias también producen olores ofensivos. Los olores de las aguas residuales constituyen una de las principales objeciones ambientales, y su control en plantas de tratamiento es muy importante. Entre los problemas atribuibles a los olores ofensivos se señalan pérdida de apetito, menor consumo de agua, dificultades respiratorias, náuseas, vómitos, etc. (Sagastume)

Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser más cálida que el agua de abastecimiento, debido principalmente a la incorporación de aguas calientes provenientes de las casas e industrias.

La temperatura es un parámetro muy importante en las plantas de tratamiento de aguas residuales por su efecto sobre las operaciones y procesos de tratamiento ya que modifica la concentración del oxígeno disuelto y las velocidades de las reacciones químicas y de la actividad bacterial. Así también la temperatura del agua residual puede alterar la vida acuática de un cuerpo de agua receptor. (Rojas, 2002).

La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C. Cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperatura de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar. (Rojas, 2002).

La densidad, viscosidad y tensión superficial disminuyen al aumentar la temperatura, o al contrario cuando esta disminuye, estos cambios modifican la velocidad de sedimentación de partículas en suspensión y la transparencia de oxígeno en procesos biológicos de tratamiento. (Rojas, 2002).

Turbiedad

Es una medida óptica del material suspendido en el agua. Las aguas residuales crudas son en general turbias; en aguas residuales tratadas puede ser un factor importante de control de operación, ya que la turbidez refleja la calidad del efluente en relación al material residual en suspensión coloidal. (RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS, LUIS ANGEL VISURRAGA MARIÑO, 2012)

PH

El PH es un parámetro considerado como físico-químico, en las aguas residuales domésticas el rango de pH varía entre 6.5-8.0. En las plantas de tratamiento es un parámetro de operación importante, ya que su variación puede modificar la composición biológica de las aguas residuales (tratamiento biológico) y así también puede alterar el efecto de los compuestos químicos adicionados para el tratamiento (tratamiento químico). El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. Las aguas residuales con valores de pH fuera de este rango (aguas residuales industriales) son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos. (RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS, LUIS ANGEL VISURRAGA MARIÑO, 2012)

1.2.5. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los constituyentes químicos de las aguas residuales son con frecuencia clasificados como en inorgánicos y orgánicos.

• Compuestos Inorgánicos

Los compuestos inorgánicos agregados a las aguas durante su uso son:

Sales, generalmente se encuentran en solución y contribuyen a aumentar la salinidad del agua. El aumento de sales disueltas durante cada uso del agua puede alcanzar los 300-350 mg/lit0. Nutrientes, el nitrógeno agregado en las proteínas principalmente y el fósforo en compuestos orgánicos y los detergentes son nutrientes que promueven el crecimiento de organismos productores autótrofos en aguas receptoras de desechos. Las aguas residuales domésticas e industriales son ricas en nutrientes. El nitrógeno y el fósforo, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. Debido que el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, se necesita conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos. (M. ESPIGARES GARCÍA y J. A. PÉREZ LÓPEZ , 1978)

Trazas de elementos, minerales como el hierro, calcio, potasio, cobre, sodio, magnesio, etc. son esenciales a la actividad microbiana. En ocasiones especialmente en desechos industriales, hay deficiencia de uno o más de estos elementos y la actividad microbiológica es inhibida. En el tratamiento de desechos de industrias es importante conocer cual o cuales micro-elementos son deficientes. (M. ESPIGARES GARCÍA y J. A. PÉREZ LÓPEZ , 1978)

Tóxicos, afectan a los microorganismos y a los procesos de tratamiento y provienen de productos farmacéuticos, químicos y biosidas. Algunos tóxicos comunes como plomo, cromo, zinc, mercurio, cianuro, ácidos, derivados del petróleo y biosidas. Alcalinidad es una medida de su capacidad de neutralizar ácidos. Las aguas residuales domésticas son generalmente alcalinas, concentraciones de 50-200 mg/l-CaCO₃ son comunes. En las aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o de ion amonio. Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH la hace importante en el tratamiento de aguas residuales. (M. ESPIGARES GARCÍA y J. A. PÉREZ LÓPEZ , 1978)

- **Gases**

En aguas residuales los gases son producto de la descomposición biológica de la materia orgánica, los gases en aguas residuales son:

Oxígeno Disuelto, se disuelve desde la atmósfera y de la actividad fotosintética de algas. Existe muy poco oxígeno disuelto en el desagüe fresco y ninguno en aguas residuales sépticas.

Dióxido de Carbono (CO₂), la concentración es función del pH y el equilibrio químico del agua, también se encuentran monóxido de carbono (CO). El CO₂ en aguas es producido durante la respiración de microorganismos en aguas residuales y como producto de la descomposición biológica. (Sagastume)

Metano (CH₄), de la descomposición anaerobia de materia orgánica. Se encuentra en condiciones anaerobias donde hay descomposición en condiciones anóxicas. (Sagastume)

Amoniaco (NH₃, NH₄), las distribuciones dependen del pH de las aguas. Valores altos del pH favorecen la presencia del gas NH₃, especialmente por encima del 9. Es resultado de la descomposición biológica de compuestos nitrogenados. (Sagastume)

Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), alteran el pH de las aguas y producen corrosión de los alcantarillados. El H₂S se produce en condiciones anaeróbicas cuando predomina la formación de ácidos y no hay producción de metano. (Sagastume)

• **Compuestos Orgánicos**

Los constituyentes orgánicos comprenden un número de compuestos que no pueden ser distinguidos en forma separada.

La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON), principalmente; con las proteínas (40-60%), los carbohidratos (25-50%) y las grasas y aceites (10%) como grupos más importantes.

La demanda bioquímica de oxígeno, (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación. Normalmente se mide transcurridos 5 días (DBO₅) y se expresa en mg O₂/litro. (TO-ECOAG).

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. No es aplicable para las aguas potables debido al valor tan bajo que se obtendría, utilizándose en este caso el método de oxidabilidad con permanganato potásico. El método mide la concentración de los contaminantes orgánicos. (TO-ECOAG)

Sin embargo, puede haber interferencias debido a que haya sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas también por las bacterias en disolución. Para evitar este hecho se añade N-aliltiourea como inhibidor. (TO-ECOAG).

1.2.6. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL

En general las características biológicas de aguas residuales se miden en pruebas para organismos indicadores como el NMP y conteo total de bacterias.

El grupo coliforme incluye todas las bacterias aerobias y facultativas anaerobias, Gram negativas, que no forman esporas, en forma de cilindro que fermentan la lactosa con formación de gas dentro de 48 y 35°C. La definición anterior incluye Escherichia coli y otras Escherichias, Enterobacter Aerógenes y otros. (RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS, LUIS ANGEL VISURRAGA MARIÑO, 2012)

1.2.7. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Las aguas contaminadas provenientes de diferentes fuentes, como pueden ser de complejos habitacionales o industrias, están compuestas de partículas muy variadas, tanto en tamaño como en composición, refiriéndose solo al agua residual doméstica, esta trae consigo desperdicios alimenticios, grasas, desechos del inodoro, jabones utilizados en baños para lavar ropa, y un sin número de materia Orgánica e Inorgánica que es desalojada, por ello es necesario hacer una división de los procesos de limpieza, simplificándolos y estableciendo los objetivos que persiguen con cada sistema utilizado, para poder medir su eficacia.

Los tratamientos para las aguas residuales, pueden reconocerse en base a su ubicación en el proceso de limpieza, como primarios, secundarios y avanzados. Los últimos tienen fines específicos, que, para la tesis presentada, es innecesarios estudiarla a profundidad, pero en su lugar es muy conveniente analizar algunos sistemas alternativos que pueden formar parte crucial en el diseño del proyecto final. (QUIROZ MANTARI MIGUEL ANTONIO, FERRO CHIARA LUIS ALBERTO, 2015).

1.2.8. TRATAMIENTO PRELIMINAR

Los sistemas primarios son los más sencillos en la limpieza del agua residual, y "tiene la función de preparar el agua, limpiándola de todas aquellas partículas cuyas dimensiones pueden obstruir o dificultar los procesos consecuentes" (Radie B. Edward y Hardenberg, 1987)

- Malla o Cámara de rejas
- Eliminación de aceites y grasas
- Sedimentación

TABLA 2: OBJETIVO DE LOS PROCESOS DE PRE TRATAMIENTO

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de solidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de solidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Des engrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Pre aeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

Fuente: (CEPIS/OPS-OMS., 2002.)

- **Rejas**

Son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas, cuya finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente largas que estén en suspensión o flotantes. Las rejas, por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento. Este proceso nos permite proteger contra obstrucciones las válvulas, bombas, equipos de aireación, tuberías y otras partes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). (LARA, 2010)

El tipo de reja es definido por el espaciamiento libre existente entre las barras, que dependen de la finalidad que se pretenda lograr:

- Rejas Gruesas: 40 hasta 100 mm o más
- Rejas Medias: 20 hasta 40 mm
- Rejas Finas: 10 hasta 20 mm
- Rejas Rotativas Finas: 0.25 a 2.5 mm

Las rejas finas por los problemas de operación que presentan suelen ser mecanizadas.

- **Tanques de Compensación**

Estos tanques sirven para disminuir los efectos de la gran variación del caudal o de concentración de las aguas residuales. Son poco empleadas en PTAR domésticas, a no ser en dos casos, a) Cuando hay contribuciones industriales intermitentes, con gran variación de caudal, b) Para aumentar la capacidad de una planta existente, con unidades dimensionadas por el caudal máximo. (RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS, LUIS ANGEL VISURRAGA MARIÑO, 2012)

- **Desarenadores**

Los desarenadores son unidades destinadas a retener la arena y otros detritos minerales inertes y pesados que se encuentran en las aguas residuales. Estos materiales son originados de operaciones de lavado, infiltraciones, desechos industriales, etc. (CACERES, 1994).

Los desarenadores pueden ser diseñados como canales con velocidad controlada o como tanques de sección cuadrada o circular y de área adecuada y de la sedimentación de las partículas a remover. Pueden ser equipados con mecanismos especiales, sin embargo, esto es utilizado en plantas de tratamiento de grandes caudales. Generalmente se prevé la construcción de dos desarenadores en paralelo, de modo que el retiro de una unidad de operación, para limpieza o reparación, no impida el trabajo de la otra, aunque sobrecargada. (CACERES, 1994).

1.2.9. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Dentro de las etapas que forman el proceso de limpieza de las aguas residuales, "el tratamiento secundario tiene el objetivo de limpiar el agua de aquellas impurezas cuyo

tamaño es mucho menor a las que se pueden captar por la decantación y las rejillas, para ello. los sistemas se basan en métodos mecánicos y biológicos combinados". Estos sistemas al manejar aspectos biológicos son afectados por factores externos, como son los climáticos, por lo que se tienen que estudiar sus características y adaptación al sitio del proyecto, para poder hacer una elección adecuada. (Radie B. Edward y Hardenberg, 1987). se presenta la lista de los principales objetivos del tratamiento secundario o tratamiento biológico.

- Remover la materia orgánica, representada por la DBO₅, del 75 al 98% de remoción.
- Remover los sólidos suspendidos totales (SST) con remociones del 75 al 98%.
- Remover microorganismos patógenos y parásitos (>99%).
- Remover o reducir el contenido de nutrientes.
- Alcanzar la estabilización (digestión) de los sólidos volátiles de las aguas residuales.
- Aprovechamiento de los subproductos como biogás.

TABLA 3: CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO SECUNDARIO

Filtración biológica	Lodos activados	Lagunas	Otros
<ul style="list-style-type: none"> - Baja capacidad (filtros clásicos) - Alta capacidad: <i>Filtros comunes Biofiltros Aero-filtros Accelo-filtros</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Convencional - Alta capacidad - Contacto estabilización - Aeración prolongada 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilización: <i>Aerobia Facultativa Maduración</i> - Aerada: <i>Mezcla completa Aerada facultativa con aeración mecánica Difusión de aire</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Anaeróbicos: <i>Contacto Filtro anaerobio Reactor anaeróbico de flujo ascendente</i> - Oxígeno puro: <i>Unox / linde</i> - Discos rotatorios

Fuente: (MVCS, 2008)

- **Sedimentación**

El primer tratamiento importante que sufren las aguas residuales después de las precedentes fases preliminares es, generalmente, la sedimentación de los sólidos

suspendidos en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso de 0.5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 a 65% de los sólidos finamente divididos, se pose en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de colectores mecánicos, en forma de lodos.

La sedimentación primaria es una operación unitaria diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual.

Su diseño y operación fueron determinantes en la reducción de las cargas de desechos que se disponían en los cuerpos receptores.

En la actualidad, los requerimientos de tratamiento a nivel secundario han otorgado a la sedimentación primaria un rol menor. No obstante, muchos de los procesos unitarios de tratamiento secundario son capaces de manejar los sólidos orgánicos solo si se ha llevado a cabo una buena remoción de arena y escoria durante el tratamiento.

La mayor parte de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales son de naturaleza pegajosa y flocculan en forma natural. Las operaciones de sedimentación primaria son esencialmente del tipo 2 sin la adición de coagulantes químicos ni operaciones de mezclado mecánico y floculación (Tabla 2).

TABLA 4: TIPOS DE SEDIMENTACIÓN QUE INTERVIENEN EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Tipo de fenómeno de sedimentación	Descripción	Aplicación / Situaciones en que se presenta
De partículas discretas (Tipo 1)	Se refiere a la sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidad individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas.	Eliminación de las arenas del agua residual

<p>Floculenta (Tipo 2)</p>	<p>se refiere a una suspensión bastante diluidas de partículas que se agregan, o floculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad.</p>	<p>Eliminación de una fracción de los sólidos e suspensión del agua residual bruta en el tanque de sedimentación primaria, y en la zona superior de los decantadores secundarios. También elimina los flóculos químicos de los tanques de sedimentación</p>
<p>Retardada, también llamada zonal (Tipo 3)</p>	<p>Se refiere a suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, y la masa de partículas sedimenta como una unidad. se desarrolla una interfase sólido - líquido en la parte superior de la masa que sedimenta.</p>	<p>Se presenta en los tanques de sedimentación secundaria empleados en las instalaciones de tratamiento biológico</p>
<p>Compresión (Tipo 4)</p>	<p>Se refiere a la sedimentación en la que las partículas están concentradas de tal manera que se forma una estructura, y la sedimentación solo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de esta estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante.</p>	<p>Generalmente, se produce en las capas inferiores de una masa de fango de gran espesor, tal como ocurre en el fondo de los decantadores secundarios profundos y en las instalaciones de espesamientos de fango.</p>

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

La sedimentación primaria puede llevarse a cabo en tanques rectangulares alargados o en tanques circulares.

En los tanques rectangulares, la espuma se retira utilizando unas rastras de lodo que, de manera alternada, después de recorrer el tanque por el fondo, regresan a su punto de partida recorriendo la superficie del agua, lo que se aprovecha, como se dijo para remover la espuma. La materia flotante se desplaza de esta manera hasta un sitio donde se colecta, ubicado a cierta distancia hacia atrás del vertedor del efluente, y allí es retirado al pasar sobre un vertedor de espuma o por medio de una rastra transversal.

Por su parte, los tanques circulares cuentan con un brazo desnatador que está unido a la rastra de lodos. A diferencia de los tanques rectangulares, cuyo flujo es horizontal, en los tanques circulares es de tipo radial. El agua a tratar se introduce por el centro o por la periferia del tanque. El sistema de alimentación central es el más usado; no obstante, ambas configuraciones producen buenos resultados.

- **Flotación**

La flotación es un proceso de separación líquido-sólido utilizando para la remoción de partículas o sólidos suspendidos en aguas residuales. Se usa principalmente para la separación de grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos de densidad baja. Como la mayoría de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales tiene un peso específico cercano a 1.0, la adhesión de las burbujas de aire a los sólidos, o su entrapamiento al interior del floc, hacen que las partículas floten fácilmente.

Se logra que los sólidos en suspensión floten a la superficie del tanque cuando se aplican presiones en el rango de 2.8- 4.2 Kg. /cm², bien sea a las aguas residuales directamente o al efluente recirculante del tanque de flotación. Dichas presiones deben aplicarse en presencia de exceso de aire. El aire se disuelve en el agua a dichas presiones y luego se desprende de la solución de aguas residuales cuando se descarga la mezcla a presión en el fondo del tanque de flotación. El desprendimiento del aire ocurre en la forma de finas burbujas las cuales se adhieren o quedan inmersas en los sólidos suspendidos. La mezcla partículas- aire asciende entonces a la superficie del tanque de donde se remueven los sólidos mediante un mecanismo recolector de lodos. Los principales componentes de un proceso de flotación son el compresor de aire, un tanque de retención donde almacenan las aguas residuales presurizadas, una válvula reductora de presión y el tanque de presión propiamente dicho. El proceso puede realizarse bien inyectando el aire directamente a las aguas residuales crudas, o bien al efluente recirculado del tanque de flotación, el cual se mezcla con las aguas residuales crudas. (RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS, 2012)

• Precipitación Química

Es un tipo de tratamiento primario que agrupa tres procesos, como son la coagulación, floculación y sedimentación.

La coagulación, en esta etapa las fuerzas entre las partículas de los contaminantes se reducen o eliminan mediante la adición de productos químicos, lo que permite la interacción de partículas mediante el movimiento molecular y la agitación física. La mezcla rápida permite la dispersión en el agua residual del producto químico utilizado en el tratamiento y promueve el choque de partículas, lo que hacen que las partículas se agrupen para formar otras de mayor tamaño, es decir la coagulación. Los productos químicos añadidos para promover dicha segregación se denominan coagulantes y tiene dos propósitos básicos, el primero de estabilizar las partículas, lo que permite la integración y lo segundo es promover la agrupación de partículas reforzando así la floculación.

La floculación, se produce después de un periodo de mezcla rápida ya que necesario disminuir la velocidad de la mezcla para que se formen flóculos más grandes. (Si la velocidad de la mezcla es alta los flóculos continúan siendo destruidos por excesivo contacto físico).

La sedimentación, debido al tamaño de las partículas sigue siendo necesaria algo de mezcla para que exista contacto entre las masas de sólidos y promover así la formación de flóculos que sedimentan rápidamente. Durante la precipitación, los sólidos se separan del líquido normalmente por sedimentación, Durante la precipitación, los sólidos se separan del líquido normalmente por sedimentación, lo que debe resultar en dos capas claramente visibles: una sólida y otra líquida, que pueden ser separadas fácilmente.

La precipitación química se realiza la mayor parte de las veces utilizando hidróxido de sodio, compuestos de sulfato (alumbre o sulfato férrico) o sulfuros (sulfuro de sodio o sulfuro de hierro). La adición de estos compuestos a aguas residuales portadores de

metales forma hidróxido de metal o sulfuros de metal respectivamente, y la solubilidad en el agua de estos es limitada.

Esta técnica se utiliza para remover la mayoría de los metales de las aguas residuales, y algunas especies aniónicas como sulfato y fluoruro. Los compuestos orgánicos en las aguas residuales pueden formar complejos de metal y reducir la eficacia de este tipo de tratamiento, en cuyo caso probablemente se necesite realizar estudios a nivel laboratorio o de proyecto piloto para determinar los métodos de tratamiento apropiados para romper el complejo y hacer que se precipite el metal. Frecuentemente este problema puede resolverse utilizando mejores técnicas de separación de residuos. (RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS, 2012)

- **U.A.S.B.**

El reactor Anaerobio de manto de lodos de Flujo Ascendente (RAFA), mejor conocido por sus siglas en inglés UASB, desarrollado por Lettinga y colaboradores en la década de los setenta, ha tenido gran auge en los últimos años, aplicado tanto para altas cargas orgánicas, correspondientes a líquidos residuales industriales, como para bajas cargas orgánicas, entre las que se encuentran las aguas residuales domésticas.

Algunas de las características, además de las tradicionales de los sistemas anaerobios, son su bajo costo, simplicidad de construcción y operación, facilidad para manejar distintos tipos de afluente, formación de un lodo granular con muy baja tasa de producción y buenas características de sedimentación, entre otras (Hulshoff y Lettinga, 1986).

Con base en las experiencias llevadas a cabo bajo diferentes condiciones, tanto ambientales como de alimentación, los parámetros fundamentales a considerar en el diseño de reactores UASB son: carga orgánica aplicada y velocidad de ascenso de líquido. Estos parámetros varían en importancia dependiendo del tipo de afluente a tratar; para aguas residuales concentradas el factor determinante es la carga orgánica aplicada, mientras para aguas residuales diluidas, la velocidad de ascenso del líquido y

la altura de agua en el digester son las variables a considerar (Alberto Araujo, D'Souza, 1986).

- **Tanque Imhoff**

Los tanques Imhoff son unidades compactas de tratamiento de aguas residuales en las cuales se combinan los procesos de sedimentación y de digestión anaeróbica de los sólidos suspendidos removidos.

Su desarrollo se produjo en la búsqueda del mejoramiento en las condiciones de funcionamiento de los tanques sépticos en los cuales la eficiencia del proceso se ve seriamente afectada porque en una misma cámara se realizan los procesos de sedimentación y digestión.

La finalidad y uso de los tanques Imhoff son las mismas que las de un proceso de tratamiento primario, pues los niveles de remoción de sólidos suspendidos y de DBO son bajos comparados con los niveles logrados en los sistemas más completos de tratamiento biológico. (OPS/CEPIS/05.163, 2005)

- **Lodos activados**

El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor. (Charpentier, 2014)

La reducción de la DBO y sólidos en suspensión en el proceso convencional del lodo activado que incluye pre decantación y sedimentación final, puede variar desde 80 a 95% y la reducción de las bacterias coliformes de 90 a 95%. Además, el costo de construcción de una planta de lodo activado puede ser competitivo con otros tipos de plantas de tratamiento que producen resultados comparables. Sin embargo, los costos

unitarios de operación son relativamente altos. El método de lodo activado es un tratamiento biológico secundario que emplea la oxidación para descomponer y estabilizar la materia putrescible que queda después de los tratamientos primarios. (Charpentier, 2014)

- **Tanque Séptico**

Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de una vivienda o conjunto de viviendas que combina la separación y digestión de lodos.

Ventajas

- Apropiado para comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospitales, etc.
- Su limpieza no es frecuente.
- Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con
- infraestructura de remoción de lodos. (OPS/CEPIS/05.163, 2005)

Desventajas

- De uso limitado para un máximo de 350 habitantes.
- También de uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita
- disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.
- Requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de
- vacío, etc.). (OPS/CEPIS/05.163, 2005)

Los principios que han de orientar el diseño de un tanque séptico son los siguientes:

- Prever un tiempo de retención de las aguas servidas, en el tanque séptico, suficiente para la separación de los sólidos y la estabilización de los líquidos.

- Prever condiciones de estabilidad hidráulica para una eficiente sedimentación y flotación de sólidos.
- Asegurar que el tanque sea lo bastante grande para la acumulación de los lodos y espuma.
- Prevenir las obstrucciones y asegurar la adecuada ventilación de los gases. (OPS/CEPIS/05.163, 2005)

• **Filtros Biológicos**

El proceso de filtración biológica puede definirse como un sistema de lechos compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales de manera continua.

Hay variedades de Biofiltros uno de ellos es el biofiltros aireado sumergido, el cual es un Biofiltro que se encuentra sumergido en un tanque por el que fluye agua residual, por lo que todo el medio filtrante se encuentra totalmente dentro del agua, inyectándose aire al tanque para que se desarrolle el proceso aerobio. El aire que se suministra por el fondo del tanque, asciende entre las separaciones del lecho y entra con contacto con los microorganismos que forman la película biológica. (estrucplan, 20181)

El aire proporciona el oxígeno requerido para la respiración endógena de los microorganismos y para la oxidación de la materia orgánica que toman como alimento. Originalmente los filtros eran diseñados basados en cargas hidráulicas y orgánicas que produjeran una remoción el 80 – 90% de la DBO del afluente. En la actualidad los sistemas de filtros percoladores pueden clasificarse como filtros convencionales o de tasa baja, filtros de tasa intermedia, filtros de tasa alta y filtros de tasa súper alta. (estrucplan, 20181)

• **Lagunas de Estabilización**

La tecnología de lagunas de estabilización es uno de los métodos naturales más importantes para el tratamiento de aguas residuales. Las lagunas de estabilización son

fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden uno o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña principalmente para la remoción de materia orgánica suspendida (SST) y parte de la fracción soluble de materia orgánica (DBO). La etapa secundaria en la laguna facultativa remueve la mayoría de la fracción remanente de la DBO soluble por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas. (Middlebrooks y col., , 1982)

El principal objetivo de la etapa terciaria en lagunas de maduración es la remoción de patógenos y nutrientes (principalmente Nitrógeno).

Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología de tratamiento de aguas residuales más costo-efectiva para la remoción de microorganismos patógenos, por medio de mecanismos de desinfección natural. Las lagunas de estabilización son particularmente adecuadas para países tropicales y subtropicales dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación.

Lagunas Anaerobias, se emplean generalmente como primera unidad de un sistema cuando la disponibilidad de terreno es limitada o para el tratamiento de aguas residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales, en cuyo caso pueden darse varias unidades anaerobias en serie. No es recomendable el uso lagunas anaerobias para temperaturas menores de 15°C y presencia de alto contenido de sulfatos en las aguas residuales (mayor a 250 mg/l.)

Debido a las altas cargas de diseño y a la reducida eficiencia, es necesario el tratamiento adicional para alcanzar el grado de tratamiento requerido. En el caso de emplear lagunas facultativas secundarias su carga orgánica superficial no debe estar encima de los valores límite para lagunas facultativas. Por lo general el área de las unidades en serie del sistema no debe ser uniforme. (Middlebrooks y col., , 1982)

Lagunas Facultativas, es un estanque cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias en presencia de oxígeno y en los estratos inferiores

se produce una biodegradación anaerobia. Su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas debe ser:

- Como laguna única (caso de climas fríos en los cuales la carga de diseño es tan baja que permite una adecuada remoción de bacterias) o seguida de una laguna secundaria y terciaria (normalmente referida como laguna de maduración), y
- Como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o aireadas para procesar sus efluentes a un grado mayor. (Violeta E. Escalante Estrada y Hugo César Noriega García, 1996)

Lagunas Aireadas, se emplean generalmente como primera unidad de un sistema de tratamiento en donde la disponibilidad del terreno es limitada o para el tratamiento de desechos domésticos con altas concentraciones o desechos industriales cuyas aguas residuales sean predominante orgánicas. El uso de las lagunas aireadas en serie no es recomendable.

Discos Rotatorios

Son unidades que tienen un medio de contacto colocados en módulos discos o módulos cilíndricos que rotan alrededor de su eje. Los módulos discos o cilíndricos generalmente están sumergidos hasta 40% de sus diámetros, de modo que al rotar permiten que la biopelícula se ponga en contacto alternadamente con el afluente primario y con el aire. Las condiciones de aplicación de este proceso son similares a las de los filtros biológicos en los que se refiere a eficiencia. (Norouzian, M.Y., Deloya, M.A. , 1985)

Necesariamente al tratamiento previo a los sistemas biológicos de contacto será: cribas, desarenadores y sedimentador primario.

Los módulos rotatorios pueden tener los siguientes medios de contacto:

- Discos de madera, material plástico o metal ubicados en forma paralela de modo que provean una alta superficie de contacto para el desarrollo de la biopelícula.
- Mallas cilíndricas rellenas de material liviano.

El efluente de estos sistemas debe tratarse en un sedimentador secundario para tratarse en un sedimentador secundario para separar la biomasa proveniente del reactor biológico. Los criterios de diseño de esta unidad son similares a los de sedimentador secundario de filtros biológicos. (Norouzian, M.Y., Deloya, M.A. , 1985)

1.2.10. TRATAMIENTO TERCIARIO

El principal objetivo del tratamiento terciario es llegar a cumplir el estándar de calidad de agua efluente de la planta de tratamiento para no generar contaminación al receptor o ser adecuada para su reutilización, según sea el caso. Muchas veces suele pasar el agua residual del tratamiento secundario con algunos microorganismos patógenos, o agua tratada con mal olor, mal color y con diferentes características con las que no sería adecuado reutilizarse, es por ello que se debe tener un tratamiento final para dar seguridad a las comunidades.

De acuerdo al tipo de reutilización, se debe cumplir con la eliminación de ciertos microorganismos, es así que los tratamientos pueden pasar de los más a menos estrictos. Se pueden utilizar los métodos de cloración, filtros con material apropiado, humedal artificial de flujo sub-superficial, radiación UY, etc. (Metcalf & Eddy, 1995).

TABLA 5: PROCESOS DE TRATAMIENTO AVANZADO Y EFICIENCIA REMOCIONAL

PROCESO	EFICIENCIA REMOCIONAL							
	SS	DBO	DQO	NH ₃	Norg	NO ₃	PO ₄	STD
Arrastre de amoniaco				85-98				
Filtración								
Múltiple	80-90	50-70	40-60		20-40			
Diatomea	95-99							
Micro filtro	50-80	40-70	30-60		20-40			
Destilación	99	98-99	95-98		90-98	99	99	95-99
Flotación	60-80				20-30			
Congelación	95-98	95-99	90-99		90-99	99	99	95-99
Aplicación en suelo	95-98	90-98	80-90	60-80	80-95	5-15	60-90	

Osmosis inversa	95-98	95-99	90-95	95-99	95-99	95-99	95-99	95-99
Porción		50	40				99	10
Carbón activado	80-90	70-90	60-75		50-90			
Precipitación química	60-80	75-90	60-70	5-15	60-50		90-95	20
Precip. Química en lodo activado	80-95	90-95	85-90	30-40	30-40	30-40	30-40	10
Intercambio iónico		40-60	30-50	85-98	80-95	80-90	85-98	
Electroquímico	80-90	50-60	40-50	80-85	80-85		80-85	
Electrodialisis				30-50		30-50	30-50	40
Oxidación química		80-90	65-70	50-80				
Reducción						NO ₃ -NH ₃		
Asimilación	80-5	75-95	60-80	30-40	30-40	30-40	Oct-20	
Des nitrificación						60-95		
Lagunas		50-75	40-60	50-90	50-90	50-90	50	
Nitrificación - desnitrificación						60-95		

Fuente: (CEPIS/OPS-OMS., 2002.)

- **Sistema de Cloración**

Existen varias formas de cloración del depósito que pueden pasar por un sistema automático de medición y control de la dosificación de cloro libre en el depósito mediante sonda de cloro libre o de Redox o dosificación de cloro proporcional al caudal de agua depurada mediante la instalación de un contador- emisor de impulsos. La cloración del agua residual es el sistema más sencillo y económico para un tratamiento terciario de reutilización de agua para riego de jardines y plantas. Como desventaja cabe destacar el hecho de que requiere el empleo y manipulación de un producto químico como el hipoclorito de sodio. Además, ciertas plantas ornamentales, hortalizas o cultivos frutícolas pueden ser susceptibles a ser dañadas. También cabe destacar que este sistema supone siempre el empleo de un depósito exclusivo para realizar la

cloración ya que siempre es necesario un tiempo de contacto adecuado del agua clorada para asegurar la desinfección.

El cloro es un oxidante poderoso, es el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente. (OPS-COSUDE/01-07, 2007).

Ventajas:

- a) Destruye los organismos patógenos del agua en condiciones ambientales y en un tiempo corto.
- b) Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo.
- c) La determinación de su concentración en el agua es sencilla y de bajo costo.
- d) En las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas, no constituye riesgo para el hombre ni para los animales.
- e) Deja un efecto residual que protege el agua de una posterior contaminación

Desventajas:

- a) Es muy corrosivo.
- b) Puede producir sabor desagradable en el agua, incluso en concentraciones que no significan riesgo para el consumidor.
- c) Su manejo y almacenamiento requiere ciertas normas de seguridad, para evitar riesgos en la salud de los operadores. El cloro, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas verde, dos y media veces más pesado que el aire.

Algunas de sus sales también tienen poder desinfectante. Las más usadas son el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio, cuya eficiencia bactericida es idéntica a la del cloro y que producen reacciones similares en el agua. Se emplean en plantas pequeñas, piscinas y pozos, pues los hipocloradores son más sencillos y económicos. (OPS-COSUDE/01-07, 2007)

- **Radiación Ultravioleta**

En este caso la desinfección se realiza mediante un equipo UV que proporciona una desinfección inmediata y más efectiva que la cloración. Otra ventaja añadida es que no

requiere de depósitos de contacto ya que la desinfección se realiza de forma instantánea mediante el paso de agua por el equipo de tratamiento ultravioleta lo que favorece este tipo de tratamiento terciario cuando no se disponga de espacio suficiente para un tratamiento con cloro o con ozono. Para asegurar el buen funcionamiento del equipo ultravioleta es necesario un correcto sistema de filtración para eliminar turbidez y asegurar una transmitancia adecuada de la radiación ultravioleta en el flujo de agua a tratar. (Ma. Teresa Orta V, Jacinto Morales R, Ignacio Monje R., 2010)

Ventajas:

- a) Actúa sobre una amplia gama de microorganismos, ya que los rayos Ultravioleta inactivan los ácidos nucleicos (ADN y ARN). Pueden eliminar bacterias comunes, esporulados y virus.
- b) No reacciona con los constituyentes del agua y, por tanto, no forma derivados ni cambia las condiciones organolépticas del agua.
- c) El proceso es sencillo y de bajo costo.
- d) El proceso no necesita tanques de mezcla o de contacto.

Desventajas:

- a) La penetración de los rayos en el agua está limitada por el color y la turbiedad, por lo que el agua debe ser completamente clara.
- b) Con el transcurso del tiempo, las lámparas pueden ensuciarse, lo que reducirá la capacidad de penetración de los rayos.
- c) La vida útil de las lámparas es muy limitada. (Ma. Teresa Orta V, Jacinto Morales R, Ignacio Monje R., 2010).

• Ozonización

El ozono es un poderoso oxidante y desinfectante con una velocidad de esterilización superior a la de un tratamiento convencional de cloro aumentado su eficacia. Estos permiten tratamientos con ozono con tanques de contacto muy reducido ya que únicamente son necesarios unos tres minutos de tiempo de contacto para asegurar la desinfección. Además, para el tratamiento de agua residual para su reutilización en

riego y agricultura, el ozono aporta una mayor oxigenación a la raíz de la planta a la vez que le transmite su carácter desinfectante. Los resultados son cultivos con un crecimiento más rápido con mayor productividad y evitando plagas y enfermedades. (832-F-99-063, 1999)

Ventajas del Ozono:

Se considera que el ozono es el desinfectante de mayor eficiencia microbiciada y requiere tiempos de contacto bastante cortos. Se ha demostrado que cuando el ozono es transferido al agua mediante un mezclador en línea sin movimiento, las bacterias son destruidas en dos segundos. Por ello, el tiempo de contacto en la ozonización no tiene mayor importancia.

La velocidad con que el ozono mata a las bacterias es bastante mayor que la del cloro, debido a que, si bien ambos son oxidantes, el mecanismo de acción es diferente. El ozono mata a la bacteria por medio de la ruptura de la membrana celular. Este proceso, conocido como destrucción de células por lisis, produce la dispersión del citoplasma celular en el agua. En cambio, el cloro debe introducirse a través de la pared celular de la bacteria y difundirse dentro del citoplasma, acción que depende en alto grado del tiempo de contacto

Otra ventaja frente al cloro es que no imparte al agua color, olor ni sabor.

Desventaja del Ozono:

La desventaja más importante del ozono como desinfectante del agua radica en que no tiene poder residual, además de la limitada información sobre la toxicidad de sus productos derivados como los aldehídos, los ácidos carboxílicos, los bromatos, los bromometanos, las cetonas, etc.. (832-F-99-063, 1999).

1.2.11. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERU

A. DIAGNOSTICO SITUACIONAL DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES EN EL PERU.

La SUNASS, en ejercicio de su función supervisora y fiscalizadora de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), cuenta con un inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales al 2007, su estado de operación y mantenimiento y la calidad del servicio que prestan. Esa información ha sido recopilada en las inspecciones de campo que los ingenieros especialistas en supervisión y fiscalización de la SUNASS han llevado a cabo en las empresas reguladas e información complementaria remitida por las EPS en el año 2007.

Sobre esa base se ha identificado que en las EPS los principales problemas en la gestión de las aguas residuales son:

- a) El déficit de cobertura de tratamiento
- b) la ineficiencia operativa de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Las causas directas e indirectas de este problema, así como las consecuencias que acarrea, se listan a continuación:

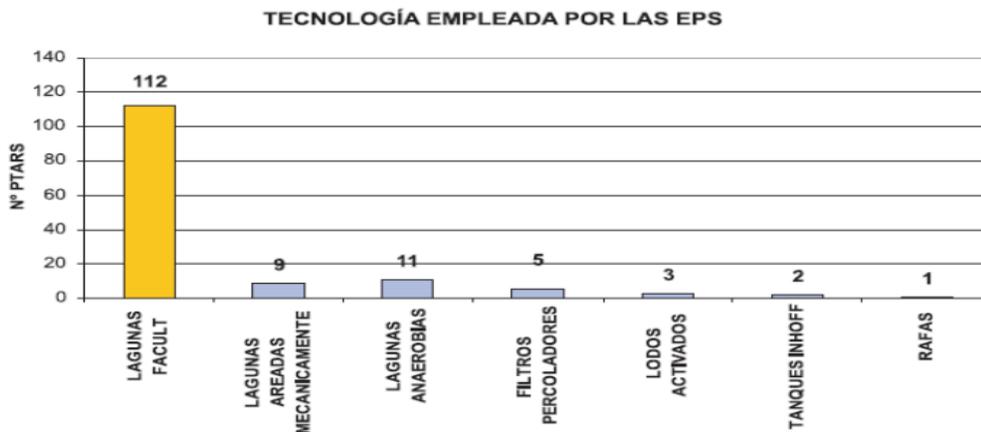
- Principales causas:
 - Insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú.
 - Déficit de financiamiento para el tratamiento de las aguas residuales.
- Principales consecuencias:
 - Incumplimiento de los objetivos de calidad de las PTAR.
 - Bajo volumen de aguas residuales tratadas.

B. INSUFICIENTE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN EL PERÚ

El inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales en las EPS de SUNASS de 2007 muestra que de las 143 PTAR, 92% se compone de lagunas de estabilización en sus diferentes variedades de comportamiento biológico (anaerobias, facultativas o

aireadas), siendo las lagunas facultativas las más empleadas, 78% en 112 PTAR, como se muestra en el gráfico 1.

GRÁFICO 1: INVENTARIO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Fuente: Información recopilada por la SUNASS de la EPS en setiembre de 2007

En cuanto al resto de tecnologías, solo existen cinco PTAR que operan con filtros percoladores, tres con lodos activados y una con un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Vale la pena mencionar que la única planta de lodos activados de tipo secuencial (SBR) es la de Puente Piedra y la administra SEDAPAL.

La mayoría de las EPS invierten en la construcción de PTAR con lagunas de estabilización del tipo facultativo por el bajo costo de inversión, operación y mantenimiento y a la elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica en comparación con otras tecnologías. Sin embargo, cuando existen limitaciones para la disponibilidad de terreno, la PTAR está dentro de la zona urbana con espacios limitados o la caracterización y las condiciones climatológicas lo exigen, es necesario usar otras tecnologías de eficiencia comparable pero que tienen mayores costos de inversión, operación y mantenimiento, como los filtros percoladores, los lodos activados y los RAFA, a los que hay que adicionar procesos de tratamiento avanzado como la precipitación química y la cloración para remover los quistes de nematodos intestinales y reducir la carga bacteriana, respectivamente.

1.2.12. PARÁMETROS DE ANÁLISIS DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Según Decreto supremo N° 003-2010-MINAM (2010). Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. (DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, 2010).

TABLA 6: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: (DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, 2010)

1.2.13. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES

1.2.13.1. HUMEDALES ARTIFICIALES

Son sistemas biológicos confinados mediante algún tipo de impermeabilización, que surgen a partir de la simulación de los mecanismos propios de los humedales naturales para la depuración de las aguas, donde se combinan procesos físicos, químicos y

biológicos que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a la aparición de procesos de sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica, fotosíntesis, oxidación y toma de nutrientes por parte de la vegetación. En lo que respecta a su funcionamiento como tratamiento biológico, se opera en condiciones anaerobias, facultativas y/o aerobias en las que el oxígeno se aporta de forma espontánea por transporte desde la atmósfera, lo que representa un ahorro importante de energía por prescindir de aireación con procedimientos mecánicos. (JHONATAN CABALLERO PELUFFO Y REYNALDO OSORIO FERNÁNDEZ, 2016).

Las interacciones de los componentes físicos, biológicos y químicos de un humedal, como los suelos, el agua, las plantas y los animales, hacen posible que desempeñe muchas funciones vitales (RAMSAR, 2006), como por ejemplo:

- Almacenamiento de agua.
- Protección contra tormentas y mitigación de crecida.
- Estabilización de costas y control de la erosión.
- Recarga de acuíferos (movimiento descendente de agua del humedal al acuífero subterráneo).
- Descarga de acuíferos (movimiento ascendente de aguas que se convierten en aguas superficiales en un humedal).
- Depuración de aguas.
- Retención de nutrientes.
- Retención de sedimentos.
- Retención de contaminantes.
- Estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente lluvia y temperatura.

Los investigadores en el tratamiento de aguas han centrado sus esfuerzos en la función depurativa de las aguas residuales por parte de los humedales naturales y han observado que la calidad del agua en ellos mejora gracias a los procesos que en ellos ocurre; es así como ha llegado a catalogárseles como sistemas de tratamiento de agua residuales (GARCÍA BOTERO, 2005).

En los humedales crecen y se desarrollan vegetales, animales y microorganismos los cuales se adaptan a las condiciones propias del humedal, estos seres vivos junto a procesos físicos y químicos, son capaces de depurar el agua eliminando grandes cantidades de materia orgánica, así como de sólidos. Con base en ello se ha tratado de aprovechar este gran potencial depurador de los humedales para el

tratamiento de las aguas residuales diseñando instalaciones capaces de simular las características de los humedales naturales de ahí surge la idea de empezar a trabajar con humedales construidos y diseñados por el hombre bajo parámetros de comportamiento específicos es decir los humedales artificiales. (ÑIQUE ÁLVAREZ, 2004).

En virtud de lo anterior se puede catalogar a un humedal artificial en un canal lleno de sustrato que puede ser suelo o arena, plantado con vegetación tolerante según las características del agua a tratar. (ÑIQUE ÁLVAREZ, 2004).

1.2.13.2. FUNCIONES GENERALES DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales pueden llegar a cumplir básicamente tres funciones que los hacen atractivos para tratar las aguas residuales (LARA BORRERO, 1999):

- Fijan la materia orgánica y demás contaminantes del agua residual en la superficie del suelo.
- Utilizan y transforman los compuestos del agua residual gracias a la presencia de microorganismos.
- Logran niveles de tratamiento óptimos con un bajo costo en operación y mantenimiento.

1.2.13.3. COMPONENTES DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.

De manera general la composición de un humedal es agua, vegetación, medio filtrante y microorganismos, además de condiciones ambientales como luz solar y temperatura. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección.

a) Agua.

Es uno de los factores más importantes ya que de él depende el éxito o el fracaso de un humedal artificial; en la columna de agua ocurren diferentes procesos mediante los cuales los microorganismos transforman la materia orgánica contenida en el agua residual.

Pequeños cambios en la hidrología, pueden tener bastante significado en un humedal artificial y su eficiencia de tratamiento; es así como debido a la gran superficie de agua y a la poca profundidad un sistema de humedales artificiales interactúa fuertemente con la atmósfera a través de la precipitación y la evapotranspiración, lo cual puede reducir o aumentar el tiempo de retención hidráulico, variar la carga orgánica, y en general modificar las condiciones para las cuales se había diseñado el sistema (EPA, 2000)

b) Vegetación.

Este tipo de plantas acuáticas llamadas macrófitas crece en la zona litoral de lagos, embalses y ríos en la zona de interfase agua-tierra. Según el aspecto morfológico las macrófitas se dividen en tres grandes grupos (SCHMIDT MUMM, 1988):

- **Grupo I.** Las plantas errantes sin raíces o con raíces colgando en el agua, se denominan Planophyta.
- **Grupo II.** Las plantas enraizadas en un sedimento, se llaman Rizophyta.
- **Grupo III.** Las plantas aplicadas a un medio con rizoides o raíces modificadas para adherirse, se designan Haptophyta.

Es de resaltar el grupo de las Rizophyta, ya que se encuentran enraizadas en un sedimento lo cual es viable para un sistema de humedales artificiales.

Entre las macrófitas que conforman las Rizophytas con el mismo hábitat o medio de vida, se pueden distinguir:

Macrófitas enraizadas sumergidas (Hyphydata): La estructura vegetativa permanece completamente durante todo su ciclo biológico, dentro del agua, pero sus flores salen a la superficie. Las más comunes pertenecen a la familia Hydrocharitaceae (elodeas), *Ceratophyllum demersum* (Najas), y macro algas como la Chara y Nitella.

Macrófitas enraizadas con hojas flotantes (Hephydata): Sus hojas se encuentran parcialmente en contacto con la atmósfera y pueden utilizar el CO₂ del aire; sus raíces pueden estar o no adheridas al fondo. Estas plantas toman los nutrientes directamente del agua a través de la pared celular o mediante un sistema radicular. El mantenimiento de un nivel de agua superficial apropiado es fundamental para su supervivencia. A este grupo pertenecen los siguientes géneros: *Nymphaea* (Lotos de agua), *Vitoria regia* (*Victoria* amazónica) y *Nymphoides*.

Macrófitas enraizados emergentes (Helophyta): Son plantas que están adheridas firmemente en el fondo de áreas poco profundas. La mayor parte de sus tallos y hojas viven por encima del agua; son generalmente rígidas y no dependen del agua para su soporte; pueden vivir en diferentes ambientes, desde suelos húmedos hasta suelos inundados. Este tipo de plantas, contribuyen al tratamiento del agua residual, estabilizando, el medio y canalizando el flujo del agua a través de sus tallos y raíces, dando lugar a velocidades bajas del agua permitiendo el depósito de materiales suspendidos y el incremento en los tiempos de retención hidráulico. El tallo y los sistemas de raíces permiten la fijación de nutrientes y minerales que luego los incorporan en sus tejidos. Los géneros más empleados en los humedales para aguas residuales incluyen: *Typha*, *Scirpus* y *Phragmites*.

Otra característica importante es que las macrófitas son capaces de transportar oxígeno desde los tallos y hojas hacia sus raíces y rizomas, aunque en los humedales de flujo subsuperficial la cantidad de oxígeno aportada es muy pequeña en comparación con la carga de aguas residuales que ingresa al sistema, por lo que los procesos de remoción de materia orgánica son básicamente anaerobios, no ocurriendo por tanto la nitrificación-desnitrificación; sin embargo, al analizar el sistema más objetivamente y apoyados en estudios realizados, se ha demostrado que el oxígeno transportado por estas macrófitas puede ser utilizado por los microorganismos que se desarrollan en forma de biopelícula; en éstas capas de microorganismos más próximas a los rizomas se dan procesos aerobios, mientras en las más alejadas, al no difundir oxígeno, los procesos son anaerobios, esta situación favorece el proceso de nitrificación-desnitrificación (BRIX, 1997).

La selección de las macrófitas para un sistema de humedales, está ceñida a ciertos factores condicionantes:

- Tipo de humedal
- Temperatura
- Profundidad del sistema
- Composición del agua residual a tratar

Además, la vegetación debe ser en la medida de lo posible, especies nativas del lugar en donde se construirá el humedal artificial, con lo cual se aumenta la posibilidad de adaptabilidad de la planta a las condiciones del medio.

c) Microorganismos.

Los microorganismos en un humedal artificial se encuentran en un medio adverso permanentemente al recibir constantemente altas cargas de contaminantes presentes en el agua residual, sustancias toxicas como es el caso de metales pesados, condiciones extremas de pH y temperatura.

Esto trae como consecuencia que la comunidad de microorganismos sea más especializada y, por ende, la diversidad de especies sea menor. Generalizando, se puede decir que en un humedal artificial se encuentran bacterias que tienen como función principal el consumo de materia orgánica y la degradación o transformación de otros compuestos, hongos que también degradan materia orgánica y tienen un factor limitante que es el pH, pues se desarrollan satisfactoriamente en un rango de $5 < \text{pH} < 6$ (SEOÁNEZ, 1999).

1.2.13.4. MEDIO FILTRANTE

La arena gruesa o la grava fina son los medios que se utilizan con frecuencia en humedales artificiales. Su tamaño oscila entre 3 y 52 mm y para la zona de entrada 50 mm, esto con el fin de disminuir el potencial de obstrucción (CRITES, Ron y TCHOBANOGLOUS, Geroge, 2000).

Medios como roca triturada, arena, y materiales plásticos también han sido usados. Se recomienda que sobre una cama de grava sea usada una capa de medio más fino como arena; esto con el fin de proporcionar una mayor estabilidad y arraigo de las macrófitas al medio (EPA, 2000).

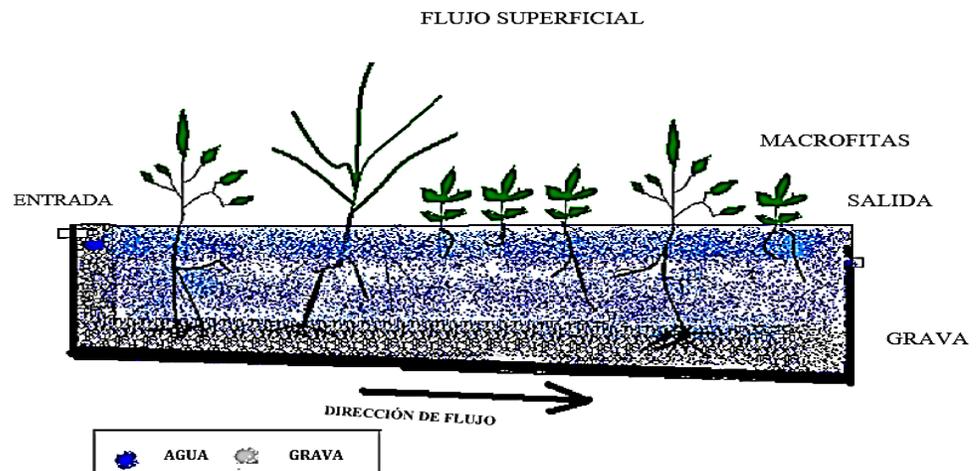
1.2.14. TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES

Los sistemas de humedales artificiales se describen típicamente por la posición de la superficie del agua y/o el tipo de vegetación presente (US EPA, 2000). De esta manera se han clasificado como humedales de flujo subsuperficial y humedales de flujo superficial o flujo libre. Debido a que en el presente proyecto se trabajó con los primeros se discute en este documento muy someramente sobre los humedales de flujo superficial, dándose relevancia a los de flujo subsuperficial.

Humedales de Flujo Libre.

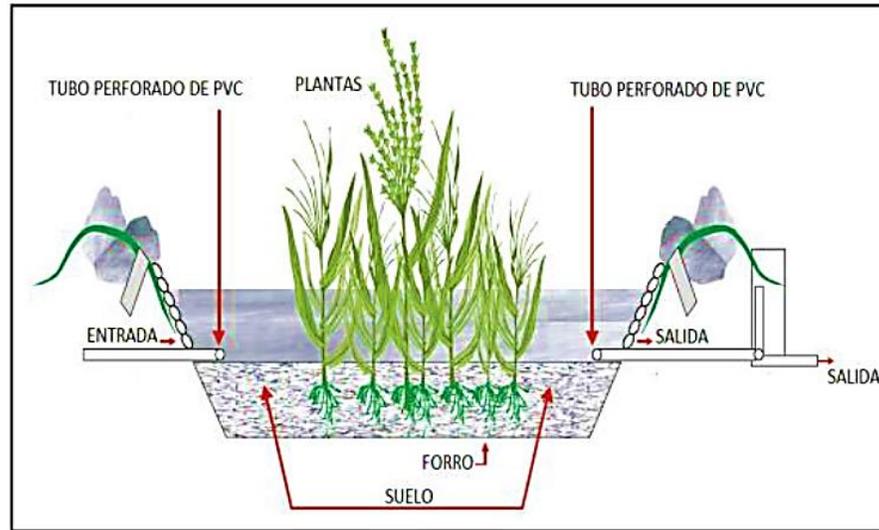
La mayoría de los humedales naturales son sistemas de flujo superficial (FWS), en los cuales el agua está expuesta a la atmosfera. En dicho sistema el nivel del agua está por encima de la superficie del terreno; la vegetación está sembrada y emerge sobre la superficie del agua; esto lo hace atractivo para los mosquitos y otros vectores similares (Véase Figura 1 y 2).

FIGURA 1: PERFIL DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL.



Fuente: (Vargas y Balda, 2008).

FIGURA 2: HUMEDAL A FLUJO LIBRE.

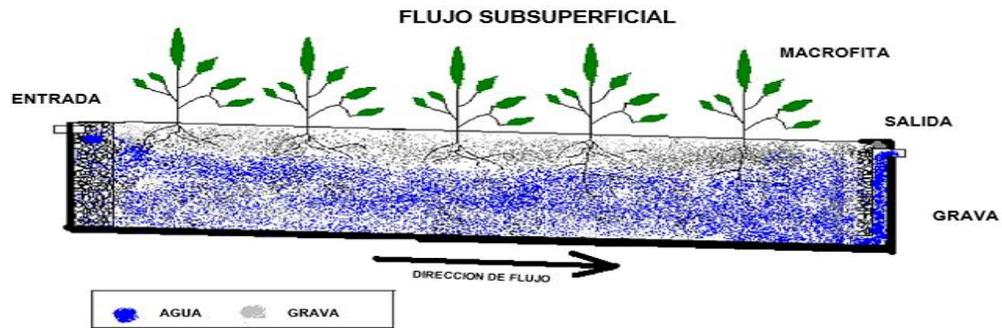


Fuente: (CHAFLOQUE, 2006).

a) Humedales de Flujo Subsuperficial.

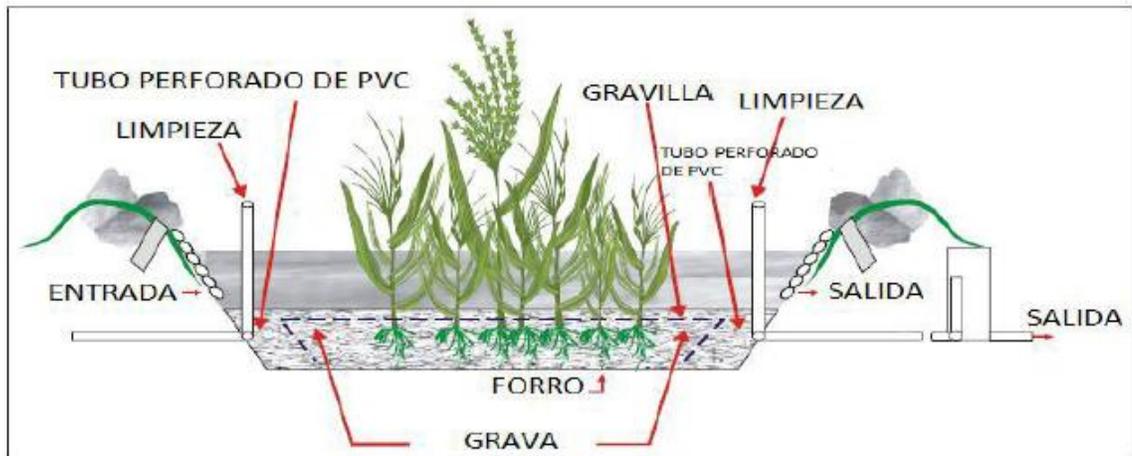
El Humedal de flujo subsuperficial (SFS) es un sistema diseñado para el tratamiento de agua residual; está construido en forma de lecho ó canal excavado con fondo impermeabilizado y relleno con un material granular, generalmente roca triturada, grava, arena u otro tipo de material de suelo; para el crecimiento de la vegetación emergente, en estos sistemas el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio granular, es decir, el agua no está expuesta a la atmósfera (Véase Figura 2).

FIGURA 3: PERFIL DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL



Fuente: (Vargas y Balda, 2008).

FIGURA 4: HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL



Fuente: (CHAFLOQUE, 2006)

TABLA 7: RENDIMIENTO DE DEPURACIÓN DE UN HUMEDAL SUBSUPERFICIAL.

Parámetro	Porcentaje de Remoción (%)
DBO5	80 – 90
Nitrógeno	20 – 40
Fosforo	15 – 30
Sólidos Suspendidos	85 – 90
DQO	75 – 85
Coliformes Fecales	90 – 99

Fuente: (Gómez)

En este tipo de humedal se pueden destacar las siguientes ventajas:

- No existen problemas de vectores; mientras el nivel sub superficial del agua se mantenga.
- Poseen un alto potencial de asimilación por unidad de área en comparación con los sistemas de flujo superficial, debido a que el medio provee una mayor superficie de contacto, por lo tanto, requiere una menor área para tratar el mismo caudal.

- No hay riesgo que el público y animales entren en contacto con el agua residual, parcialmente tratada.
- También existen limitantes de este sistema de humedales de flujo subsuperficial, entre las que se consideran:
 - La construcción es más costosa en comparación con los *FWS* (Humedal de flujo superficial), la viabilidad económica del sistema depende del costo del material granular y el tipo de impermeabilización.
 - La obstrucción potencial del medio dependiendo de su tamaño ya que al emplearse arenas finas las capas de materia orgánica que se van generando dentro del medio ocupan los intersticios de las mismas.
 - Los costos de reparación y mantenimiento son mayores que en los *FWS*.
 - Los humedales de flujo subsuperficial no proporcionan el mismo nivel de hábitat que los humedales de flujo superficial, debido a que el agua en el sistema no está expuesta ni disponible para las aves y otros animales (EPA, 2000).
 - Algunas variedades forrajeras, así como algunas hortalizas tienen la capacidad de adsorber y absorber metales pesados; entre las especies forrajeras está el pasto kikuyo. Esta técnica tiene el grave problema de controlar la cantidad de metal pesado en las plantas para que no sea nociva en los animales que se alimentan de tales plantas, ya que los metales pesados se ubican desde la raíz hasta los primeros brotes de las plantas.

b) Humedales de flujo horizontal (FH).

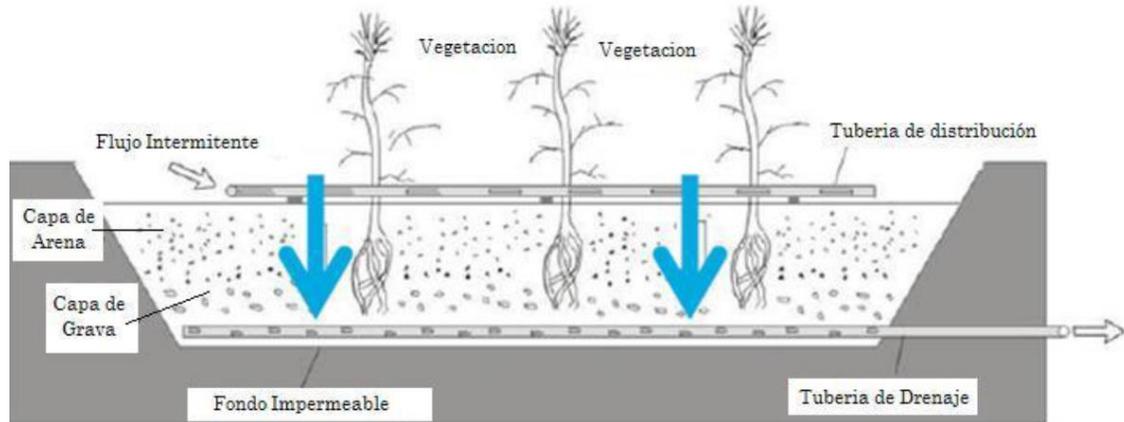
Se llaman flujo horizontal debido a que el agua residual del cual se alimenta el humedal fluye lentamente a través del medio poroso bajo la superficie del lecho de una forma más o menos horizontal en el camino hasta que llega a la zona del control de nivel en la salida. (H. Brix & C. Arias, H. B., 2008)

c) Humedales de flujo vertical (FV).

Estos sistemas tienen profundidades mucho mayores a las de humedales de flujo subsuperficial horizontal, y disponen de una conexión que transporta el agua que ya se ha filtrado mediante el lecho o fondo a un drenaje. La profundidad efectiva del medio

filtrante es de alrededor de 1 m y preferiblemente se debe hacer un pre -tratamiento ya sea en un sedimentador primario o un tanque séptico. A continuación, se muestra el esquema de un humedal con flujo vertical. (H. Brix & C.Aarias, H. B., 2008).

FIGURA 5: HUMEDAL CON FLUJO VERTICAL.



Fuente: (Langergraber, 2010).

1.2.15. HIDRÁULICA DE LOS HUMEDALES VERTICALES.

Los sistemas de flujo sub-superficial pueden ser operados de distintos modos (Juan Herrera Romero, 2011):

- **Flujo Descendente Intermitente.** Esta opción implica la aplicación de inundación del agua en la parte superior del lecho por breves períodos de tiempo. Este modo operacional es seleccionado para optimizar el transporte de oxígeno hacia el lecho.
- **Flujo Descendente no Saturado.** Esta variante comprende la distribución de agua a través de la parte superior de un medio granular. El agua entonces gotea a través del medio en flujo no saturado. La distribución de la tubería puede ser localizada arriba del sistema; o en climas fríos, enterradas dentro del lecho del medio granular. El sistema puede ser configurado en un modo de un solo paso o de forma más común: empleando la recirculación del flujo, lo que hace que el agua pase a través del lecho muchas veces.

- **Flujo Descendente o Saturados.** Estos sistemas utilizan un flujo saturado continuo de agua a través de la zona de raíces. El flujo ascendente saturado es deseable cuando la pureza del agua debe ser de alta calidad, para minimizar el contacto con contaminantes o el contacto con la zona de raíz se desea maximizar.
- **Humedales de Flujo de Marea.** (Llenado y desagüe) estos sistemas emplean el llenado y el desagüe cíclico de un lecho granular. Durante la parte de llenado del ciclo, el agua residual es alimentada hacia el fondo del lecho del humedal. El llenado está completo cuando la superficie se inunda. El bombeo es detenido el agua residual es mantenida en contacto con las bacterias que crecen en el medio. Después de esto, el agua es drenada y el aire entra a los agujeros del lecho. Estos reactores crean condiciones Redox cíclicas que contienen tanto fases de oxidación como de reducción.

1.2.16. MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN HUMEDALES ARTIFICIALES

En el tratamiento del agua residual con humedales artificiales, se desarrollan diferentes mecanismos para la eliminación de contaminantes, los cuales se basan en reacciones que ocurren naturalmente y pueden ser:

- Remoción de sólidos suspendidos y eliminación de patógenos; por sedimentación y filtración.
- Biodegradación de la materia orgánica a partir de la presencia de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos.
- Remoción de metales pesados atribuido al fenómeno de precipitación, absorción, adsorción y precipitación de los hidróxidos y sulfuros correspondientes.

En los humedales artificiales se puede esperar una remoción alta de DBO y SST, junto con una remoción significativa de nitrógeno, metales, compuestos orgánicos traza y organismos patógenos (CRITES, Ron y TCHOBANOGLOUS, Geroge, 2000).

En la Tabla 8, se observa un resumen de los constituyentes del agua residual y sus mecanismos de remoción mediante los diferentes sistemas de humedales artificiales.

TABLA 8: PRINCIPALES MECANISMOS DE REMOCIÓN PARA ALGUNOS CONSTITUYENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES

Constituyente	Humedal artificial de flujo libre	Humedal artificial de flujo subsuperficial
Compuestos orgánicos biodegradables	Bioconversión por bacterias aerobias, facultativas y anaerobias de DBO soluble, filtración y sedimentación de la DBO particulada.	Bioconversión por bacterias aerobias, anaerobias y facultativas en las plantas y detritos de la superficie.
Sólidos suspendidos totales	Sedimentación, filtración.	Sedimentación, filtración.
Fósforo	Sedimentación, asimilación vegetal	Filtración, sedimentación, asimilación vegetal
Nitrógeno	Nitrificación/denitrificación, asimilación vegetal, volatilización.	Nitrificación/denitrificación, asimilación vegetal, volatilización.
Metales pesados	Adsorción de las plantas y detritos de la superficie, sedimentación.	Adsorción de las plantas y detritos de la superficie, sedimentación.
Componentes orgánicos traza	Volatilización adsorción biodegradación.	Adsorción biodegradación.

Fuente: Adaptado de Crites y Tchobanoglous, 2000.

1.2.17. REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Los procesos de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo superficial son muy efectivos, siempre y cuando se mantengan condiciones óptimas como tiempo de retención hidráulica, carga orgánica de entrada, carga hidráulica y profundidad del humedal.

La remoción de la materia orgánica ocurre inicialmente de manera física por sedimentación debido a la baja velocidad que se maneja en el humedal, por retención y deposición gracias al proceso de filtración que sufre el agua residual al atravesar el medio poroso.

La materia orgánica soluble en el agua continúa su recorrido a través del sistema y es removida gracias a los microorganismos que van creciendo en él y al requerimiento de nutrientes por parte de las macrófitas del humedal. Esta degradación de la materia orgánica es aerobia en micro sitios de la superficie de las raíces de las plantas, pero en el resto del lecho sumergido ocurre por vías anaerobias: fermentación metánica y

sulfato reducción (EPA, 2000). Luego, es importante resaltar que los humedales también producen materia orgánica residual debido a la descomposición de las plantas muertas y demás material natural presente en el sistema; luego es imposible diseñar un humedal artificial para tener un efluente con un porcentaje de reducción del 100% de la materia orgánica (LAHORA, 2002).

1.2.18. FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación es el uso de la acumulación de metales en plantas que pueden transportar y concentrar metales del suelo hacia las raíces y brotes superficiales (hojas). Por antecedentes y selección de procedimientos científicos ha sido identificada una promisoriosa acumulación de metales en la cosecha de las plantas. Estas plantas pueden remover metales pesado desde el suelo por concentraciones de metal en sus brotes de raíces y hojas. (kumar et al. 1995).

El desarrollo de la fitorremediación, los investigadores tienen que enfocarse sobre especies de plantas que tienen algunas características deseables como alta producción de biomasa, facilidad de manejo, caracterización genética, y prácticas establecidas de cultivo. Muchos científicos ahora están enfocando sus investigaciones a incrementar la capacidad de fitorremediación de las plantas. Investigación de antecedentes aislados de las plantas óptimas, y los esfuerzos ha sido dirigida a la identificación de reacciones químicas para mejorar la eficiencia de la Fito extracción. Los investigadores observaron que la adición de los quelatos al suelo durante la fitorremediación incrementa la absorción y transporte de plomo en los retoños de las plantas previendo un mejor avance en la tecnología de Fito extracción. (Huang et al.,1997; blaylock et al.,1997).

La fitorremediación puede ser usada potencialmente en larga-escala, costo – efectividad, tratamiento in situ porque es relativamente de bajo costo comparado contra otros sistemas. La capa vegetal debe ser preservada y la cantidad de materiales peligrosos generados se reducen significativamente, esta tecnología es ambientalmente compatible y gana aceptación por el público y por las agencias reguladoras, y

eventualmente puede emerger como un método preferido para tratar sitios contaminado con metales pesados o radio nucleídos, (Raskin Ilya, 2000).

1.2.19. RIZOFILTRACIÓN

Rizo filtración es el uso de las raíces de las plantas para absorber, concentrar y precipitar metales pesados desde el agua. La habilidad de absorber diferentes iones de metales es una propiedad común de todas las raíces de las plantas, pero entre varias especies de plantas las raíces de girasoles has sido usadas para tratar agua que contiene altas concentraciones de plomo, uranio, estroncio, cesio, cobalto y Cinc en concentración por debajo de lo normal es aceptado en las normas de agua. (Dushenkov et al., 1995).

1.2.20. HIPERACUMULACIÓN

El termino hiperacumulación, describe a una planta con nivel altamente anormal de acumulación de metal, parece primero haber sido aplicado por (Jaffré et al, 1976) en el título de su investigación sobre las concentraciones de níquel en la planta *sebertia acuminata* en Nueva Caledonia. El uso específico del término denota una concentración definida (>1000 mg Ni/Kg) fue introducido por Brooks et al. (1977) en el estudio de concentraciones de Ni en la especie de *homalium* y *Hybanthus* de varias partes del mundo.

El criterio de Baker and Brooks (1989) puede en algunos casos verse como indebidamente restrictivo. En particular, para Zn, el cual presenta en muchas plantas sobre suelos ricos en Cinc entre 50 – 500 mg/ kg, esto puede ser más apropiado para niveles de Cinc cerca de 3000 mg/Kg, esto puede ser descrito como hiperacumulación. De esta manera se puede enfocar la atención a los expedientes tales como el de a la concentración de Cinc por encima de 9000 mg/Kg en *gompHrena canescens* en Quensland, Australia (cole et al., 1968). Esto puede también ayudar a prevenir alguna muy fuerte acumulación de Cinc en especies de se han descrito como no acumuladores, como ha sucedido recientemente (shen et al., 1997) con *Thlaspi ochroleucum*, una especie que se encontró con una concentración por encima de 5200 mg/kg Ni en suelos

serpentinicos (Reeves, 1988) y con una concentración por encima de 6300 mg/kg de Cinc (Reeves 1988, e inédito).

1.2.21. EVOTRANSPIRACIÓN.

Un factor importante, el cual interviene dentro del balance hídrico en el sistema, de tal manera que afecta en los procesos bioquímicos que se llevan a cabo en el mismo, incidiendo en los resultados al momento de determinar las eficiencias es el evo transpiración.

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua, se pierde: a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (FAO., 2006).

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo (FAO., 2006).

proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

1.2.21.1. FACTORES QUE AFECTAN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.

Según la FAO, parámetros como el clima, el manejo y el medio de desarrollo son factores que afectan la evaporación y la transpiración (FAO., 2006).

Variables climáticas. Los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se han desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros.

Radiación solar. El proceso de la evapotranspiración está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización y época del año. Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol, esta cantidad potencial de radiación es diferente para cada latitud y para las diversas estaciones del año. La radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende de la turbidez de la atmósfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación.

Temperatura del aire. La radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco.

Humedad del aire. Mientras que el aporte de energía del sol y del aire circundante es la fuerza impulsora principal para la evaporación del agua, la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la remoción de vapor. En regiones húmedas tropicales, a pesar de que el ingreso de energía es elevado, la alta humedad del aire reducirá la demanda de evapotranspiración. En este último caso, como el aire está ya cerca de saturación, puede absorber menos agua adicional y por lo tanto la tasa de evapotranspiración es más baja que en regiones áridas.

1.2.22.REMOCIÓN DE NITRÓGENO

El nitrógeno puede existir en siete estados de oxidación, como se muestra en la Tabla 9 Sólo el amoníaco, nitrógeno gas, nitritos y nitratos son considerados la principal fuente de nitrógeno para la mayoría de los microorganismos en la tierra y en el agua. Los microorganismos utilizan dichos compuestos, para la producción de aminoácidos, síntesis de proteínas, crecimiento de células y transferencia de energía. Los compuestos

de nitrógeno son transformados y cambiados a otros estados de oxidación, mediante diferentes procesos microbiológicos. (Reddy, 1998)

TABLA 9: ESTADOS DE OXIDACIÓN EN LOS QUE EL NITRÓGENO PUEDE ESTAR PRESENTE

COMPUESTO	FÓRMULA	VALENCIA
Amoníaco/Amonio	$N-NH_3/N - NH_4^+$	-3
Gas nitrógeno	N_2	0
Óxido nitroso	N_2O	+1
Óxido nítrico	NO	+2
Nitrito	$N - NO_2^-$	+3
Dióxido de nitrógeno	NO_2	+4
Nitrato	$N - NO_3^-$	+5

Fuente: (Reddy, 1998)

Las aguas residuales crudas, típicamente contienen nitrógeno orgánico y amonio.

El amonio constituye aproximadamente el 60% del nitrógeno total en el agua residual cruda. El nitrógeno orgánico viene de las proteínas, aminas, ácidos nucleicos, péptidos, aminoácidos y otros constituyentes celulares que se encuentran en la materia fecal. El nitrógeno orgánico presente en el agua residual cruda, puede transformarse a amonio a través de la descomposición bacteriana del material proteico y la hidrólisis de la urea. Debido a que el nitrógeno constituye del 12 al 13% de la masa celular seca, una fracción del nitrógeno amoniacal se asimilará para crear nuevas células. Parte del amonio usado para síntesis celular regresará al agua a través de la lisis y la autooxidación (si estas llegaran a ocurrir). Bajo ciertas condiciones, el nitrógeno puede oxidarse a nitritos, posteriormente a nitratos; y finalmente los nitratos pueden reducirse mediante la desnitrificación a nitrógeno gas.

Para remover completamente el nitrógeno de un sistema existen cinco procesos:

- a) Conversión de nitrógeno a nitrógeno gas, N_2 (g), el cual escapa a la atmósfera. Este es logrado en un sistema de tratamiento biológico a través de la nitrificación, seguido de la desnitrificación.
- b) Absorción biológica de nitrógeno para crecimiento de la biomasa.
- c) Desorción de amoníaco NH_3 (g) del agua, que puede conseguirse con un pH alto, (torre de desorción).
- d) Intercambio iónico para intercambiar NO_3^- , utilizando una resina de intercambio catiónica o aniónicas, respectivamente.
- e) Procesos que pueden remover todos los contaminantes del agua, tales como las membranas de ósmosis inversa, pueden ser utilizadas para remover nitrógeno.

1.2.22.1. NITRIFICACIÓN

La remoción biológica de nitrógeno se lleva a cabo a través de una serie de reacciones bioquímicas, que transforman el nitrógeno de una a otra forma. Los pasos son los siguientes:

La nitrificación es un proceso aerobio realizado por microorganismos pertenecientes a la familia Nitrobacteriaceae. El proceso respiratorio nitrificante se realiza en dos etapas:

- 1) oxidación de amonio a nitrito y
- 2) oxidación de nitrito a nitrato. En cada una de ellas participan microorganismos de géneros diferentes, es decir, no se han identificado microorganismos que puedan convertir directamente el amonio a nitrato (Cervantes-Carrillo F., Pérez J. y Gómez J., 2000).

TABLA 10: EFECTOS DE LAS VARIABLES OPERACIONALES Y AMBIENTALES EN EL PROCESO DE NITRIFICACIÓN

FACTOR	EFEECTO
Concentración de nitrógeno	Se ha observado que la concentración de amonio y nitritos afecta la $\mu_{N\text{máx}}$. Dado que la tasa de crecimiento de <i>Nitrobacter</i> es considerablemente mayor que la de <i>Nitrosomonas</i> , la velocidad de nitrificación se modela generalmente utilizando la conversión de amonio a nitritos como el paso limitante: $\mu_N = \mu_{N\text{máx}} \left(\frac{N}{K_N + N} \right)$ Se utiliza $\mu_{N\text{máx}} = 0.45 \text{ d}^{-1}$ a 15°C
DBO ₅ /NTK	La fracción de organismos nitrificantes presentes en el licor mezclado de un proceso de oxidación de carbono y nitrificación en una etapa se relaciona con la proporción DBO ₅ /NTK. La fracción de organismos nitrificantes se puede calcular con la siguiente ecuación: $f_N = \frac{0.16(\text{NH}_3 \text{ removida})}{0.6(\text{DBO}_5 \text{ removida}) + 0.16(\text{NH}_3 \text{ removida})}$
Concentración de oxígeno disuelto (OD)	El nivel de OD afecta la velocidad de crecimiento específico máximo de los organismos nitrificantes. El efecto se ha modelado con la siguiente reacción: $\mu_N = \mu_{N\text{máx}} \left(\frac{OD}{K_{OD} + OD} \right)$ Se puede utilizar un valor de 1.3 mg/l para K_{O_2}
Temperatura	Tiene un efecto significativo sobre las constantes de la tasa de nitrificación. La tasa global de nitrificación disminuye cuando la temperatura disminuye, y se explica por las relaciones: $\mu_N = \mu_{N\text{máx}} (e^{0.099(T-15)})$ $K_N = 10^{0.051T-1.158}$
pH	$\mu_N = \mu_{N\text{máx}} [1 - 0.833(7.2 - \text{pH})]$ La tasa máxima de nitrificación ocurre entre valores de pH de alrededor de 6.2 y 9. Para los sistemas combinados de oxidación de carbono y nitrificación, el efecto del pH se explica en la relación anterior.

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000.

1.2.22.2. FACTORES QUE AFECTAN LA NITRIFICACIÓN

a) Alcalinidad

La alcalinidad se destruye por la oxidación de amonio a nitrato, se consumen 7.14g de alcalinidad como CaCO₃ por gramo de oxidado (Reddy, 1998).

b) Temperatura

La temperatura óptima para la nitrificación se encuentra entre 30 y 36°C, con posible actividad entre 4 y 50 °C. (Reddy, 1998).

c) Potencial hidrógeno (pH)

La bacteria *Nitrobacter* se inhibe con valores de pH superiores a 9.5 en presencia de amoniaco, mientras que las *Nitrosomonas* se encuentran activas en condiciones alcalinas y se inhabilitan a valores de pH menores a 6. Con valores de pH entre 7.8 y 8.9 se obtiene la mayor eficiencia de desnitrificación (C., 1995)

d) Oxígeno disuelto (OD)

Varios autores reportan valores de concentración de oxígeno, que van de 0.25 a 2 mg/L para realizar el proceso de nitrificación.

e) Potencial de óxido reducción (ORP, por sus siglas en inglés)

El potencial Redox es un parámetro de control muy utilizado en los sistemas de tratamiento de aguas como una medida de carácter oxidante o reductor del mismo. El oxígeno molecular tiene un potencial oxidante grande y es uno de los elementos que mayormente contribuyen en la variación de este parámetro; se puede decir indirectamente que a mayor concentración de O₂, mayor es el potencial de óxido reducción (Guido, 2006).

Los ambientes en equilibrio con el oxígeno atmosférico poseen un ORP de alrededor de +800 mV. La actividad heterotrófica mantiene el potencial Redox de las aguas naturales aerobias entre 400 y 500 mV, valor inferior al que cabría esperar para un agua en completo equilibrio con la atmósfera. De acuerdo con Spagni et al. Para una etapa óxica el ORP es superior a +100 mV. Lecturas entre + 50 y +300 mV indican condiciones aerobias con oxígeno y nitratos como receptores de electrones (Correa y Sierra, 2004).

1.2.22.3. DESNITRIFICACIÓN

Después de que el amonio se ha oxidado a nitrato, este puede ser reducido a N₂ mediante la desnitrificación biológica como se indica en la ecuación (22), que es un proceso respiratorio anaerobio heterotrófico del tipo anóxico donde la reducción del nitrato hasta N₂ sigue una serie de pasos que involucran la actividad de enzimas diferentes (Cervantes-Carrillo F., Pérez J. y Gómez J., 2000).

1.2.22.4. FACTORES QUE AFECTAN LA DESNITRIFICACIÓN

Existen factores que afectan la desnitrificación:

a) Temperatura

La desnitrificación depende también de la temperatura y puede llevarse a cabo de manera favorable, en un intervalo de 5 a 25°C (Reddy, 1998).

b) Potencial hidrógeno (pH)

El intervalo de pH más adecuado para que se efectúe la desnitrificación está comprendido entre 6.5 y 8. En condiciones ácidas, pH de 5, se acumula N₂O, que es sumamente tóxico para las bacterias, en procesos de flujo continuo (Cervantes-Carrillo F., Pérez J. y Gómez J., 2000).

c) Oxígeno molecular

El proceso requiere estar bajo condiciones anóxicas; es decir, en presencia de oxígeno combinado (nitratos y nitritos) y en ausencia de oxígeno disuelto libre (Jeyanayagam, 2005).

d) Potencial de óxido reducción (ORP)

El proceso de desnitrificación ocurre cuando el valor del potencial Redox está en un intervalo de 0 a - 300 mV (Ha y Ong, 2007; Thörn y Sörensson, 1996).

1.2.23.REMOCIÓN DE FÓSFORO

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento biológico. Los sistemas convencionales de tratamiento biológico logran la eliminación de fósforo utilizando el fósforo para la síntesis de la biomasa durante la remoción de la DBO₅. El fósforo es un elemento sumamente importante en los microorganismos para transferir energía y para algunos componentes celulares como fosfolípidos, nucleótidos y ácidos nucleicos. En condiciones normales los microorganismos contienen de 1.5 a 2.5% de fósforo en peso seco.

A diferencia del nitrógeno, el fósforo solo existe en ambientes acuáticos con valencia de +5. El ácido fosfórico es fácilmente ionizado a fosfatos inorgánicos tal como los ortofosfatos, los cuales se encuentran fácilmente disponibles para el metabolismo biológico. Las bacterias y otros microorganismos utilizan los ortofosfatos para formar fosfatos orgánicos. Los fosfatos orgánicos se encuentran en ácidos nucleicos, fosfolípidos, trifosfato de adenosina (ATP, por sus siglas en inglés), hormonas y muchos otros compuestos que son esenciales (Reddy, 1998).

Las fuentes más importantes de fósforo en el agua residual son: materia fecal humana, residuos de alimentos, detergentes sintéticos, artículos para limpieza del hogar y; descargas industriales y comerciales.

1.2.23.1. REMOCIÓN BIOLÓGICA DE FÓSFORO

Existen tres opciones para remover fósforo de un sistema:

- a) Convertir el fósforo a compuestos químicos por la adición de sales metálicas.
- b) Introducir el fósforo a la biomasa. La biomasa puede acumular niveles superiores de lo que requieren para su metabolismo (de 6 a 8% de fósforo (Reddy, 1998)).
- c) Procesos capaces de remover todos los contaminantes del agua, como ósmosis inversa, nanofiltración, etc.

Los procesos para la remoción biológica de fosfato tienen como principal objetivo la remoción de materia orgánica carbonosa y de fósforo, por lo que se utilizan sistemas modificados de lodos activados y de biopelícula.

Las bacterias capaces de eliminar fósforo de las aguas residuales, se denominan “bacterias acumuladoras de fósforo”, BAF, se caracterizan por almacenar concentraciones altas de fósforo en forma de polifosfatos en un rango de 3 a 5%

del peso seco de la biomasa (Jeyanayagam, 2005).

Las BAF son microorganismos aerobios, que obtienen su energía (ATP) a través de la vía metabólica del ciclo de los ácidos tricarbóxicos y la cadena respiratoria, utilizando el oxígeno como receptor final de electrones. Cuando las BAF se someten a una secuencia de condiciones anaerobias-aerobias, activan un mecanismo metabólico de supervivencia, para competir por la materia orgánica con grupos de bacterias facultativas bajo condiciones anaerobias.

Para lograr la eliminación de fósforo, es necesario que los microorganismos pasen a través de una fase anaerobia (ausencia de oxígeno libre y combinado), para que las Acinetobacterias utilicen los ácidos grasos volátiles, AGV, como el acetato y otros productos, producidos en esta zona como resultado de las reacciones de fermentación para formar los polihidroxi-butiratos (PHB). Estos compuestos tienen una baja solubilidad en el agua, por lo que no afectan la presión osmótica dentro de las bacterias. Los PHB están formados de acetoacetato, que funcionan como receptores de electrones, permitiendo de esta manera la oxidación de nicotinamida adenina dinucleótido hidrogenasa (NADH) a nicotinamida adenina dinucleótido (NAD). La energía necesaria para llevar a cabo este proceso se obtiene del rompimiento de enlaces de polifosfatos a fosfatos.

Posteriormente, cuando estas bacterias se someten a condiciones aerobias, utilizan la materia orgánica que almacenaron como PHB para producir acetyl Coenzima A, que se reincorpora al ciclo de los ácidos tricarbóxicos y la cadena respiratoria para su degradación. A través de esta vía, se produce la energía necesaria para reactivar el metabolismo celular. Aquí es cuando ocurre la verdadera separación del fósforo del agua residual, debido a que las BAF consumen el fósforo que está presente en el agua residual en mayor proporción a la liberada durante la etapa anaerobia, para recargar las reservas de energía de polifosfatos y para emplearlo en la generación de ATP. La eliminación de fósforo del sistema se realiza a través de la purga de lodos. El mecanismo de eliminación biológica de fósforo se resume en la Tabla 11 (Jeyanayagam, 2005):

TABLA 11: ELIMINACIÓN BIOLÓGICA DE FÓSFORO (EBF)

ETAPA	CARACTERÍSTICA
Anaerobia 1. Fermentación 2. Liberación de fósforo	Del material orgánico soluble se producen los AGV por organismos facultativos. Los AGV se transfieren al interior de la célula para generar PHB a través de la liberación de energía de los ortofosfatos.
Aerobia 1. Captura de fósforo 2. Producción de nueva biomasa	Los PHB se oxidan. Los ortofosfatos son capturados y retenidos en el interior de la célula como polifosfatos y por lo tanto son removidos del agua residual. El fósforo se elimina del sistema, por la purga de lodos. La energía se captura en las cadenas de polifosfatos para crecimiento y almacenamiento (en cantidades superiores a las requeridas para su metabolismo)

Fuente: (Jeyanayagam, 2005).

1.2.23.2. FACTORES QUE AFECTAN LA EBF

a) Características del agua residual

La composición del agua residual es muy importante, en la EBF, porque debe de contar con productos de la fermentación disponibles para las BAF.

b) Temperatura

Puede no resultar un parámetro tan importante como el anterior, aun así, no se registran coincidencias entre varios autores, en los intervalos de temperaturas óptimas para que ocurra la RBN.

c) Potencial hidrógeno (pH)

En el intervalo de pH de 6.6 a 7.4 es óptimo el consumo de ortofosfatos. A valores menores el rendimiento disminuye y a valores mayores a 8 el fósforo precipita en presencia de carbonatos o bicarbonatos (Reddy, 1998).

1.2.24. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y NUTRIENTES

A) Alcalinidad

La alcalinidad expresa la capacidad que tiene un agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina. Principalmente corresponde a los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de los iones calcio y magnesio (Jiménez, 2001).

B) Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la solubilidad del oxígeno y la actividad microbológica entre otros (CRITES, Ron y TCHOBANOGLOUS, Geroge, 2000)

C) pH

La expresión usual para medir la concentración del ión hidrógeno en una solución está en términos del pH, el cual se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno. Esta concentración en el agua está íntimamente relacionada con la extensión de la reacción de disociación de las moléculas del agua: iones hidróxilo e hidrógeno (CRITES, Ron y TCHOBANOGLOUS, Geroge, 2000).

D) Oxígeno Disuelto

Es un indicador del efecto producido por los contaminantes oxidables, de la capacidad del agua para mantener vivos a los organismos aerobios y la capacidad de autodepuración de un cuerpo receptor (Jiménez, 2001).

E) Potencial de Óxido Reducción

Es una medida de la actividad de los electrones en un medio. Es frecuentemente utilizado en los sistemas de tratamiento de aguas como una medida del carácter oxidante o reductor del mismo (Guido, 2006).

1.2.25.LA ANTRACITA

La antracita es un excelente medio de filtración para clarificación del agua en uso potable o industrial, cuando es usada en combinación con arenas filtrantes. Es un carbón mineral, de color negro, brillante, con gran dureza, presenta mayor contenido en carbono, hasta un 95%. (Fossen, 2012)

Debido a la forma especial de sus granos permite que el material que se encuentra en suspensión sea retenido en la profundidad del lecho filtrante. En comparación con un filtro de arena, este medio filtrante permite un desempeño en el filtro de mayor flujo, menos caída de presión y un mejor y rápido retro lavado. (Fossen, 2012)

El flujo de retro lavado también es reducido. Debido a su densidad única, la antracita puede utilizarse en filtros multimedia o lecho profundo. A una densidad de 50 lbs/pie, es adecuada hidráulicamente y quedará por encima de medios más pesados como son la arena de filtrado. (Fossen, 2012)

La antracita se caracteriza por generar una mejora considerable en las extracciones de turbidez, esto gracias a que retiene mayor capacidad de sólidos; a su vez mejora los índices de flujo. (Fossen, 2012)

1.2.26.TEREFTALATO DE POLIETILENO

Tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, polyethylene terephtalate) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Algunas compañías manufacturan el PET y otros poliésteres bajo diferentes marcas comerciales, por ejemplo, en los Estados Unidos y el Reino Unido usan los nombres de Mylar y Melinex. (Hayden, K.; Arnott, Jaimys; Ivanova, Elena P., 2013)

Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de poli condensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. (Hayden, K.; Arnott, Jaimys; Ivanova, Elena P., 2013)

Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección, inyección y soplado, soplado de preforma y termo conformado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitos y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con lo que se logra una mayor transparencia. La razón de su transparencia al enfriarse rápidamente consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente y su tamaño no interfiere («scattering» en inglés) con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo con la teoría cuántica. (Hayden, K.; Arnott, Jaimys; Ivanova, Elena P., 2013)

Algunas características:

- Actúa como barrera para los gases, como el CO₂, humedad y el O₂.
- Es transparente y cristalino, aunque admite algunos colorantes.
- Liviano, permite que una botella pese 20 veces menos que su contenido.
- Impermeable.
- Levemente tóxico: recientemente se ha descubierto que las botellas que se usan para embotellar zumos de frutas ácidos liberan algo de antimonio (Sb), aunque por debajo de los límites que admite la OMS (20µg/L)
- Inerte (al contenido).
- Resistente a esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza.
- Alta resistencia química y buenas propiedades térmicas: posee una gran indomabilidad al calor.
- Totalmente reciclable
- Superficie barnizable.
- Estabilidad a la intemperie.
- Alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad que lo hacen muy adecuado para la fabricación de fibras.
- No es biodegradable.

1.3. MARCO LEGAL EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES

Documentos Legales emitidos por el Gobierno Peruano

- Constitución Política del Perú (1993). Artículos 66° y 68°.
- Ley General de Salud: Ley N° 26842. Artículos 96° y 104°.
- Ley General del Ambiente: Ley N° 28611. Artículos 29°, 31°, 32°, 120°, 121° y 122°.
- Estándares de Calidad ambiental (ECA) para agua: Decreto Supremo N° 004-2017 MINAM.
- Estándares de Calidad ambiental (ECA) para agua - Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales.
- Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR domesticas o municipales: Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM. Artículos 1° y 3°.
- Ley Orgánica de Gobiernos Regionales: Ley N° 27867.
- Ley Orgánica de Municipalidades: Ley N° 27972. Artículos 80° y 141°.
- Ley de creación, organización y funciones del MINAM: Decreto Legislativo N° 1013. Artículos 1°, 3°, 6° y 7°.
- Ley de Recursos Hídricos: Ley N° 29338 (2009). Artículos 5°, 9°, 10°, 11°, 25°, 34°, 44°, 45°, 59°, 73°, 75°, 76°, 79°, 80°, 81°, 82°, 83°, 92°, 120°, 121°, 122°, 125°.
- TUPA MINSA y sus órganos desconcentrados: D.S. N° 013-2009-SA.
- Ley General de servicios de saneamiento: Ley N° 26338. Artículos 4°, 8°, 9° y 10°.
- Reglamento de la ley general de servicios de saneamiento: D.S. N° 09-95-PRES. Artículos 17°, 55° y 56°.

Principales instrumentos legales

- Decreto Legislativo N° 1280. Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.

- Decreto Legislativo N° 1284. Decreto Legislativo que crea el Fondo de Inversión Agua Segura.
- Decreto Legislativo N° 1285. Decreto Legislativo que modifica el artículo 79 de la Ley 29338, Ley de Recursos Hídricos y Establece Disposiciones para la Adecuación Progresiva a la Autorización de Vertimientos y a los Instrumentos de Gestión Ambiental.

1.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Absorción atómica: técnica de espectroscopia mediante la cual se pueden hacer determinaciones de la gran mayoría de los elementos de la tabla periódica

Ácidos húmicos: son moléculas complejas orgánicas formadas por la descomposición de materia orgánica. Son factores determinantes en la fertilidad del suelo, porque aumentan la permeabilidad del suelo favoreciendo la absorción de nutrientes a través de las raíces de las plantas.

Adsorción: es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapadas o retenidas en la superficie de una materia.

Aerobio: proceso que se surte en presencia de oxígeno.

Agua residual: vertimientos de líquidos generados por acciones antrópicas de origen doméstico o industrial, que generan impactos negativos en los lugares donde finalmente son dispuestos

Anaerobio: procesos que se desarrollan en ausencia de oxígeno

Análisis de Contornos y Superficies de respuesta: el gráfico de contorno presentado, permite identificar de manera ilustrativa los niveles y rangos óptimos de los factores de estudio, cuya combinación determinan los tratamientos del diseño experimental. De manera complementaria, las superficies de respuesta muestran la combinación óptima de tratamientos en un plano en tercera dimensión.

Arqueo bacterias: organismos simples parecidos a las bacterias; dentro de la clasificación de los seres vivos se incluyen dentro de los procariotas porque carecen de un núcleo bien definido. Su bioquímica difiere, de modo importante, de las otras bacterias, por lo que muchos biólogos las incluyen en un reino aparte. De acuerdo con estas teorías, las arqueobacterias podrían ser los antepasados del grupo de los eucariotas, u organismos con núcleo celular bien definido, mientras que las bacterias comunes se creen, que dieron lugar a las mitocondrias y cloroplastos de las células eucariotas

Asimilabilidad: capacidad de absorción de sustancias o iones en las plantas, como por ejemplo absorción de cinc.

Bandeja: unidad de un tren del humedal artificial en cascada.

Barbasco: planta acuática de la clase de las Dicotyledoneae, de la familia Polygonaceae, del género Polygonum y de la especie Hydropiperoides.

Biomasa: suma total de la materia de los seres vivos, expresado habitualmente en peso por unidad de área o de volumen, siendo de interés para la ecología, como indicador de la actividad o de la producción de energía de un organismo determinado

Bloques: Factores que son controlados en el diseño experimental, pues generalmente se consideran como variables que afectan el comportamiento de la variable respuesta, pero no son el principal objeto de estudio en el diseño.

Carboxilatos: radicales libres de carbono, oxígeno e hidrógeno, provenientes de ácidos; afines con iones metálicos.

Catión metálico: ion metálico cargado positivamente.

Cinc: elemento químico de número atómico 30, metal abundante en la corteza terrestre, generalmente se encuentra en forma natural como sulfato, sulfuro, carbonato o silicato. De color blanco, brillante y blando, se usa desde hace mucho tiempo como materia prima en la elaboración de pilas galvánicas, para formar aleaciones y para procesos de zincado o de recubrimiento electrolítico.

Convección: es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.

Corrida: ensayo.

Cromatografía de gases: es una técnica cromatográfica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interacciona con las moléculas de la muestra su única función es la de transportar la muestra a través de la columna.

Compuestos Orgánicos Volátiles: sustancias a base de carbono e hidrógeno, entre otros elementos, altamente inestables a temperatura ambiente.

Contaminante: sustancia liberada por fenómenos naturales o antropogénicos que causa alteración al o los ecosistemas.

Convención de RAMSAR: acuerdo internacional sobre la conservación y el uso racional de los humedales como hábitat de aves acuáticas.

Diseño experimental completamente Aleatorizado: un diseño completamente aleatorizado, consiste en el análisis y explicación del comportamiento de una variable respuesta (en este caso Concentración y eficiencia en la remoción de Cinc), a través de unos factores de análisis, que pueden ser bloques o factores que hacen parte de tratamientos del experimento.

Estante: entrepaño, tabla horizontal que se coloca dentro de un mueble o directamente en la pared para colocar cosas encima. Mueble con anaqueles o entrepaños, y generalmente sin puertas, que sirve para colocar libros, papeles u otras cosas.

Eubacterias: nombre común de un grupo de organismos procariotas, que no tienen el material genético contenido en un núcleo definido con membrana nuclear, tales como la salmonella, la E. Cole, entre otras.

Fitorremediación: conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o destoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radiactivos, petroderivados, entre

otros, mediante la utilización de plantas con capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener y degradar o transformar dichas sustancias en formas menos impactantes.

Flujo a pistón: patrón de flujo mediante el cual las partículas contaminantes van a disminuir a medida que van atravesando el medio, bajo las condiciones óptimas de operación.

Flujo difusivo: se denomina así al cociente entre la masa total de moléculas de soluto que atraviesan una sección de ducto y el intervalo de tiempo en que lo atraviesa. El flujo difusivo es el resultado de un fenómeno caótico y aleatorio en el que las moléculas van y vienen en todas las direcciones, la definición alude al movimiento neto, en un único sentido, desde donde el soluto está más concentrado hacia donde se halla más diluido.

Flujo Subsuperficial: corriente de fluido por debajo de la superficie.

Flujo Superficial: corriente de fluido por encima de la superficie.

Humedal: "son humedales aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros". Ramsar, Irán, en 1971.

Macrófitas: plantas herbáceas de origen acuático.

Metales pesados: son componentes naturales de la corteza terrestre de alto peso atómico.

Método multivariado de Componentes Principales: los métodos multivariados de datos de componentes principales, utilizado para variables cuantitativas, permiten resumir y presentar las relaciones de manera múltiple en un plano cartesiano. Este plano es construido a partir de la matriz de correlaciones de las variables objeto de estudio, y está conformado por los dos factores que recogen la mayor variabilidad de la

información, es decir los dos factores que representan la mayor parte de los patrones de comportamiento de estas variables.

Matera: recipiente de tamaño relativamente pequeño que alberga especies vegetales, normalmente herbáceas, para su desarrollo o experimentación.

Materia Orgánica: sustancias compuestas por carbono e hidrógeno principalmente.

Nutrientes: sustancias que sirven de alimento a las plantas proporcionándoles los elementos necesarios para su desarrollo.

Prueba de correlación de Pearson: esta prueba permite evaluar relaciones lineales de forma variada, es decir, identifica si existe o no relación entre dos variables, y el sentido de tal relación. A través del coeficiente de correlación, y particularmente del signo de este, se puede distinguir el sentido de la relación entre las dos variables, y con base en la prueba de hipótesis determinar si existe una correlación, se puede evaluar si esta relación es significativa o no estadísticamente.

Quelatos: estructura molecular en la que los iones metálicos se hallan unidos a un compuesto orgánico.

Senescencia foliar: término empleado en botánica. Acción y efecto de envejecer. Etapa final de la vida de un órgano vegetal o de una planta por muerte de sus hojas.

Solubilidad: es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra. Puede expresarse en moles por litro, en gramos por litro, o en porcentaje de soluto.

Tamizado: proceso mediante el cual se pueden separar materiales sólidos de diferente tamaño a través de un tamiz, colador o elemento con agujeros de igual tamaño.

Tratamiento: Combinación de factores de análisis, que permiten distinguir e identificar dentro de la evaluación la combinación o tratamiento óptimo sobre la variable respuesta, en este estudio, el tratamiento corresponde a las distintas concentraciones de Cinc en la entrada del sistema.

1.5. REALIDAD PROBLEMÁTICA

El problema de la contaminación de los recursos hídricos en Perú ha obligado a la búsqueda de alternativas de solución económicamente viables. Para el tratamiento de las aguas residuales, las que se definen como las aguas de composición variada provenientes de las descargas domiciliarias, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas que son inadecuadamente vertidas al río Santa.

Los vertimientos de las aguas residuales a los cuerpos de agua se han convertido en un gran problema no solo en la zona del Callejón de Huaylas sino a nivel de todo el Perú, en la actualidad muchas Provincias, Distritos y centros poblados no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales debido mayormente al elevado costo de construcción.

Se procederá a estudiar, en esta investigación, la remoción del Nitrógeno y Fosforo en un sistema a escala de humedales artificiales de flujo vertical descendente (HAFVD) usando como sustrato la antracita, Tereftalato de polietileno y plantas macrofitas (berros, cola de caballo, achira, papiro). El tratamiento de las aguas residuales se basa en los principios de los sistemas naturales. Dado que los humedales artificiales se acercan a lo que ocurre en la naturaleza, al imitarla, son denominados genéricamente como eco tecnologías. En ellos se aprovechan los componentes del medio ambiente como el suelo, el aire, las plantas y los microorganismos para depurar los contaminantes presentes en las aguas residuales.

La utilización de los humedales artificiales en la depuración de contaminantes, como son el nitrógeno, fósforo la materia orgánica, DBO, sólidos totales, sólidos suspendidos, etc. es uno de los fines de esta biotecnología. Los microorganismos y plantas son la parte principal del funcionamiento de los humedales artificiales, ya que de estos depende la eficiencia en la remoción de los contaminantes: Compuestos nitrogenados, fosforados y también de carbono, los que son biotransformados a productos más simples de degradar y eliminar del sistema.

1.6. FORMULACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuánto es la remoción Nitrógeno y Fosforo en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical empleando la antracita y Tereftalato de polietileno?

1.7. JUSTIFICACIÓN

La contaminación del agua residual es un problema local, regional y mundial; el crecimiento demográfico, la industrialización y la concentración urbana, contribuyen a lo que hoy día es la mayor amenaza para el hombre contemporáneo, afectando las aguas superficiales, subterráneas debido a su inadecuada disposición final.

La remoción del nitrógeno y Fosforo en un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales de flujo vertical, se ejecuta como investigación porque exige la normatividad (MINAM); el cual es la encargada de regir la calidad de los efluentes, según el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, donde aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elemento, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua en sus condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representen riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

La investigación se realiza para reducir el problema de las contaminaciones al cuerpo receptor (río Santa), el cual obliga a la búsqueda de alternativas de solución económicamente viables para el tratamiento de las aguas residuales, así como también poder aplicar esta tecnología en localidades que no cuentan con estos sistemas tratamiento y tienen bajos recursos para implementar modernas plantas de tratamiento de aguas residuales.

Se definen a las Aguas Residuales como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas,

pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. El autor, ha procedido a estudiar, en esta investigación, la remoción de contaminantes como el Fosforo, el proceso de nitrificación-desnitrificación en un sistema a escala de humedales artificiales de flujo vertical descendente (HAFVD).

1.8. OBJETIVOS

1.8.1. OBJETIVO GENERAL

Remover el Nitrógeno y Fosforo de las aguas residuales mediante humedales artificiales de flujo vertical empleando antracita y Tereftalato de polietileno, en la localidad de Toma, Distrito de Tinco, Carhuaz - Ancash.

1.8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la eficiencia en la remoción del Nitrógeno y Fosforo de las tres plantas nativas instaladas en las baterías.
- Determinar la eficiencia de la antracita y Tereftalato de polietileno en la remoción de Nitrógeno y Fosforo en Humedales Artificiales.
- Evaluar la Eficiencia de Humedales Artificiales de Flujo Vertical en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.

1.9. HIPÓTESIS

La eficiencia en la remoción de Fosforo y Nitrógeno de las aguas residuales mediante humedales artificiales de flujo vertical usando la antracita y Tereftalato de polietileno es mayor a 70%.

CAPITULO II

II. MARCO METODOLÓGICO

En esta sección se detalla el periodo, lugar donde se realizó la investigación, los criterios de diseño del Humedal Artificial, la puesta en marcha y operación del sistema, el plan de muestreo, los procedimientos de muestreo y análisis en laboratorio, y los métodos de procesamiento de la información.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

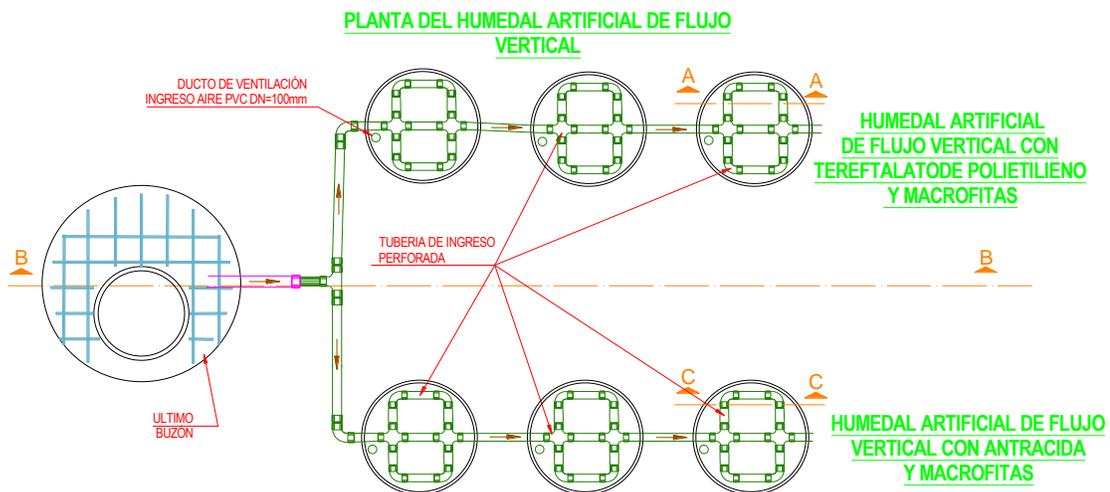
2.1.1. DESCRIPCIÓN POR ETAPAS

➤ PRIMERA ETAPA

- El humedal artificial de flujo vertical se desarrollará a partir de un diseño matemático.
- El sistema de humedades artificiales de flujo vertical descendente constará de 2 baterías con 3 tanques de capacidad (250 litros) adaptados a una red de tubos en PVC que se distribuyen entre si uniformemente un caudal de en toda la superficie.

- El sistema de drenaje consta de una placa perforada en acrílico en la base, esta placa distribuye uniformemente el agua tratada hacia una tolva con pendiente $< 1\%$, el agua recolectada es conducida hacia el efluente.
- Una de las baterías estará constituida por la antracita, arena y plantas macrofitas (Cola de Caballo, Berros) y la otra batería estará constituida por el Tereftalato, arena, piedras y las mismas plantas que se utilizaran en el primer sistema.
- El sistema de ventilación consta de dos tubos en PVC (toberas) unidos a la placa perforada descrita anteriormente que cumplen la función de transferir oxígeno atmosférico al sustrato.
- El sustrato utilizado será: Antracita, Tereftalato y arena de río.
- El agua a tratar se tomará de la localidad Toma provincia de Carhuaz - Ancash, en este sitio se llevará a cabo un programa de muestreo para determinar la remoción de Fosforo y Nitrógeno.

FIGURA 6: DISEÑO DEL PROTOTIPO EN PLANTA



➤ **SEGUNDA ETAPA**

Monitoreo del Sistema – Humedal Artificial de Flujo Vertical:

- A. Análisis de Muestras para los diferentes tipos de sustrato (antracita y Tereftalato)
- B. Monitoreo del Fosfato
- C. Monitoreo del Nitrógeno
- C. Monitoreo Físico-Químicos y Microbiológicos.

2.1.2. ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO

1. Ubicar el área en el que se va a instalar el sistema de humedales artificiales de flujo vertical.

FOTOGRAFÍA 1: TERRENO DISPONIBLE PARA LA INSTALACIÓN DEL HUMEDAL



2. Realizar la limpieza de toda la maleza del terreno y la excavación necesaria para la instalación de los tanques. Ver en la fotografía 2.

FOTOGRAFÍA 2: LIMPIEZA DEL TERRENO



3. Ubicación de los tanques para la instalación del sistema completo de dos baterías con tres tanques cada uno y proseguir con la excavación.

FOTOGRAFÍA 3: UBICACIÓN DE LOS TANQUES



FOTOGRAFÍA 4: EXCAVACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE LOS TANQUES



4. Se procede a la instalación de las tuberías que se conecta al último buzón de la localidad de Toma como se observa en la fotografía 5.

FOTOGRAFÍA 5: INSTALACIÓN DE LAS TUBERÍAS



5. Se instala los tanques uno para cada serie y luego se procede a la instalación de la tubería de ventilación para el sustrato como se observa en la fotografía 6 y 7.

FOTOGRAFÍA 6: INSTALACIÓN DE LOS TANQUES PARA CADA BATERÍA



FOTOGRAFÍA 7: INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA DE VENTILACIÓN PARA EL SUSTRATO



6. Se coloca la grava a todos los tanques de la siguiente forma:

FOTOGRAFÍA 8: GRAVA EN EL TANQUE



FOTOGRAFÍA 9: INSTALACIÓN DE LOS 3 TANQUES POR CADA BATERÍA CON GRAVA INICIAL

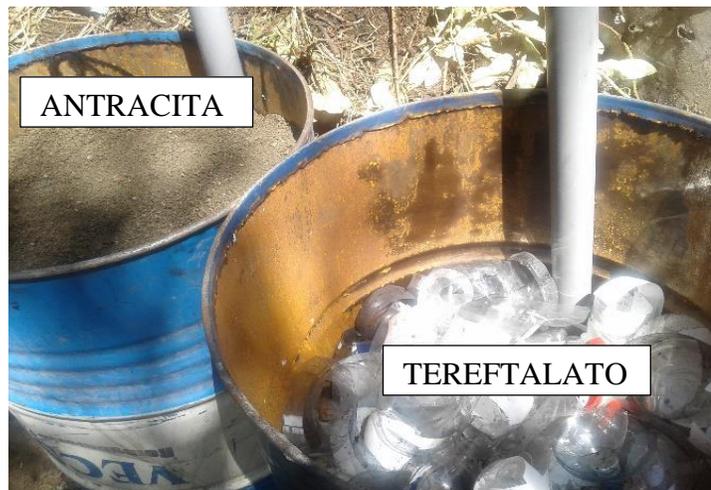


7. Se termina de colocar la grava para luego colocar la antracita y el Tereftalato

FOTOGRAFÍA 10: CILINDRO DE GRAVA EN LA BASE DEL TANQUE



FOTOGRAFÍA 11: SUSTRATO FINAL ANTRACITA Y TEREFTALATO



8. Luego se instala el sistema de drenaje que consta de una placa perforada en acrílico en la base, esta placa distribuye uniformemente el agua tratada hacia una tolva con pendiente $< 1\%$, el agua recolectada es conducida hacia el efluente.

FOTOGRAFÍA 12: PERFORACIÓN DE LA PLACA



FOTOGRAFÍA 13: INSTALACIÓN DE LAS PLACAS PERFORADAS

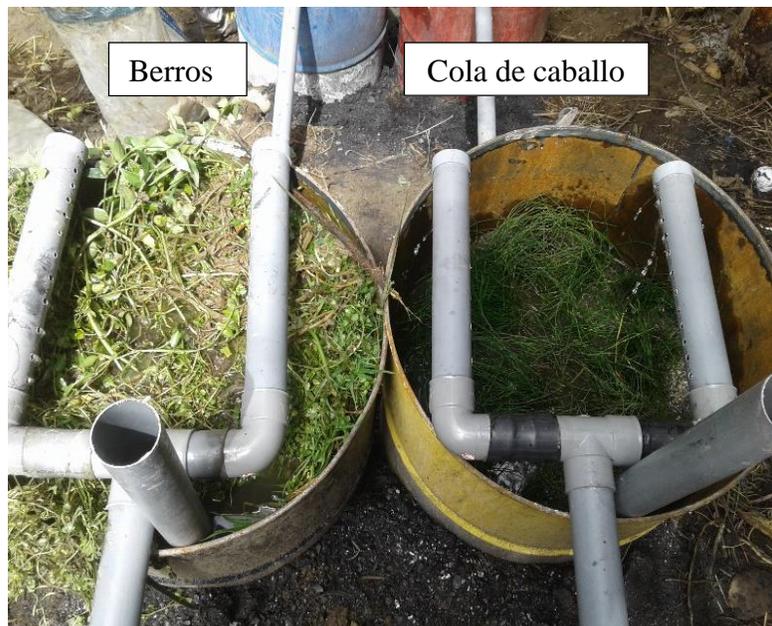


9. Luego se realiza una prueba previa a la puesta en marcha para observar su funcionamiento del sistema de drenaje.

FOTOGRAFÍA 14: PRUEBA PREVIA DEL SISTEMA DE DRENAJE



10. Una de las baterías estará constituida por la antracita, arena y plantas macrofitas (Cola de Caballo, Berros) y la otra batería estará constituida por el Tereftalato, arena, piedras y las mismas plantas que se utilizaran en el primer sistema.



11. Humedal artificial de flujo vertical con el uso del berro.



2.1.3. MEDICIÓN DE FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

En función del tipo de aguas residuales que se sometieron a tratamiento en los HA, los parámetros que se eligieron para evaluar la carga orgánica fueron la DBO, DQO y los nutrientes nitrógeno y fósforo. Las muestras de agua se recolectaron a la salida del colector (correspondiente a la entrada al primer tanque del HAFV) y a la salida de cada uno de los tanques.

FOTOGRAFÍA 15: SE REALIZA EL MUESTREO A LA ENTRADA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL



FOTOGRAFÍA 16: SE REALIZA EL MUESTREO A LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL FE FLUJO VERTICAL



FOTOGRAFÍA 17: MUESTRAS PARA SU RESPECTIVO ANÁLISIS EN EL LABORATORIO



2.2. TIPO DE ESTUDIO

- El presente trabajo de investigación es de nivel “**descriptivo**” porque según (Dankhe, 1986), define que los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis el estudio descriptivo es un tipo de metodología a aplicar para deducir un bien o circunstancia que se esté presentando; se aplica describiendo todas sus dimensiones, en este caso se describe el órgano u objeto a estudiar. Los estudios descriptivos se centran en recolectar datos que describan la situación tal y como es.

Deductivo, Se habla del método deductivo para referirse a una forma específica de pensamiento o razonamiento, que **extrae conclusiones lógicas y válidas a partir de un conjunto dado de premisas o proposiciones**. Es, dicho de otra forma, un modo de pensamiento que va de lo más general (como leyes y principios) a lo más específico (hechos concretos), según este modo de pensamiento, las conclusiones de un razonamiento están dadas de antemano en sus propias premisas, por lo que sólo se requiere de un análisis o desglose de éstas para conocer el resultado. Para poder hacerlo, **las premisas deben darse por verdaderas**, ya que de su validez dependerá que las conclusiones sean o no verdaderas también.

.Prospectivo su objetivo es determinar relaciones entre variables de hechos que posiblemente ocurrirán en el futuro, sin explicar las relaciones causales de sus variables, es decir este estudio posee una característica fundamental, es la de iniciarse con la exposición de una supuesta causa, y luego seguir a través del tiempo a una población determinada hasta determinar o no la aparición del efecto, y

De acuerdo a estos conceptos definidos el tipo de investigación a realizar es descriptivo, deductivo y prospectivo porque describe situaciones y eventos, es decir como son y cómo se comportan determinados fenómenos y cómo se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas.

2.3. VARIABLES

2.3.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- NO_3 (nitrato), NO_2 (nitrito), P (fosforo).

2.3.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Aguas Residuales.
- Macrofitas (plantas acuáticas)
- Sustrato (Antracita, Tereftalato, arena)

2.4. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	UNIDAD DE MEDIDA	MEDICIÓN
- Aguas residuales - Macrofitas (plantas acuáticas).	Nitrógeno Total	mg/l	laboratorio de calidad ambiental FCAM - UNASAM
	Fosforo (P)	mg/l	
- Sustrato (Antracita, Tereftalato)			

2.5. UNIVERSO O POBLACIÓN

2.5.1. POBLACIÓN

Nuestra población será las aguas residuales del Centro Poblado de Toma.

La planta a nivel piloto se instalará metros después del último buzón.

2.5.2. MUESTRA

Tendremos una muestra probabilística simple, porque las muestras serán todos aquellos efluentes tomados en diferentes tiempos, solo se tomará el caudal de 0.5 l/h,

lo necesitado para la capacidad de los tanques a utilizar y poder instalar la planta a nivel piloto.

2.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Los materiales para la implementación de HAFVD son:

- Macrofitas (plantas acuáticas)
- 6 Recipientes de 250 litros aprox.
- Antracita y Tereftalato de polietileno.
- Agregados de diferentes tipos y tamaños
- Tubería para sistema de ventilación.
- Tuberías para sistema de distribución.

Las técnicas que se utilizarán en la investigación serán las siguientes:

2.6.1. TOMA DE INFORMACIÓN

Se aplicará para tomar información de libros, textos, normas y demás fuentes de información sobre humedales que se emplean actualmente y los porcentajes de eficiencia en la reducción de demanda química de oxígeno. La información bibliográfica es la primera fuente que sirve para recoger información primaria, será pertinente mencionar que la investigación bibliográfica será la primera en ejecutarse y se mantendrá en ejecución hasta que se elabore el documento final. En ella se recopilará información de estudios similares realizados como la consulta de diversas fuentes de información secundarias o técnicas de análisis documental propiamente dicha como libros, tesis de grado, páginas web en internet y otros, mediante las técnicas de: fichas bibliográficas, etc.

2.6.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Se utilizará para evaluar las características del efluente del colector; asimismo de la que se obtiene luego de su tratamiento con el humedal para determinar la reducción fosforo y nitrógeno para diferente tipo de sustrato.

2.6.3. EQUIPOS AUDIOVISUALES Y DE CÓMPUTO

Los equipos se utilizarán para tomar fotografías y capturar videos que servirán de complemento a la investigación. De la misma manera ayudarán para el procesamiento de información obtenida en la investigación.

2.6.4. GUÍAS DE ANÁLISIS

Se utiliza como hoja de ruta para disponer de la información que realmente se va a considerar en la investigación sobre el diseño del reactor, la metodología de toma de muestras, etc.

2.7. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

Al final de la investigación y luego de haber desarrollado toda la metodología, se determinará la eficiencia de diferente sustrato para la reducción del fosfato y nitrógeno. Se aplicarán las siguientes técnicas de procesamiento de datos:

2.7.1. ORDENAMIENTO Y CLASIFICACIÓN

Se aplicará para tratar la información cualitativa y cuantitativa del humedal artificial con diferente sustrato, en forma ordenada, de modo de interpretarla y sacarle el máximo provecho.

2.7.2. REGISTRO MANUAL

Se aplicará para digitar la información de las diferentes fuentes sobre el diseño del humedal artificial con diferente tipo de sustrato. Asimismo, servirá en la recopilación de datos de pre-campo, campo y de laboratorio.

2.7.3. PROCESO COMPUTARIZADO CON EXCEL

Para la determinación de diversos cálculos matemáticos y estadísticos de utilidad para la investigación relacionados con el diseño del humedal artificial de flujo vertical y evaluación. Económicamente ayudará a conciliar aspectos de costos de instalación.

2.7.4. ANÁLISIS DOCUMENTAL

Esta técnica permitirá conocer, comprender, analizar e interpretar cada una de las normas, revistas, textos, libros, artículos de Internet y otras fuentes documentales relacionadas con el humedal artificial de flujo vertical y su aplicación en diferentes ámbitos.

2.7.5. CONCILIACIÓN DE DATOS

Los datos de algunos autores serán conciliados con otras fuentes, para que sean tomados en cuenta siempre que se trate de humedales artificiales de flujo vertical u otros procesos similares.

2.7.6. TABULACIÓN DE CUADROS CON CANTIDADES Y PORCENTAJES

La información cuantitativa será ordenada en cuadros que indiquen conceptos, cantidades, porcentajes y otros detalles de utilidad para la investigación y relacionada con reducción de fosfato y nitrógeno.

2.7.7. COMPRESIÓN DE GRÁFICOS

Se utilizarán los gráficos para presentar información y para comprender la evolución de la información entre periodos.

2.8. ÁMBITO DE ESTUDIO

2.8.1. CENTRO POBLADO DE TOMA

Ubicación De Política:

- País : Perú.
- Departamento : Ancash.
- Provincia : Carhuaz
- Distrito : Tinco
- Centro Poblado : Toma

Figura 7: Mapa del Perú



Figura 8: Mapa de Ancash



Figura 9: Mapa de Carhuaz

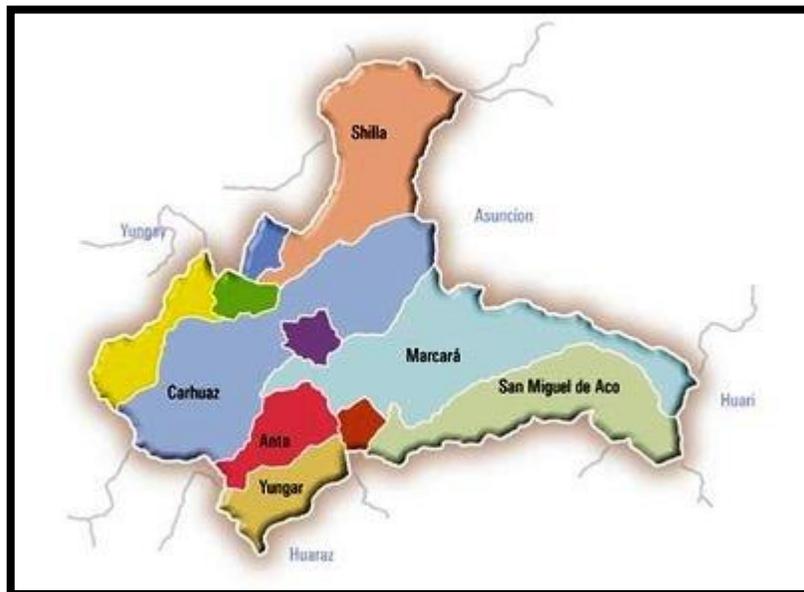
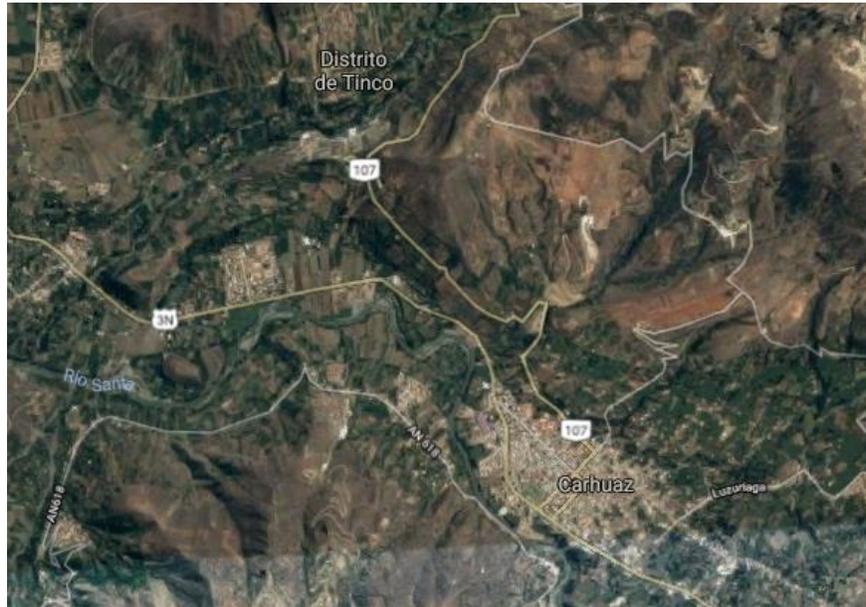


Figura 10: Ubicación del distrito de Tinco



Fuente: Google Maps

Figura 11: Centro Poblado de Toma



Fuente: Google Maps

2.8.2. PERIODO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El sistema de humedal de flujo vertical con diferente tipo de sustrato fue puesto en marcha el 02 de abril del 2017 durante este tiempo estuvo en prueba el sistema ya que se evaluó ciertos parámetros como porcentaje de remoción, tiempo de retención; lo principal fue obtener el mayor porcentaje remoción para obtener mejores resultados.

Luego del tiempo de observación (3 meses) se dio inicio al periodo de evaluación del sistema que fue el día 18 de julio del 2017.

CAPITULO III

III. RESULTADOS

3.1. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN A LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL.

TABLA 12: DATOS OBTENIDOS A LA ENTRADA DEL HUMEDAL CON SUSTRATO DE ANTRACITA

PARAMETRO	ENTRADA DEL HUMEDAL 01	SUSTRATO - ANTRACITA	% DE REMOCION
Color	0.4	0.3	25%
Solidos Totales en suspensión	63.00	10	84%
Sulfuros	0.13	0.019	85%
PH (en laboratorio)	8.10	7.93	
Temperatura (en laboratorio)	18.00	18.01	

Fuente: Elaboración propia

TABLA 13: DATOS OBTENIDOS A LA ENTRADA DEL HUMEDAL CON SUSTRATO DE TEREFTALATO

PARAMETRO	ENTRADA DEL HUMEDAL 02	SUSTRATO - TEREFTALATO	% DE REMOCION
Color	0.4	0.3	25%
Solidos Totales en suspensión	63.00	11	83%
Sulfuros	0.13	0.028	78%
PH (en laboratorio)	8.10	7.32	
Temperatura (en laboratorio)	18.00	6.12	

Fuente: Elaboración propia

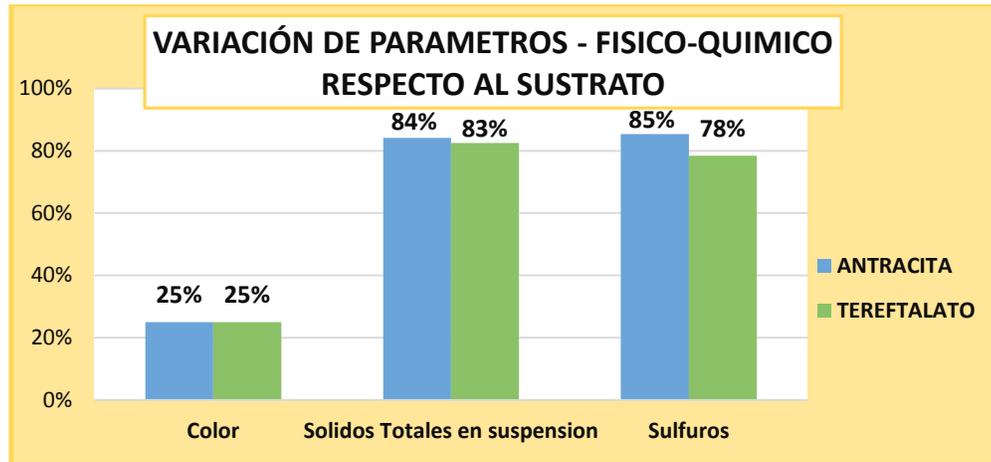
3.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

CUADRO 1: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO

PARAMETROS - FISICO QUIMICO	SUSTRATO	
	ANTRACITA	TEREFTALATO
Color	25%	25%
Solidos Totales en suspensión	84%	83%
Sulfuros	85%	78%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 2: VARIACIÓN DE PARAMETROS - FISICO-QUIMICO RESPECTO AL SUSTRATO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En el siguiente gráfico se puede observar el porcentaje de remoción de los parámetros físico químicos, color, solidos totales en suspensión y sulfuros; esto de acuerdo a cada sustrato antracita y Tereftalato; a partir de este análisis se puede afirmar que para solidos totales en suspensión y sulfuros en el sustrato de antracita y Tereftalato la remoción pasa el 78% dándonos así buenos resultados de remoción, minimizando los valores obtenidos a la entrada del humedal artificial de flujo vertical. En el caso del color para ambos sustratos el porcentaje de remoción de es de 25%; la remoción no es significativa debido a que los valores que se obtuvieron en la entrada están dentro de la normativa correspondiente. Aunque la mayor parte de los sólidos suspendidos y sedimentables son removidos en el tratamiento previo, los humedales filtran y sedimentan los remanentes, complementando esta remoción (Delgadillo, Camacho, Pérez, et al., 2010). Estos procesos que son puramente físicos también eliminan una porción significativa de otros contaminantes presentes en las aguas residuales (DBO, nutrientes, patógenos). La velocidad del agua, muy lenta dentro del relleno, favorece ambos procesos. El tratamiento previo es muy importante para evitar obstrucciones y la rápida colmatación del humedal. (Delgadillo, Camacho, & Serie, 2010)

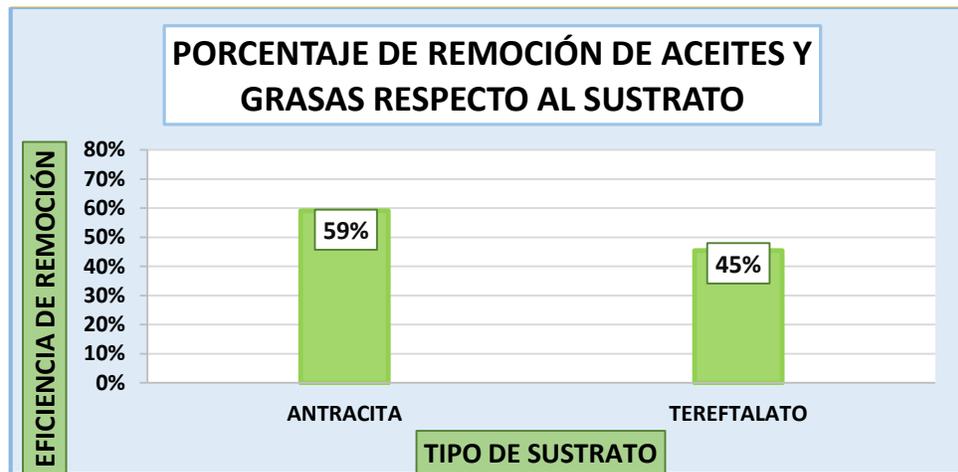
3.2.1. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS

CUADRO 2: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO

SUSTRATO	% DE REMOCION
ANTRACITA	59%
TEREFTALATO	45%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 3: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE ACEITES Y GRASAS RESPECTO AL SUSTRATO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

El porcentaje de remoción del humedal artificial de flujo vertical con el sustrato de la antracita es de un 59 % y del Tereftalato de es un 45%, teniendo ambos un porcentaje de remoción relativamente bueno. Para determinar la eficiencia de remoción de un parámetro se tiene en cuenta el ingreso y la salida, para este caso el dato de ingreso está ligeramente fuera de lo aceptable y en la salida estos datos están por debajo en lo establecido por la norma dando una eficiencia baja para este tipo de investigación, por ello se recomendaría un tratamiento previo. El tratamiento previo es muy importante para evitar obstrucciones y la rápida colmatación del humedal. (Delgadillo, Camacho, & Serie, 2010).

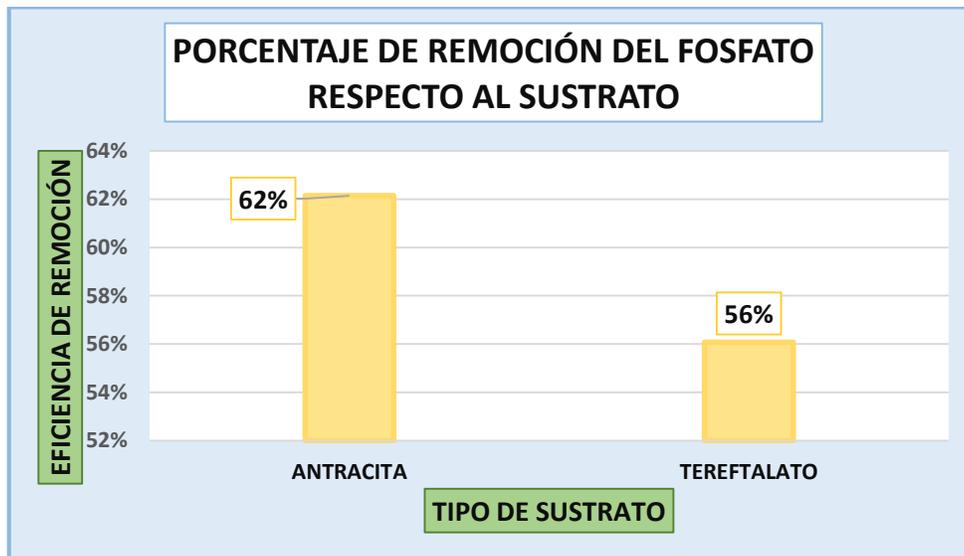
3.2.2. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE FOSFATO

CUADRO 3: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE FOSFATO DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO

SUSTRATO	% DE REMOCION
ANTRACITA	62%
TEREFTALATO	56%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 4: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DEL FOSFATO RESPECTO AL SUSTRATO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

El fósforo en aguas residuales se encuentra principalmente como fosfatos y en formas orgánicas. La contaminación de agua por este elemento tiene su fuente principal en el uso de productos de limpieza con compuestos fosforados como principios activos. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser un nutrimento limitante de la productividad primaria. En concentraciones elevadas por la incorporación de aguas residuales o tratadas, estimula el crecimiento acelerado de macro y microorganismos, provocando eutrofización (APHA 1992). De acuerdo a los resultados tenemos un porcentaje de remoción para la antracita es del 62 % y para el Tereftalato es de un 56%,

dando como resultado un porcentaje eficiencia mayor al 50%. Dando así una eficiencia buena a simple vista. La remoción del fósforo en los humedales artificiales es eficiente en un período corto hasta que el medio se satura. Sin embargo, a largo plazo los procesos son más limitados y se reducen a la asimilación por parte de las plantas y la biomasa (Karpiscak y Foster 2000).

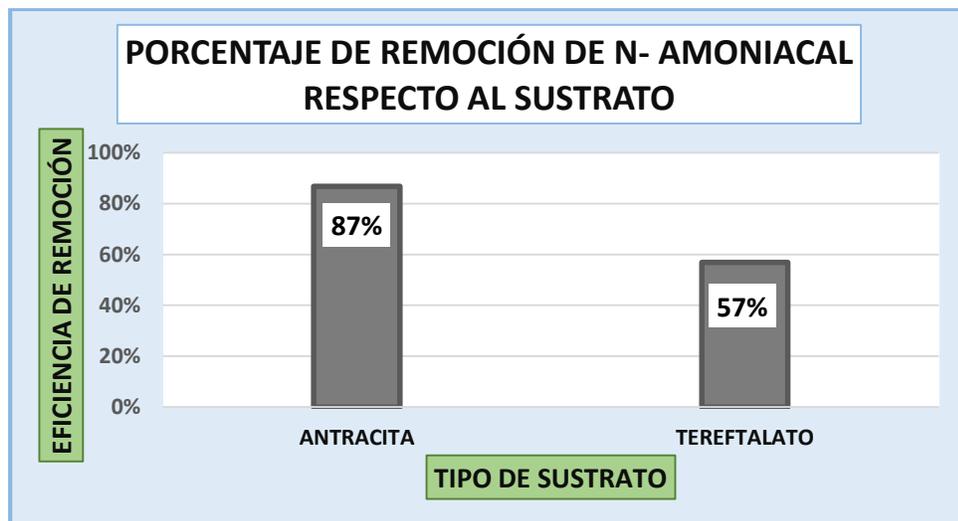
3.2.3. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE N- AMONICAL

CUADRO 4: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE N- AMONICAL DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO

SUSTRATO	% DE REMOCION
ANTRACITA	87%
TEREFTALATO	57%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 5: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE N- AMONICAL RESPECTO AL SUSTRATO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En las aguas residuales urbanas el nitrógeno (N) se encuentra fundamentalmente en forma de nitrógeno orgánico y de amonio. No es habitual encontrar concentraciones significativas de nitratos y nitritos. En los humedales el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno es microbiano, por los procesos de nitrificación seguido de desnitrificación. Sin embargo, también hay otros procesos que contribuyen a la eliminación como la adsorción del amonio sobre el sustrato y la asimilación por las plantas. En los humedales el ciclo del nitrógeno está acoplado al del carbono (materia orgánica), fundamentalmente a través de la desnitrificación (García & Corzo, 2008). Conforme a los resultados para la antracita tenemos un porcentaje de remoción de 87% y para el Tereftalato un 57% siendo este el más bajo. El nitrógeno influente en el humedal artificial se encuentra como nitrógeno orgánico o amoniacal, con escasas cantidades de nitratos. Los procesos de descomposición y mineralización llevados a cabo por los microorganismos, transforman este nitrógeno a nitritos o nitratos (nitrificación) y finalmente a N₂ (desnitrificación). Las proporciones de estos procesos dependen en gran medida de la concentración de oxígeno en el sistema (Lara-Borrego 1999). La presencia de una fuente de carbono en la zona anaerobia, favorece el proceso de desnitrificación, marcando así una diferencia significativa en la remoción de NT, contra aquellos que carecen de la misma; teniendo en cuenta esto el tanque que contiene antracita es muy eficiente para la remoción de nitrógeno amoniacal.

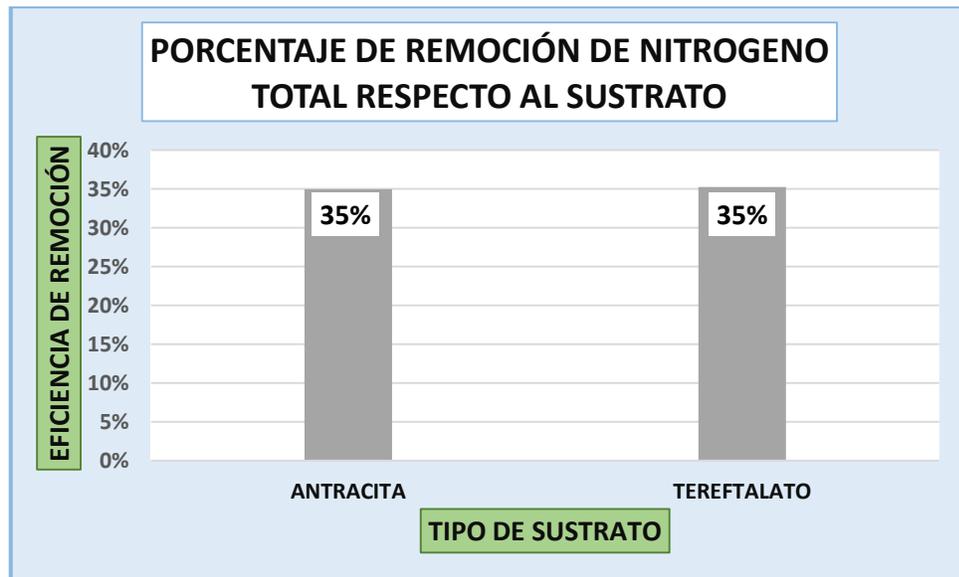
3.2.4. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE NITROGENO TOTAL

CUADRO 5: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITROGENO TOTAL DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO

SUSTRATO	% DE REMOCION
ANTRACITA	35%
TEREFTALATO	35%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 6: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITROGENO TOTAL RESPECTO AL SUSTRATO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Los mecanismos de remoción son debidos a la Amonificación seguido por nitrificación microbiana y desnitrificación; asimilación por parte de la plantas, absorción principal y volatilización del amoniaco; en este caso el nitrógeno total para ambos casos de antracita y Tereftalato resultaron un 35%. Los porcentajes de remoción logrados en los HAFV, son inferiores al valor promedio de 42 %. Es probable que estos resultados más bajos, puedan deberse a la poca profundidad, en comparación con las profundidades generalmente reportadas en la literatura (0.6-0.8 m), así como a la distribución del tamaño de partícula del medio filtrante utilizado, que en conjunto impidieron la formación de zonas anóxicas/anaerobias más amplias, deseables para la desnitrificación. Los HAFV poco profundos (30 - 40 cm) con un medio filtrante fino, tienden a exhibir condiciones más aeróbicas que los de mayor profundidad, debido a que un mayor volumen de agua entra en contacto con la zona de raíces de las macrófitas.

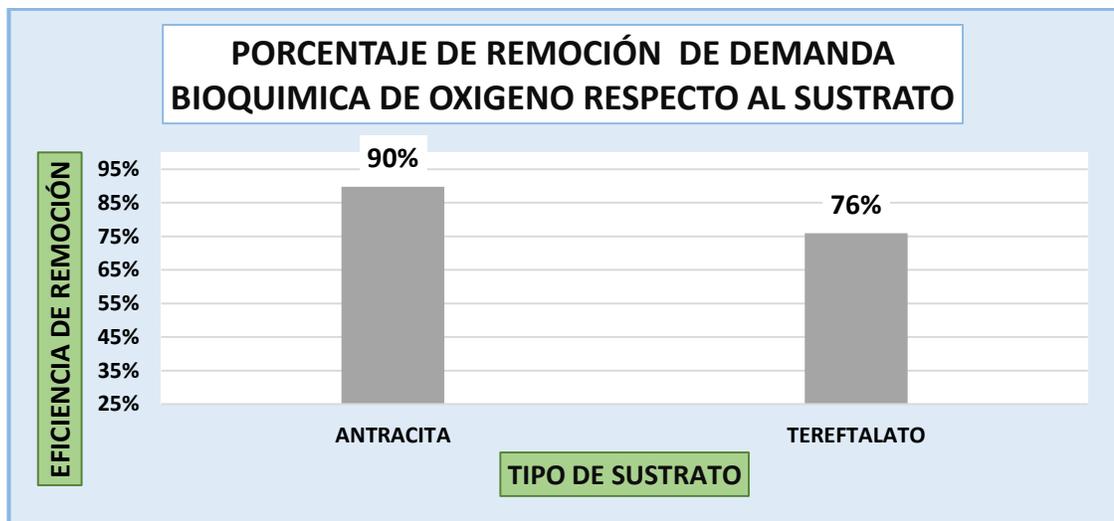
3.2.5. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

CUADRO 6: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO DE ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO

SUSTRATO	% DE REMOCION
ANTRACITA	90%
TEREFTALATO	76%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 7: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO RESPECTO AL SUSTRATO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Acorde a los resultados el tanque que contiene antracita obtiene un porcentaje de remoción del 90% y para el tanque que contiene Tereftalato se tiene un 76%. Al analizar la eficiencia de remoción de DBO5 contra el TRH se puede observar que es necesario entre 3,5 y 4 días para asegurar eficiencias del 90%, valores que son comparables a las experiencias reportadas por la bibliografía (Vymazal and Kröpfelová 2008, Maltby and Barker 2009).

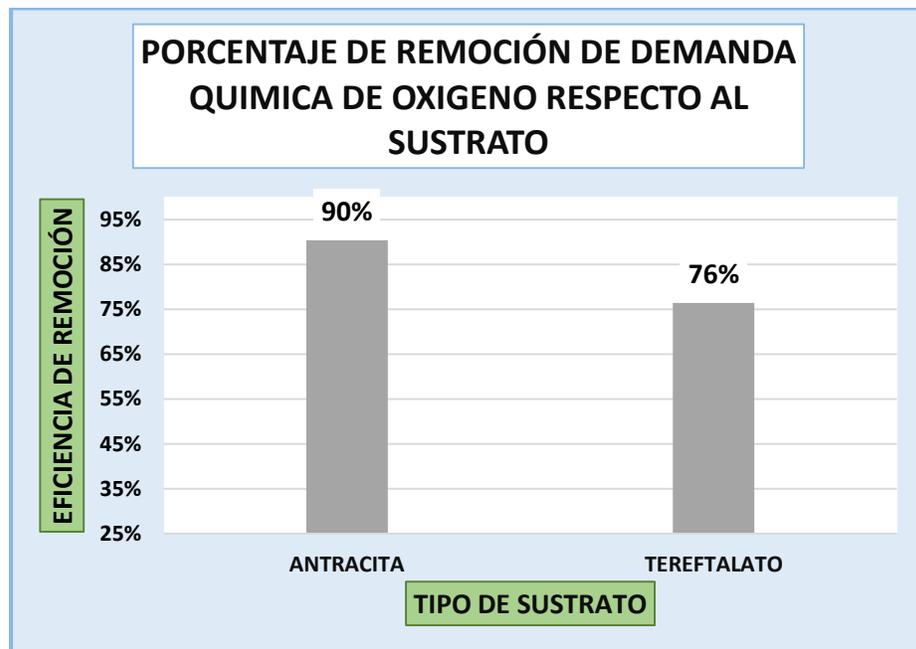
3.2.6. EFICIENCIA Y REMOCIÓN DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

CUADRO 6: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO ACUERDO A TIPO DE SUSTRATO

SUSTRATO	% DE REMOCION
ANTRACITA	90%
TEREFTALATO	76%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 8: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO RESPECTO AL SUSTRATO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Los resultados de la DQO están con un porcentaje de 90% con el uso de la antracita y 76% para el Tereftalato. La disminución en la concentración de DQO presentada en los tanques, probablemente se debe al metabolismo de los macro y microorganismos heterótrofos aerobios y anaerobios, utilizando los compuestos orgánicos del agua para la producción de biomasa, aunque en el sistema también se generan reacciones químicas, principalmente de óxido-reducción (Kadlec *et al*).

3.3. VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS CON RESPECTO A LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL

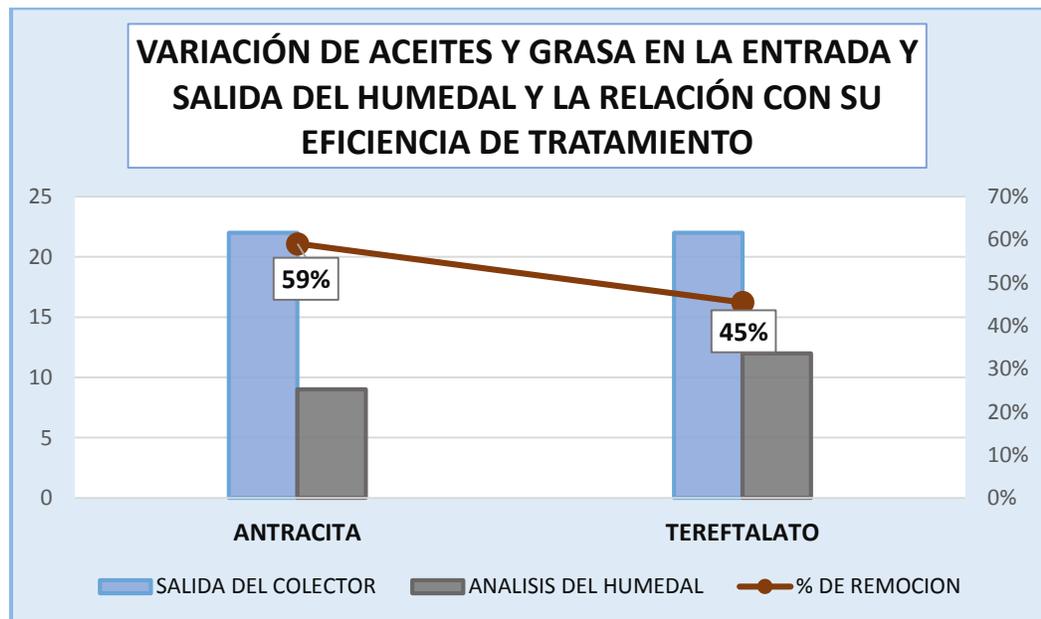
3.3.1. ACEITES Y GRASAS DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

CUADRO 7: ACEITES Y GRASA EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL

SUSTRATO	SALIDA DEL COLECTOR	ANÁLISIS DEL HUMEDAL	% DE REMOCION
	Grasas y Aceites mg/l	Grasas y Aceites mg/l	
ANTRACITA	22	9	59%
TEREFTALATO	22	12	45%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 9: VARIACIÓN DE ACEITES Y GRASA EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

En cuanto a las grasas, aceites se obtuvo una disminución de 22 mg/L a de 9 mg/L en el caso de la antracita y para el Tereftalato la disminución fue de 22 mg/L a 12 mg/L dándonos una remoción por más del 45%. De acuerdo a los ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA (ECA) del DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático E2; para el parámetro de aceites y grasas se debe obtener como máximo 5 mg/l, en este caso se requiere de un tratamiento previo para aceites y grasas ya que los resultados para ambos sustratos sobrepasan lo establecido en la norma.

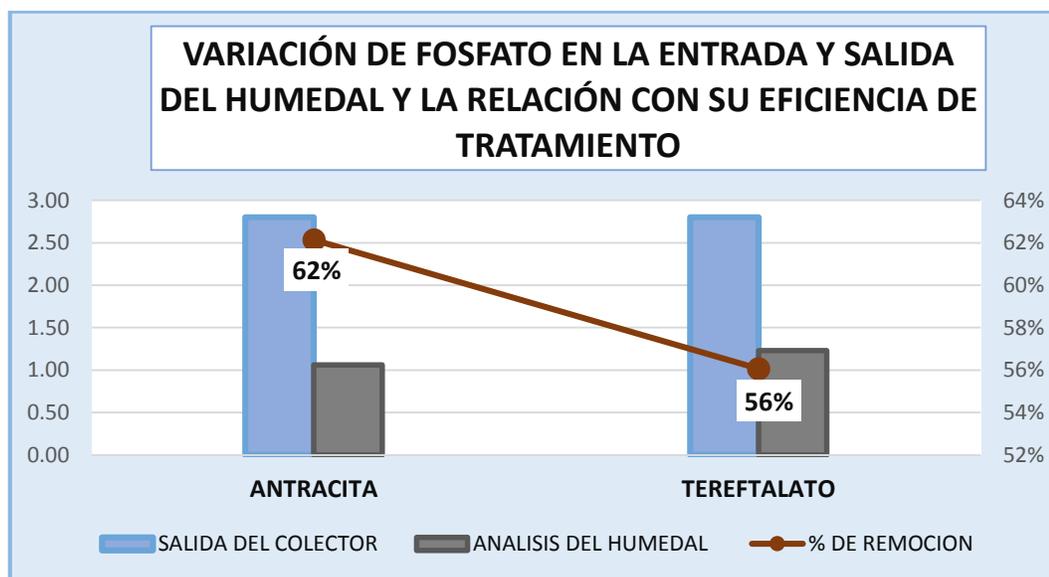
3.3.2. FOSFATO DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

CUADRO 8: FOSFATO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL

SUSTRATO	SALIDA DEL COLECTOR	ANALISIS DEL HUMEDAL	% DE REMOCION
	Fosfato mg/l	Fosfato mg/l	
ANTRACITA	2.80	1.06	62%
TEREFTALATO	2.8	1.23	56%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 10: VARIACIÓN DE FOSFATO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

El fósforo en concentraciones elevadas estimula el crecimiento acelerado de macro y microorganismos, provocando eutrofización; de acuerdo a los resultados a la entrada del sistema se obtuvo 2.8 mg/ de fosfato y a la salida en el caso de la antracita es 1.06 mg/l y para Tereftalato es 1.23 mg/l; dándonos un porcentaje de remoción mayor al 50 % pero en base a los ECA de categoría 4 para ríos los resultados obtenidos no están dentro de lo establecido; los mecanismos de remoción para el fosfato son la absorción por parte del lecho y la asimilación por parte de las plantas; en este caso tanto la antracita como el Tereftalato tienen deficiencias en la remoción del fosfato por falta de hierro y aluminio dentro de sus componentes ya que con una variedad de cationes metálicos como Fe, Al o Ca se realiza la remoción del fósforo.

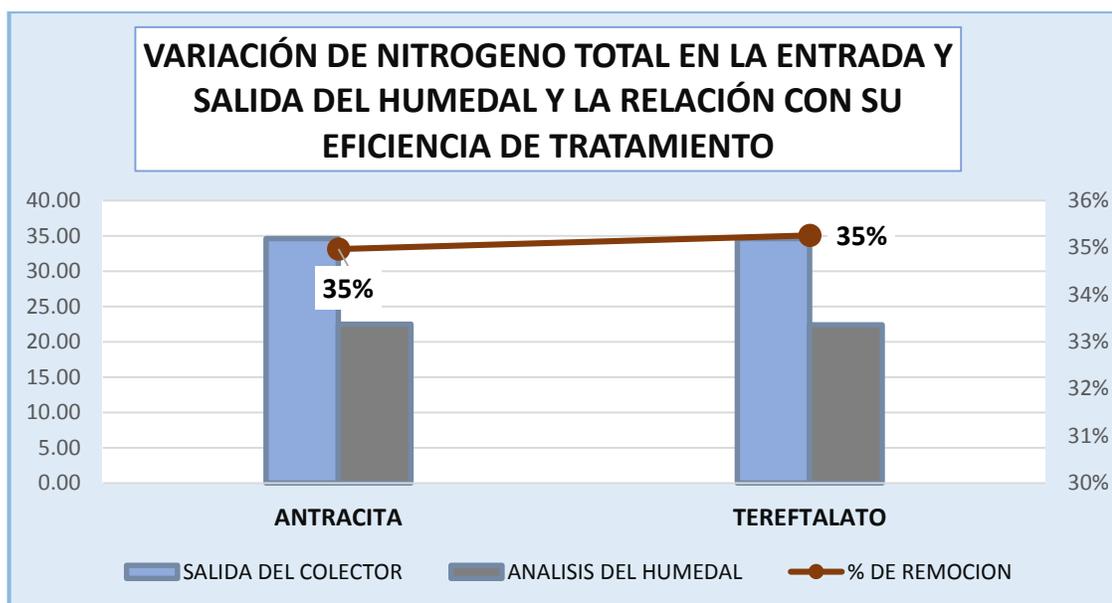
3.3.3. NITROGENO TOTAL DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

CUADRO 9: NITRÓGENO TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL

SUSTRATO	SALIDA DEL COLECTOR	ANÁLISIS DEL HUMEDAL	% DE REMOCION
	Nitrógeno Total	Nitrógeno Total	
ANTRACITA	34.60	22.50	35%
TEREFTALATO	34.60	22.40	35%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 11: VARIACIÓN DE NITROGENO TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

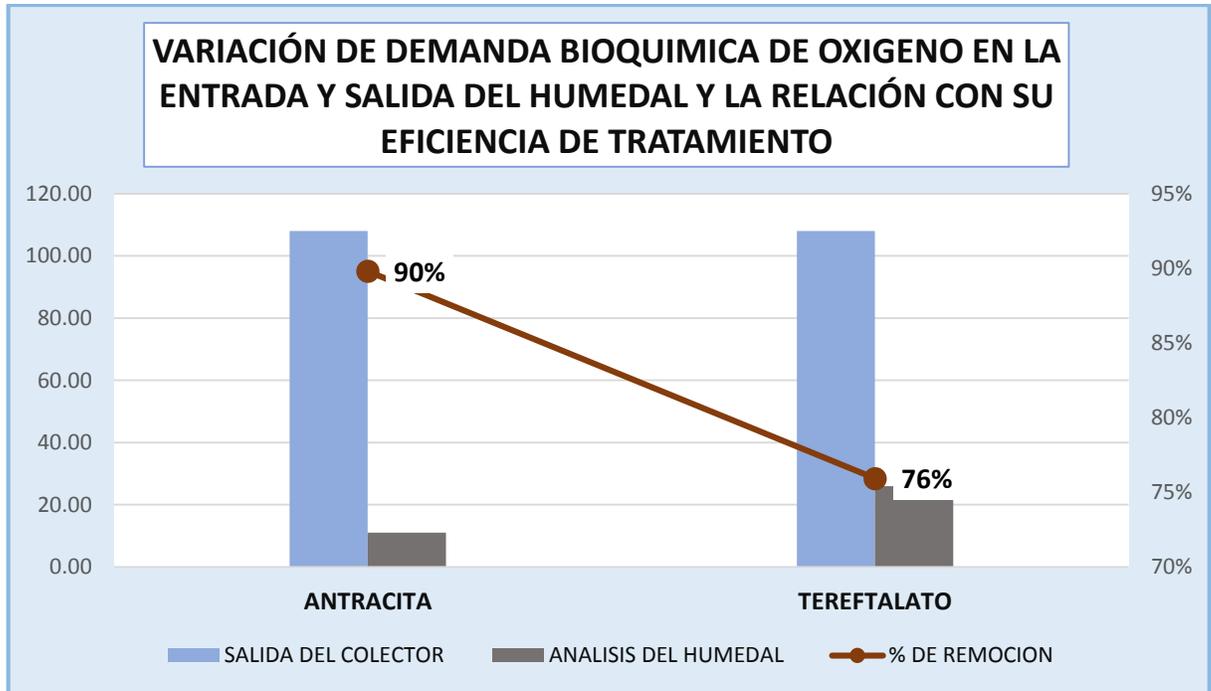
En cuanto al nitrógeno total se obtuvo una disminución de 34.6 mg/L a de 22.5 mg/L en el caso de la antracita y para el Tereftalato la disminución fue de 34.6 mg/L a 22.4 mg/L dándonos una remoción del 35%. De acuerdo a los ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA (ECA) del DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático E2 no está establecido para esta categoría.

**3.3.4. DEMANDA BIOQUÍMICA DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL
CUADRO 10: DEMANDA BIOQUÍMICA TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL**

SUSTRATO	SALIDA DEL COLECTOR	ANÁLISIS DEL HUMEDAL	% DE REMOCION
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Demanda bioquímica de Oxígeno	
ANTRACITA	108.00	11.00	90%
TEREFTALATO	108.00	26.00	76%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 12: VARIACIÓN DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

Debido a los mecanismos de filtración y baja porosidad del medio, los sólidos orgánicos pueden ser filtrados y atrapados en el lecho, permitiendo la biodegradación de la materia orgánica (Kadlec y Wallace, 2009; Sohair et al, 2013). En cuanto a los datos obtenidos tenemos un alto porcentaje de remoción y más resaltado en el sustrato de la antracita con un 90%; pero en base a los ECA de categoría 4 para ríos los resultados obtenidos deben estar dentro de 10 mg/l lo cual no se cumple; lo que se recomendaría un mejor manejo del sustrato.

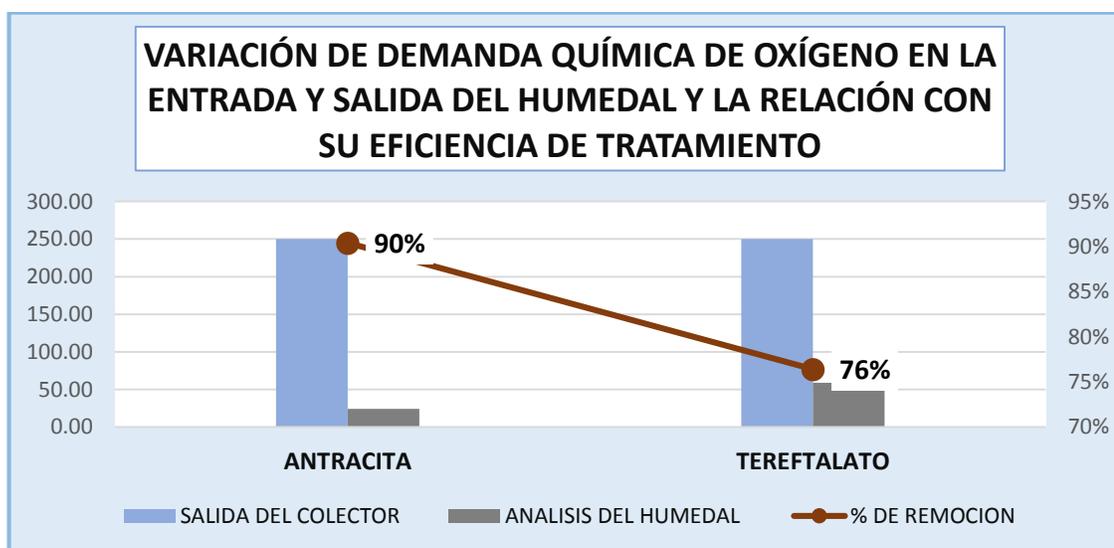
3.3.5. DEMANDA QUIMICA DE LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL

CUADRO 11: DEMANDA BIOQUIMICA TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL

SUSTRATO	SALIDA DEL COLECTOR	ANALISIS DEL HUMEDAL	% DE REMOCION
	Demanda Química de Oxígeno	Demanda Química de Oxígeno	
ANTRACITA	250.00	24.00	90%
TEREFTALATO	250.00	59.00	76%

Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO 13: VARIACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL Y LA RELACIÓN CON SU EFICIENCIA DE TRATAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

La DQO es una medida aproximada del contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable de una muestra de agua. En condiciones naturales, dicha materia orgánica puede ser biodegradada lentamente (oxidada) hasta CO₂ y H₂O mediante un proceso que puede tardar desde unas pocas semanas hasta unos cuantos cientos de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente y de las condiciones de la oxidación. (APHA 1992). Los porcentajes de remoción tanto en la antracita como en el Tereftalato

son relativamente altos con 90% y 76% respectivamente, pero de acuerdo a los ECA de categoría 4 para ríos no está establecido para esta categoría.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

Los resultados obtenidos durante el proceso de investigación se realizaron la contratación de hipótesis, mediante la prueba estadística de distribución T de Student.

3.4.1. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA ACEITES Y GRASAS

Demostrar que los promedios de Aceites y grasas en la prueba de entrada son mayores o iguales que la prueba de salida.

TABLA 14: RESULTADOS DE ACEITES Y GRASAS EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

SUSTRATO	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	% de Remoción
ANTRACITA	22	9	59%
TEREFTALATO	22	12	45%

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 12: DATOS ESTADÍSTICOS DE ACEITES Y GRASAS

u:	22
PROMEDIO:	10.5
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	6.751543034
N:	2
NIVEL DE SIGNIFICANCIA (α):	5%
GRADO DE CONFIANZA	95%

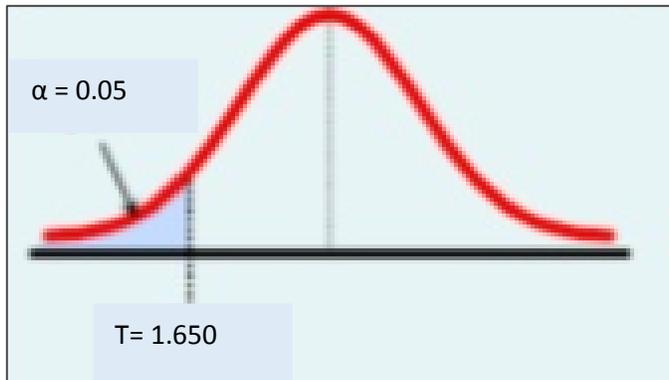
Fuente: Elaboración propia

- Planteamiento de hipótesis
 - $H_0 = u = u_0$
 - $H_1 = u < 22$
- Estadística de prueba T de STUDENT:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

- De acuerdo a la tabla estadística se halla el valor de T o mejor conocido como la Z.

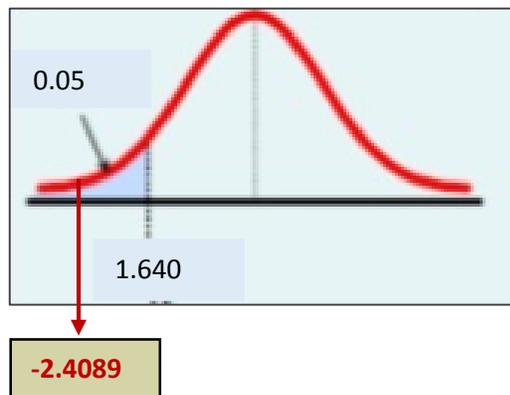
Z=	1.650
----	-------



- Se aplica la formula t de student y el resultado es:

Zc =	-2.408850227
------	--------------

- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



- Decisión:

La hipótesis nula H₀ se Rechaza y la hipótesis alterna es Aceptada H₁; por lo tanto, se demuestra que los promedios de aceites y grasas en la prueba de entrada son mayores

que la prueba de salida (HAFV- mg/L), mediante la Prueba T de Student, a un nivel de SIGNIFICANCÍA del 5% y GRADO DE CONFIANZA AL 95%.

3.4.2. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA FOSFATO

Demostrar que los promedios de fosfato en la prueba de entrada son mayores o iguales que la prueba de salida.

TABLA 15: RESULTADOS DE FOSFATO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

SUSTRATO	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	% de Remoción
ANTRACITA	2.80	1.06	62%
TEREFTALATO	2.8	1.23	56%

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 13: DATOS ESTADÍSTICOS DE FOSFATO

u:	2.8
PROMEDIO:	1.145
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	0.958031837
N:	2
NIVEL DE SIGNIFICANCÍA (α):	5%
GRADO DE CONFIANZA	95%

Fuente: Elaboración propia

- Planteamiento de hipótesis

$$H_0 = u = u_0$$

$$H_1 = u < 2.8$$

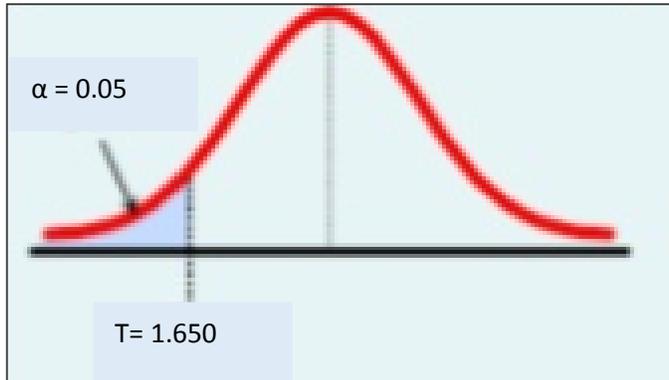
- Estadística de prueba T de STUDENT:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

- De acuerdo a la tabla estadística se halla el valor de T o mejor conocido como la Z.

Z=	1.650
----	-------

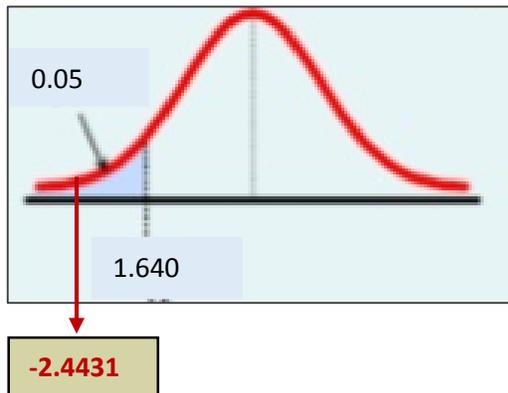
- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



- Se aplica la formula t de student y el resultado es:

Zc =	-2.443053932
------	--------------

- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



- Decisión:

La hipótesis nula H_0 se Rechaza y la hipótesis alterna es Aceptada H_1 ; por lo tanto, se demuestra que los promedios de fosfato en la prueba de entrada son mayores que la prueba de salida (HAFV- mg/L), mediante la Prueba T de Student, a un nivel de SIGNIFICANCÍA del 5% y GRADO DE CONFIANZA AL 95%.

3.4.3. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA N- AMONIACAL

Demostrar que los promedios de N- AMONIACAL en la prueba de entrada son mayores o iguales que la prueba de salida.

TABLA 16: RESULTADOS DE N- AMONIACAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

SUSTRATO	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	% de remoción
ANTRACITA	16.70	2.20	87%
TEREFTALATO	16.70	7.20	57%

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 14: DATOS ESTADÍSTICOS DE N - AMONIACAL

u:	16.7
PROMEDIO:	4.7
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	7.22264956
N:	2
NIVEL DE SIGNIFICANCÍA (α):	5%
GRADO DE CONFIANZA	95%

Fuente: Elaboración propia

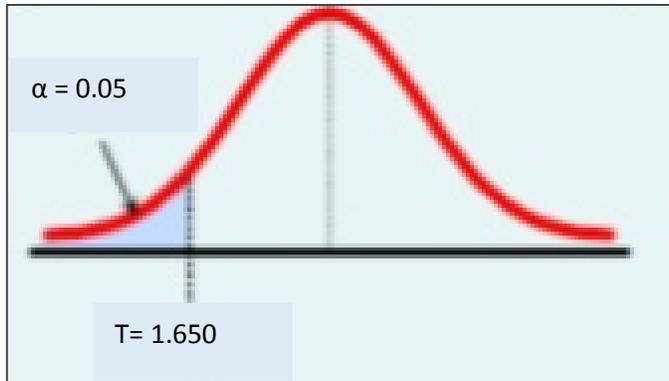
- Planteamiento de hipótesis
 $H_0 = u = u_0$
 $H_1 = u < 16.7$
- Estadística de prueba T de STUDENT:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

- De acuerdo a la tabla estadística se halla el valor de T o mejor conocido como la Z.

Z=	1.650
----	-------

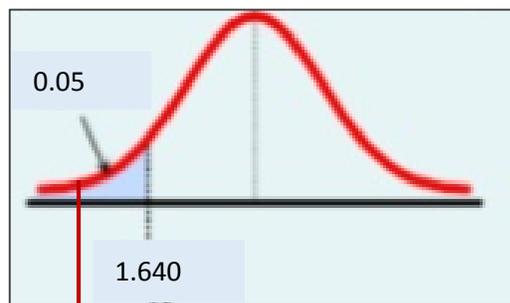
- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



- Se aplica la formula t de student y el resultado es:

$Z_c =$	-2.349631199
---------	--------------

- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



-2.3496

- Decisión:

La hipótesis nula H_0 se Rechaza y la hipótesis alterna es Aceptada H_1 ; por lo tanto, se demuestra que los promedios de N-Amoniaco en la prueba de entrada son mayores que la prueba de salida (HAFV- mg/L), mediante la Prueba T de Student, a un nivel de SIGNIFICANCIA del 5% y GRADO DE CONFIANZA AL 95%.

3.4.4. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA NITROGENO TOTAL

Demostrar que los promedios de Nitrógeno Total en la prueba de entrada son mayores o iguales que la prueba de salida.

TABLA 17: RESULTADOS DE NITRÓGENO TOTAL EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

SUSTRATO	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	% de remoción
ANTRACITA	34.60	22.50	35%
TEREFTALATO	34.60	22.40	35%

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 15: DATOS ESTADÍSTICOS DE NITRÓGENO TOTAL

u:	34.6
PROMEDIO:	22.45
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	7.014924566
N:	2
NIVEL DE SIGNIFICANCÍA (α):	5%
GRADO DE CONFIANZA	95%

Fuente: Elaboración propia

- Planteamiento de hipótesis

$$H_0 = u = u_0$$

$$H_1 = u < 16.7$$

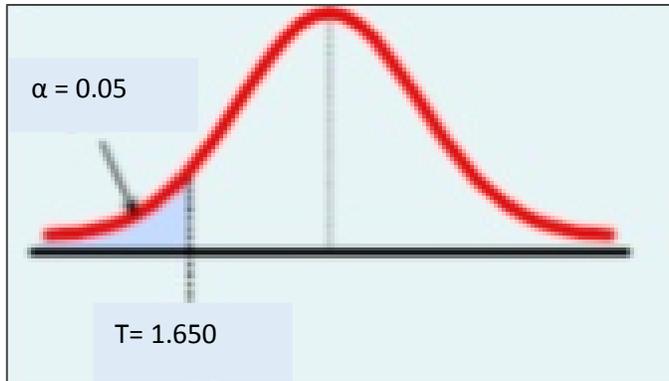
- Estadística de prueba T de STUDENT:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

- De acuerdo a la tabla estadística se halla el valor de T o mejor conocido como la Z.

Z=	1.650
----	-------

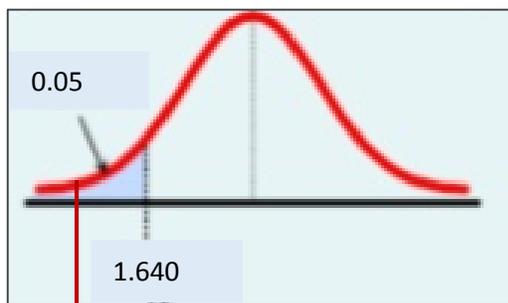
- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



- Se aplica la formula t de student y el resultado es:

$Z_c =$	-2.449448262
---------	--------------

- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



-2.4494

- Decisión:

La hipótesis nula H_0 se Rechaza y la hipótesis alterna es Aceptada H_1 ; por lo tanto, se demuestra que los promedios de Nitrógeno Total en la prueba de entrada son mayores que la prueba de salida (HAFV- mg/L), mediante la Prueba T de Student, a un nivel de SIGNIFICANCÍA del 5% y GRADO DE CONFIANZA AL 95%.

3.4.5. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Demostrar que los promedios de demanda bioquímica de oxígeno en la prueba de entrada son mayores o iguales que la prueba de salida.

TABLA 18: RESULTADOS DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

SUSTRATO	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	% de remoción
ANTRACITA	108.00	11.00	90%
TEREFTALATO	108.00	26.00	76%

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 16: DATOS ESTADÍSTICOS DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

u:	108
PROMEDIO:	18.5
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	52.03444372
N:	2
NIVEL DE SIGNIFICANCÍA (α):	5%
GRADO DE CONFIANZA	95%

Fuente: Elaboración propia

- Planteamiento de hipótesis

$$H_0 = u = u_0$$

$$H_1 = u < 108$$

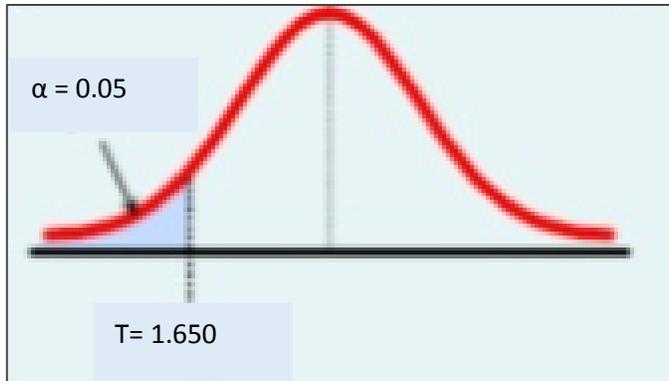
- Estadística de prueba T de STUDENT:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

- De acuerdo a la tabla estadística se halla el valor de T o mejor conocido como la Z.

Z=	1.650
----	-------

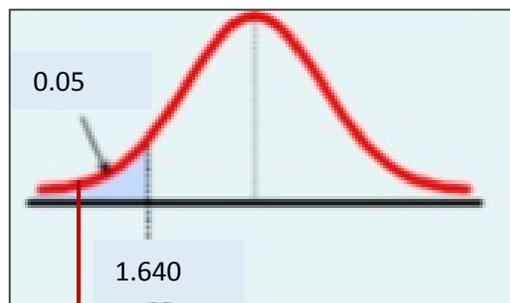
- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



- Se aplica la formula t de student y el resultado es:

Zc =	-2.432467896
------	--------------

- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



-2.4325

- Decisión:

La hipótesis nula H_0 se Rechaza y la hipótesis alterna es Aceptada H_1 ; por lo tanto, se demuestra que los promedios de demanda bioquímica de oxígeno en la prueba de entrada son mayores que la prueba de salida (HAFV- mg/L), mediante la Prueba T de Student, a un nivel de SIGNIFICANCÍA del 5% y GRADO DE CONFIANZA AL 95%.

3.4.6. CONTRASTACION DE HIPOTESIS PARA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Demostrar que los promedios de demanda bioquímica de oxígeno en la prueba de entrada son mayores o iguales que la prueba de salida.

TABLA 19: RESULTADOS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN LA ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

SUSTRATO	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	% de remoción
ANTRACITA	250.00	24.00	90%
TEREFTALATO	250.00	59.00	76%

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 17: DATOS ESTADÍSTICOS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

u:	250
PROMEDIO:	41.5
DESVIACIÓN ESTÁNDAR:	121.2225914
N:	2
NIVEL DE SIGNIFICANCIA (α):	5%
GRADO DE CONFIANZA	95%

Fuente: Elaboración propia

- Planteamiento de hipótesis

$$H_0 = u = u_0$$

$$H_1 = u < 250$$

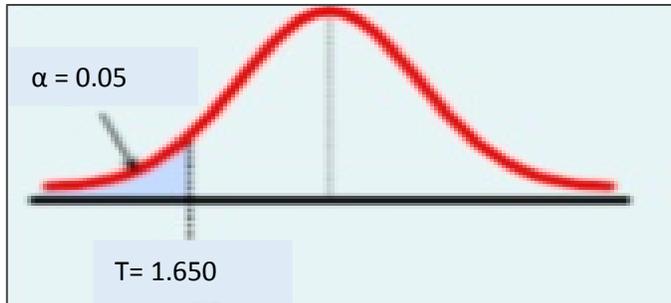
- Estadística de prueba T de STUDENT:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

- De acuerdo a la tabla estadística se halla el valor de T o mejor conocido como la Z.

Z=	1.650
----	-------

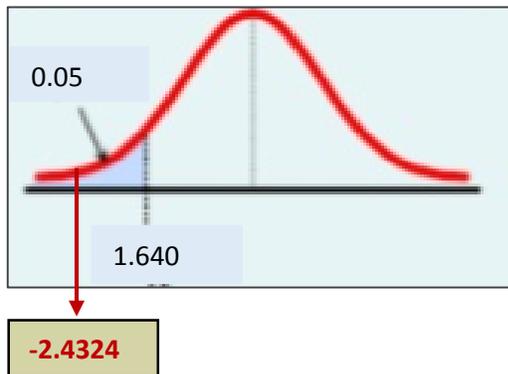
- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



- Se aplica la formula t de student y el resultado es:

$Z_c =$	-2.432413994
---------	--------------

- Se ubica el nuevo resultado de la t de student:



- Decisión:

La hipótesis nula H_0 se Rechaza y la hipótesis alterna es Aceptada H_1 ; por lo tanto, se demuestra que los promedios de demanda química de oxígeno en la prueba de entrada son mayores que la prueba de salida (HAFV- mg/L), mediante la Prueba T de Student, a un nivel de SIGNIFICANCÍA del 5% y GRADO DE CONFIANZA AL 95%.

CAPITULO IV

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En términos globales, la remoción de la materia orgánica en la antracita es mayor con un 90%, así mismo para el Tereftalato se tiene un porcentaje de remoción de 76%, dando una eficiencia alta de remoción; probablemente como producto de la descomposición de la misma por las biopelícula microbianas formadas sobre el tezontle y por la presencia de las dos especies de plantas instaladas en este módulo. Los procesos de remoción de materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial vertical son muy efectivos, siempre y cuando se mantengan condiciones óptimas como el tiempo de retención hidráulica, de modo que se puedan llevar a cabo la remoción de contaminantes mediante procesos físicos, químicos y biológicos. El enfoque en el tratamiento del agua residual doméstica por los humedales construidos es optimizar el contacto de los microorganismos con el sustrato y el agua residual doméstica, siendo el objetivo final la bioconversión de la materia orgánica a dióxido de carbono, biomasa y agua (Otálora, 2011).

La remoción de DQO y DBO5 depende de la combinación entre mecanismos físicos y microbiológicos. Debido a los mecanismos de filtración y baja porosidad del medio, los sólidos orgánicos pueden ser filtrados y atrapados en el lecho, permitiendo la biodegradación de la materia orgánica (Kadlec y Wallace, 2009; Sohair et al, 2013).

Con respecto al fósforo total, los resultados indican una relativa baja eficiencia del sistema con mayor al 50 % y menor al 62%, independientemente de la temporada de monitoreo. La remoción de fósforo en la mayoría de los sistemas de humedales artificiales no es muy eficaz debido a las pocas oportunidades de contacto entre el agua residual y el terreno. La adición de arcilla expandida y de óxidos de hierro y aluminio al sustrato puede ser prometedora para la eliminación más efectiva de fósforo. Algunos sistemas en Europa usan arena en lugar de grava para aumentar la capacidad de retención del fósforo, pero este medio requiere instalaciones muy grandes, debido a la reducida conductividad hidráulica de la arena comparada con la grava (Lara-Borrego 1999). Esto debido a que los procesos de eliminación del fósforo involucran la reacción de ese elemento con una variedad de cationes metálicos como Fe, Al o Ca formando sólidos amorfos como apatita ($\text{Ca}_5(\text{Cl}, \text{F})(\text{PO}_4)_3$), hidroxiapatita ($\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$) entre otros. Además de estas reacciones, el P puede coprecipitar con otros minerales como hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) o calcita (CaCO_3) (Mariñelarena, 2010). El fósforo puede ser absorbido por las plantas en diferentes formas iónicas, el cual se integrará al metabolismo principalmente en el proceso de fotosíntesis, razón por la cual disminuye su concentración en el agua a su paso por los humedales. Además, puede ser aprovechado por los microorganismos o fijado en el sustrato. Sin embargo, la cantidad de fósforo en el efluente es prácticamente el mismo que en el influente. En consecuencia, la cantidad de fósforo asimilado o fijado en el sustrato es pequeña en relación a la aportada por el agua residual. Estos resultados sugieren que los humedales, bajo las condiciones experimentales de este trabajo, constituyeron un método relativamente efectivo para la eliminación de fósforo. De acuerdo con Korkusuz *et al.* (2004), esta situación podría mejorar si se utilizara grava rica en hierro y aluminio o tratamientos alternativos de eliminación de fósforo.

Por otro lado, el sistema de tratamiento, para las condiciones de este trabajo, es capaz de remover un porcentaje alto de nitrógeno amoniacal, aunque también se encontraron otras especies nitrogenadas como nitratos y nitritos. Esto sugiere condiciones ambientales variables en el sistema, causadas por el efecto de dilución o concentración de los componentes en el agua residual y las posibles variaciones en la concentración de oxígeno en el sistema. También es posible aseverar que en los diferentes módulos se

llevan a cabo los dos procesos de eliminación de nitrógeno: la asimilación o la nitrificación–desnitrificación, lo cual indica el papel tan importante que desempeñan las plantas y los microorganismos en el sistema de depuración.

En cuanto al nitrógeno total se obtuvo una disminución de 34.6 mg/L a de 22.5 mg/L en el caso de la antracita y para el Tereftalato la disminución fue de 34.6 mg/L a 22.4 mg/L dándonos una remoción del 35%. Es probable que estos resultados más bajos, puedan deberse a la poca profundidad, en comparación con las profundidades generalmente reportadas en la literatura (0.6-0.8 m), así como a la distribución del tamaño de partícula del medio filtrante utilizado, que en conjunto impidieron la formación de zonas anóxicas/anaerobias más amplias, deseables para la desnitrificación. Los HAFV poco profundos (30 - 40 cm) con un medio filtrante fino, tienden a exhibir condiciones más aeróbicas que los de mayor profundidad, debido a que un mayor volumen de agua entra en contacto con la zona de raíces de las macrófitas.

CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.CONCLUSIONES

- Los humedales artificiales son capaces de eliminar entre un 60 y 80% del nitrógeno total presente, lo que convierte este tipo de sistemas en una tecnología alternativa y eficiente para el tratamiento de diversos tipos de efluentes. Sin embargo, el éxito del tratamiento se limita al tipo de configuración aplicada, a la hidráulica del sistema, a las especies macrófitas empleadas, a las características fisicoquímicas del influente, a las condiciones climáticas y a la incidencia en los procesos microbianos involucrados en el tratamiento.

- Se concluye que el humedal artificial de flujo vertical con el sustrato de antracita, ha obtenido resultados favorables con respecto a la remoción de contaminantes, con relación a los parámetros de:
 - DBO alcanzado una eficiencia de 90 % para el humedal artificial de flujo vertical en un periodo de 3 meses.
 - DQO se obtuvo valores de 90% para el humedal artificial de flujo vertical en un periodo de 3 meses.
 - Solidos totales en suspensión alcanza una eficiencia de 84% para el humedal artificial de flujo vertical en un periodo de 3 meses.

- Nitrógeno total obtuvo una eficiencia de 35% en el reactor DHS de primera generación dentro de un periodo de 3 meses.
 - N- Amoniacal total obtuvo una eficiencia de 87% en el reactor DHS de primera generación dentro de un periodo de 3 meses.
 - Fosfato obtuvo una eficiencia de 62% en el reactor DHS de primera generación dentro de un periodo de 3 meses.
- Para el humedal artificial de flujo vertical con el sustrato de Tereftalato, ha obtenido resultados favorables con respecto a la remoción de contaminantes, con relación a los parámetros de:
- DBO alcanzado una eficiencia de 76% para el humedal artificial de flujo vertical en un periodo de 3 meses.
 - DQO se obtuvo valores de 76% para el humedal artificial de flujo vertical en un periodo de 3 meses.
 - Solidos totales en suspensión alcanza una eficiencia de 83% para el humedal artificial de flujo vertical en un periodo de 3 meses.
 - Nitrógeno total obtuvo una eficiencia de 35% en el reactor DHS de primera generación dentro de un periodo de 3 meses.
 - N- Amoniacal total obtuvo una eficiencia de 87% en el reactor DHS de primera generación dentro de un periodo de 3 meses.
 - Fosfato obtuvo una eficiencia de 62% en el reactor DHS de primera generación dentro de un periodo de 3 meses.
- Los porcentajes de remoción logrados en los HAFV de nitrógeno total, son inferiores al valor promedio de 42 %. Es probable que estos resultados más bajos, puedan deberse a la poca profundidad, en comparación con las profundidades generalmente reportadas en la literatura (0.6-0.8 m), así como a la distribución del tamaño de partícula del medio filtrante utilizado, que en conjunto impidieron la formación de zonas anóxicas/anaerobias más amplias, deseables para la desnitrificación.
- Las transformaciones del nitrógeno que predominan dependen sobre todo del tipo de humedal, como puede ser de flujo horizontal o vertical. En los humedales de flujo

horizontal predominan las condiciones anóxicas/anaerobias debido a la saturación permanente del medio, por lo que proporcionan condiciones propicias para la desnitrificación si hay presencia de materia orgánica. En contraste, en los humedales de flujo vertical predominan las condiciones aerobias, favorables para la nitrificación, debido a que la alimentación intermitente facilita la difusión del oxígeno en el lecho. Por lo tanto, se requiere de la combinación de diferentes tipos de humedales instalados en serie, conocidos como humedales híbridos, para promover la remoción de N total.

- En base a los ECA de categoría 4 para ríos los resultados obtenidos no están dentro de lo establecido; los mecanismos de remoción para el fosfato son la absorción por parte del lecho y la asimilación por parte de las plantas; en este caso tanto la antracita como el Tereftalato tienen deficiencias en la remoción del fosfato por falta de hierro de cationes metálicos como Fe, Al o Ca. El fósforo en concentraciones elevadas estimula el crecimiento acelerado de macro y microorganismos, provocando eutrofización.
- Al analizar la eficiencia de remoción de DBO5 contra el TRH se puede observar que es necesario entre 3,5 y 4 días para asegurar eficiencias del 90%, cuando esta baja se debe a la acumulación de aceites y grasas en la parte superior del humedal impidiendo así el pase de la luz y afectando el proceso natural de la planta.
- De los resultados obtenidos se puede ver la importancia de considerar el funcionamiento hidráulico de un reactor a la hora de valorar su eficiencia en la remoción de contaminantes, y que para obtener resultados similares en escala real, de manera posterior, se debe realizar un correcto diseño hidráulico que considere estructuras de entrada, salida, relaciones largo/ancho, velocidades aparentes de flujo y otros, ya que como se observó el grado de dispersión del flujo incide en los resultados biológicos que puedan obtenerse.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para remoción adecuado de la materia orgánica se requiere un sustrato de baja porosidad por lo que se recomendaría compactar más ambos sustratos; en caso del Tereftalato en el cual se usaron botellas de plástico sería recomendable reducir el tamaño para q se pueda compactar y mejorar la remoción de la DBO.
- En las pruebas de DQO se acelera artificialmente la biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados, que tienen por objeto garantizar la reproducibilidad y comparabilidad de las mediciones; sería recomendable usar oxidantes químicos para acelerar el proceso y estar dentro de lo establecido por la norma.
- Para mejorar el rendimiento del humedal es mejor instalar un tratamiento previo para aceites y grasas y sólidos para que luego no sature e impida el pase de la luz lo cual dificulta el proceso de remoción de los parámetros como DBO y DQO.
- Para que se puedan llevar a cabo los procesos de desnitrificación y eliminar nitrógeno total de manera considerable, se recomienda utilizar sistemas híbridos, es decir combinar humedales de flujo sub superficial vertical y humedales de flujo sub superficial horizontal, con el fin de remover nitrógeno total.
- A la hora de realizar los análisis de laboratorio es muy importante la preservación adecuada de las muestras, así como la correcta aplicación de los métodos de ensayo.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 832-F-99-063, E. (1999). *Desinfección con ozono*. Washington, D.C.
- Alaerts. (1995). *COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL*.
- Alberto Araujo, D'Souza. (1986). *Purification, properties and factors affecting the activity of Trichoderma viride cellulase*.
- BRIX, H. (1997). *Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? Water*.
- C., D. (1995). *Optimal Nutrient Removal. Water Enviroment & Technology*.
- CACERES, E. W. (1994). *PROYECTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS PARA REUSO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA* . Monterrey, México.
- CEPIS/OPS-OMS. (2002.).
- Cervantes-Carrillo F., Pérez J. y Gómez J. (2000). *Avances en la Eliminación Biológica del Nitrógeno de las Aguas Residuales*.
- CHAFLOQUE, L. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, Vol. 15, N° 17, 85-96.
- Charpentier, J. (2014). *Tratamiento de aguasresiduales con lodos activados*. España.
- CRITES, Ron y TCHOBANOGLIOUS, Geroge. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogotá, Colombia.
- DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. (2010). *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. Lima, Perú.

- EPA. (2000). *Environmental Protec Agency, Guiding Principles for Constructed Treatment*.
- *estrucplan*. (15 de julio de 20181). Obtenido de estrucplan:
http://www.estrucplan.com.ar/contenidos/EfluLiq/filtros_biologicos_01.asp
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. En *Estudio FAO Riego y Drenaje 56*. roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA.
- Fossen, H. (2012). *CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de STORE NORSKE LEKSIKON:
<http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/120PetrolGas.htm>
- GARCÍA BOTERO, T. (2005). *Diseño, construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo subsuperficial*.
- Gómez, R. (s.f.). *Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales*. 2008.
- Guido. (2006). *Estudio de los potenciales de óxido-reducción en reactores biológicos que simulan un humedal artificial*.
- H. Brix & C.Aarias, H. B. (2008). *WasterWater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow*. En. L. K. Jan V Ymazal.
- Hayden, K.; Arnott, Jaimys; Ivanova, Elena P. (MARZO de 2013). *worldcat*. Obtenido de «Plastic degradation and its environmental implications with special reference»: <https://marinedebris.openchannels.org/sites/default/files/literature/Plastic%20Degradation%20and%20Its%20Environmental%20Implications%20with%20Special%20Reference%20to%20Poly%28ethylene%20terephthalate%29.pdf>
- Hulshoff y Lettinga. (1986). *Anaerobic digestion of ice-cream wastewaters using the UASB process*.
- JHONATAN CABALLERO PELUFFO Y REYNALDO OSORIO FERNÁNDEZ. (2016). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO RHIZOPHORA MANGLE (MANGLE ROJO) PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL*. CARTAGENA DE INDIAS.
- Jiménez. (2001). *La Contaminación Ambiental en México: Causas, Efectos y México*.
- Juan Herrera Romero, E. S. (2011). *Determinacion de la eficiencia de una planta piloto de un humedal de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales domesticas*. CARTAGENA .
- LAHORA, A. (2002). *Gestión de Aguas del levante Almeuense, S.A. Almería,*.
- Langergraber, G. (2010). *Vertical flow constructed wetlands – current practices and optimization potential INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTED*

WETLANDS FOR WASTEWATER TREATMENT: TRANSFER OF KNOWLEDGE TO LATIN-AMERICAN.

- LARA BORRERO, J. A. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales*. Barcelona.
- LARA, I. O. (2010). *TRATAMIENTO PRELIMINAR*. LIMA, PERÚ.
- M. ESPIGARES GARCÍA y J. A. PÉREZ LÓPEZ . (1978). *Tratamiento de aguas residuales*. 2^a ed. Caracas.
- Ma. Teresa Orta V, Jacinto Morales R, Ignacio Monje R. (2010). *DESINFECCIÓN DE AGUA RESIDUAL POR LUZ ULTRAVIOLETA PROVENIENTE DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO Ó BIOLÓGICO PARA REÚSO AGRÍCOLA*. México.
- Metcalf & Eddy. (1995). *TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES*. ESPAÑA.
- Middlebrooks y col., . (1982). *Lagunas Anaerobias* .
- MVCS. (2008). «Decreto Supremo N° 031-2008-VIVIENDA.» *Norma Técnica OS.090 - Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*. Lima.
- Norouzian, M.Y., Deloya, M.A. . (1985). *Estudiodel Comportamiento de una Unidad de Biodiscos Estructuralmente Modificada*. México.
- ÑIQUE ÁLVAREZ, M. (2004). *Humedales construidos para el tratamiento de aguas*.
- OPS/CEPIS/05.163. (2005). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN*.
- OPS-COSUDE/01-07. (2007). *GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMADE DESINFECCIÓN*. Lima, Perú.
- QUIROZ MANTARI MIGUEL ANTONIO, FERRO CHIARA LUIS ALBERTO. (2015). *"EFICIENCIA DE LA .REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS PATÓGENOS (ESCHERICHIA COLI Y SALMONELLA) RESPECTO A LA VARIACIÓN DE TIEMPO DE RETENCIÓN EN EL SISTEMA DHS (DOWNFLOW HANGING SPONGE) DE PRIMERA GENERACIÓN CON RECIRCULACIÓN."* . LIMA, PERÚ.
- Radie B. Edward y Hardenberg. (1987). *Ingeniería Sanitaria Ed. Continental S.A de C.V*. México D.F .
- RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS, L. A. (2012). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA D.H.S. A ESCALA PILOTO*. Tesis para Optar el Grado de Ingeniero Sanitario, Lima, Lima. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1346/1/rojas_rr.pdf

- RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS, LUIS ANGEL VISURRAGA MARIÑO. (2012). “*TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA D.H.S. A ESCALA PILOTO*”. Lima, Perú.
- RAMSAR. (2006). *Manual de la convención de Ramsar: Guía a la convención sobre los humedales*. Suiza.
- Reddy. (1998). *Biological and Chemical Systems for Nutrient Removal*.
- Rojas, J. A. (2002). *Tratamiento de aguas residuales : teoría y principios de diseño* .
- Sagastume, J. M. (s.f.). *MALOS OLORES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: SU CONTROL*. México D.F.
- SCHMIDT MUMM. (1988). *Notas sobre la vegetación acuática de Colombia*. COLOMBIA .
- SEOÁNEZ, M. (1999). *Aguas Residuales: tratamiento por humedales artificiales:.*
- Tchobanoglobus, G. (2003). *Ingeniería de Aguas Residuales* .
- TO-ECOAG. (s.f.). *Eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales por electrocoagulación (EC)* .
- Violeta E. Escalante Estrada y Hugo César Noriega García. (1996). *LAGUNAS FACULTATIVAS, EVALUACION, CINETICA Y MODELOS*. México.

CAPITULO VII

ANEXOS

ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO

FOTOGRAFÍA 18: TERRENO DISPONIBLE PARA LA INSTALACIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL



FOTOGRAFÍA 19: ULTIMO BUZÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA LOCALIDAD DE TOMA



FOTOGRAFÍA 20: INSTALACIÓN DE LOS PRIMEROS 2 TANQUES



FOTOGRAFÍA 21: EL BACH. EDER CRISTHIAN VILLEGAS URBINA EN LA INSTALACIÓN DE LOS 2 PRIMEROS TANQUES DEL SISTEMA



FOTOGRAFÍA 22: PERFORACIÓN DE LA TUBERÍA DE PVC PARA LA VENTILACIÓN DEL SISTEMA



FOTOGRAFÍA 23: INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN



FOTOGRAFÍA 24: EL BACH. EDER CRISTHIAN VILLEGAS URBINA EN LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LOS DOS TANQUES



FOTOGRAFÍA 25: COLOCACIÓN DE LA GRAVA EN LA BASE DEL TANQUE



FOTOGRAFÍA 26: INSTALACIÓN DE CUATRO TANQUES DE LAS DOS BATERÍAS DEL HUMEDAL



FOTOGRAFÍA 27: INSTALACIÓN DE LOS 3 TANQUES POR CADA BATERÍA



FOTOGRAFÍA 28: INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA LOCALIDAD DE TOMA



FOTOGRAFÍA 29: PRUEBA DEL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES



FOTOGRAFÍA 30: FUNCIONAMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL



FOTOGRAFÍA 31: SISTEMA COMPLETO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL DOS BATERIAS CON TRES TANQUES CADA UNO



FOTOGRAFÍA 32: TOMA DE MUESTRA EN LA ENTRA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL



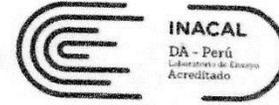
FOTOGRAFÍA 33: TOMA DE MUESTRA EN LA SALIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL



ANEXO 2: IMÁGENES DE RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS DEL LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL - UNASAM



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 065**



Registro N.º E. - 065

INFORME DE ENSAYO AG170695

CLIENTE Razón Social : VILLEGAS URBINA EDER
Dirección : Jr. Junín S/N - Carhuaz
Atención : Villegas Urbina Eder

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Colector Centro Poblado de Toma
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170403

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

LABORATORIO Fecha de recepción : 18/Julio/2017
Fecha de análisis : 18 de Julio al 25 de Julio/2017
Cotización N° : CO170412

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	M - 01
					Fecha de muestreo	18/07/2017
					Hora de muestreo	10:30
					Código del Laboratorio	AG170826
FQ	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS					
FQ01	Aceites y Grasas	mg/l	APHA 5520 B (*)	1		22
FQ11	Color	TCU	E. Merck 015 (*)	0.5		< 0.5
FQ12	Conductividad ³ (en laboratorio)	µS.cm ⁻¹	APHA 2510 B -Versión 2012	.....		1197.0
FQ20	Fosfato	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomoibdato (*)	0.05		2.80
FQ23	pH (en laboratorio)	Unid. pH	APHA 4500-H ⁺ B -Versión 2012 (*)	.....		8.10
FQ29	Sólidos totales en suspensión	mg/l	APHA 2540 D (*)	1		63
FQ34	Sulfuros	mg/l S ²⁻	Dimetil-p-fenilendianina (*)	0.020		0.130
FQ35	Temperatura (en laboratorio)	°C	APHA 2550 B (*)	.....		18
NU	ANÁLISIS DE NUTRIENTES					
NU03	N-Amónico	mg/l NH ₄ -N	Azul Indofenol (*)	0.010		16.700
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral (*)	1.0		< 1.0
NU05	Nitritos	mg/l NO ₂ ⁻	Reacción Griess (*)	0.007		0.205
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral (*)	0.5		34.6
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUÍMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1		108
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico (*)	25		250
CB03	Oxígeno Disuelto (en laboratorio)	mg/l	APHA 4500-O G (*)	0.01		1.54
CM	INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS					
CM05	Coliformos fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2		11000000
AP	ANÁLISIS PARASITOLÓGICO (FUENTES DE AGUA Y OTROS)					
AP15	Huevos de Helmintos	Huevos/l	APHA 9810B ; EPA 1623 (*)	Ausencia		Ausencia

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

¹ Datos proporcionados por el cliente

² Resultados reportados a 25 °C.

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

NOTA:

I. Tiempos de perecibilidad de las muestras:

a) Conductividad = 28 días



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

Huaraz, 25 de Julio de 2017

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

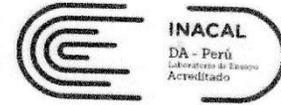
Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.

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.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
Av. Centenario N°200-Huaraz-Ancash. Telef.421 431- Cel. 944432754 / 948915005 RPM. # 948915005
E-mail: labfcam@hotmail.com



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 065**



Registro N° LE - 065

INFORME DE ENSAYO AG170696

CLIENTE Razón Social : VILLEGAS URBINA EDER
Dirección : Jr. Junin S/N - Carhuaz
Atención : Villegas Urbina Eder

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Humedal N° 1
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170403

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

LABORATORIO Fecha de recepción : 18/Julio/2017
Fecha de análisis : 18 de Julio al 25 de Julio/2017
Cotización N° : CO170412

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	M - 02
					Fecha de muestreo	18/07/2017
					Hora de muestreo	10:50
					Código del Laboratorio	AG170827
FQ	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS					
FQ01	Aceites y Grasas	mg/l	APHA 5520 B (*)	1		9
FQ11	Color	TCU	E. Merck 015 (*)	0.5		< 0.5
FQ12	Conductividad ² (en laboratorio)	µS.cm ⁻¹	APHA 2510 B - Versión 2012	.....		1121
FQ20	Fosfato	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatolibdato (*)	0.05		1.06
FQ23	pH (en laboratorio)	Unid. pH	APHA 4500-H* B - Versión 2012 (*)	.....		7.93
FQ29	Sólidos totales en suspensión	mg/l	APHA 2540 D (*)	1		10
FQ34	Sulfuros	mg/l S ²⁻	Dimetil-p-fenilendianina (*)	0.020		< 0.020
FQ35	Temperatura (en laboratorio)	°C	APHA 2550 B (*)	.....		18.1
NU	ANÁLISIS DE NUTRIENTES					
NU03	N-Amoniacal	mg/l NH ₄ -N	Azul Indofenol (*)	0.010		2.200
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral (*)	1.0		4.6
NU05	Nitritos	mg/l NO ₂ ⁻	Reacción Griess (*)	0.007		1.300
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral (*)	0.5		22.5
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUÍMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1		11
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico (*)	25		< 25
CB03	Oxígeno Disuelto (en laboratorio)	mg/l	APHA 4500-O G (*)	0.01		6.12
CM	INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS					
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2		11000000
AP	ANÁLISIS PARASITOLÓGICO (FUENTES DE AGUA Y OTROS)					
AP15	Huevos de Helminths	Huevos/l	APHA 9810B ; EPA 1623 (*)	Ausencia		Ausencia

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

¹ Datos proporcionados por el cliente

² Resultados reportados a 25 °C.

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

NOTA:

I. Tiempos de perecibilidad de las muestras:

a) Conductividad = 28 días



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

Huaraz, 25 de Julio de 2017

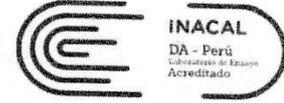
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

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 dirmentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 065**



Registro N.º LE - 065

INFORME DE ENSAYO AG170697

CLIENTE Razón Social : VILLEGAS URBINA EDER
Dirección : Jr. Junín S/N - Carhuaz
Atención : Villegas Urbina Eder

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Humedal N° 2
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC170403

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

LABORATORIO Fecha de recepción : 18/Julio/2017
Fecha de análisis : 18 de Julio al 25 de Julio/2017
Cotización N° : CO170412

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	M - 03
					Fecha de muestreo	18/07/2017
					Hora de muestreo	11:00
					Código del Laboratorio	AG170828
FQ	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS					
FQ01	Acéites y Grasas	mg/l	APHA 5520 B (*)	1		12
FQ11	Color	TCU	E. Merck 015 (*)	0.5		< 0.5
FQ12	Conductividad ² (en laboratorio)	µS.cm ⁻¹	APHA 2510 B -Versión 2012	.....		1080.0
FQ20	Fosfato	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato (*)	0.05		1.23
FQ23	pH (en laboratorio)	Unid. pH	APHA 4500-H ⁺ B.-Versión 2012 (*)	.....		7.32
FQ29	Sólidos totales en suspensión	mg/l	APHA 2540 D (*)	1		19
FQ34	Sulfuros	mg/l S ²⁻	Dimetil-p-fenilendianina (*)	0.020		0.028
FQ35	Temperatura (en laboratorio)	°C	APHA 2550 B (*)	.....		18.1
NU	ANÁLISIS DE NUTRIENTES					
NU03	N-Amónico	mg/l NH ₄ -N	Azul Indofenol (*)	0.010		7.200
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral (*)	1.0		30.5
NU05	Nitritos	mg/l NO ₂ ⁻	Reacción Griess (*)	0.007		0.612
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral (*)	0.5		22.4
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUÍMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B (*)	1		26
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico (*)	25		59
CB03	Oxígeno Disuelto (en laboratorio)	mg/l	APHA 4500-O G (*)	0.01		6.06
CM	INDICADORES DE CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA E IDENTIFICACION DE PATOGENOS					
CM05	Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	APHA 9221 C (*)	< 2		11000000
AP	ANÁLISIS PARASITOLÓGICO (FUENTES DE AGUA Y OTROS)					
AP15	Huevos de Helmintos	Huevos/l	APHA 9810B ; EPA 1623 (*)	Ausencia		Ausencia

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

¹ Datos proporcionados por el cliente

² Resultados reortados a 25 °C.

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

NOTA:

I. Tiempos de perecibilidad de las muestras:

a) Conductividad = 28 días



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

Huaraz, 25 de Julio de 2017

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

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.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
Av. Cercenarío N°209-Huaraz- Ancash. Telef.421 431- Cel. 944432754 / 948915005 RPM. # 948915005
E-mail: labfcam@hotmail.com



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
"Una nueva Universidad para el Desarrollo"

REPOSITORIO
INSTITUCIONAL
UNASAM



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N°033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: VILLEGAS URBINA EDER CRISTHIAN

Código de alumno: 04.0576.6. AH Teléfono: 943197328

Correo electrónico: cristhian_g20@hotmail.com DNI o Extranjería: 44157977

2. Modalidad de trabajo de investigación:

- () Trabajo de investigación () Trabajo académico
() Trabajo de suficiencia profesional (x) Tesis

3. Título profesional o grado académico:

- () Bachiller (x) Título () Segunda especialidad
() Licenciado () Magister () Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

“REMOCION DE FOSFORO Y NITROGENO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS,
MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO VERTICAL EMPLEANDO
ANTRASITA Y TEREFTALATO DE POLIETILENO, EN LA LOCALIDAD DE TOMA,
CARHUAZ – ANCASH”

5. Facultad de: CIENCIAS DEL AMBIENTE

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERIA SANITARIA

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: DEPAZ CELI KIKO FELIX Teléfono: 952223855

Correo electrónico: celiunasam@gmail.com DNI o Extranjería: 31663735

través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por el presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.: 44157977

FECHA: 06/06/2019